

SAMANTHA BORGES FAUSTINO

Reconstrução paleohidrológica de um lago de inundação no rio Xingu com base em multitracadores biogeoquímicos

Tese apresentada ao Instituto de Botânica da
Secretaria do Meio Ambiente, como parte dos
requisitos exigidos para a obtenção do título de
DOUTOR em BIODIVERSIDADE VEGETAL
E MEIO AMBIENTE, na Área de Concentração
de Plantas Avasculares e Fungos em Análises
Ambientais.

SÃO PAULO

2018

SAMANTHA BORGES FAUSTINO

Reconstrução paleohidrológica de um lago de inundação no rio Xingu com base em multitritadores biogeoquímicos

Tese apresentada ao Instituto de Botânica da
Secretaria do Meio Ambiente, como parte dos
requisitos exigidos para a obtenção do título de
DOUTOR em BIODIVERSIDADE VEGETAL
E MEIO AMBIENTE, na Área de Concentração
de Plantas Avasculares e Fungos em Análises
Ambientais.

ORIENTADORA: DRA. DENISE DE CAMPOS BICUDO

COORIENTADOR: DR. PAULO EDUARDO DE OLIVEIRA

Ficha Catalográfica elaborada pelo **NÚCLEO DE BIBLIOTECA E MEMÓRIA**

Faustino, Samantha Borges

F262d Reconstrução paleohidrológica de um lago de inundação no rio Xingu com base em multitraçadores biogeoquímicos / Samantha Borges Faustino -- São Paulo, 2018. 107p. il.

Tese (Doutorado) -- Instituto de Botânica da Secretaria de Estado do Meio Ambiente, 2018.

Bibliografia.

1. Diatomáceas. 2. Amazônia. 3. Paleolimnologia. I. Título.

CDU: 582.26

Para cultivar a sabedoria é preciso força interior.

*Sem crescimento interno, é difícil conquistar a
autoconfiança e a coragem necessárias.*

*O impossível torna-se possível com
força de vontade!*

Dalai Lama

*À minha família, meu alicerce, minha base e incentivo,
por caminharem sempre ao meu lado, pelo apoio
incondicional, amor e confiança!
Com amor, sempre.*

Agradecimentos

Enfim, chegou o momento tão esperado e especial! O momento de agradecer a todos que de alguma forma acreditaram e contribuíram para que este sonho se realizasse.

Primeiramente agradeço a Deus e a todos que me acompanham pelas bênçãos, por me iluminar, guiar no caminho certo, me dar forças e tranquilidade para seguir em frente e não desanimar perante os obstáculos e dificuldades.

Quero dedicar um obrigado especial à minha orientadora, Dr^a Denise de Campos Bicudo, pelos grandes ensinamentos, incentivo, apoio tanto em momentos científicos quanto pessoais, por sempre ter acreditado e confiado no meu potencial e por me presentear com esse trabalho lindo. Agradeço pelas suas cobranças, zelo, orientação, pelo seu lado humano, cuja sensibilidade para com os outros vai muito além do profissionalismo e pela amizade que construímos ao longo desses 10 anos (estágio prévio à pós-graduação, mestrado e doutorado). Sou extremamente grata e honrada por ter tido a oportunidade de te conhecer e ter sido sua aluna. Muito obrigada!

Ao meu co-orientador Prof. Dr. Paulo Eduardo de Oliveira pela indicação do meu nome para este projeto, amizade, confiança depositada neste estudo, pelos valiosos esclarecimentos, importantes sugestões e pela contribuição neste trabalho por meio de sua grande experiência científica.

Agradeço ao coordenador Dr. André Oliveira Sawakuchi pelo apoio irrestrito e à equipe de pesquisadores e pós-graduandos envolvidos no projeto maior (processo FAPESP nº 16/02656-9) do qual este estudo se insere. Sem a colaboração e apoio de todos esse trabalho não seria realizado. Obrigada!

Um especial agradecimento à equipe responsável pela coleta do testemunho, André Oliveira Sawakuchi, Dailson José Bertassoli Junior, Gelvam Hartmann, Henrique Oliveira Sawakuchi, mergulhadores Dani e Ronca e pilotos Tonho e Nelson. Obrigada por se aventurarem e por coletarem este precioso testemunho.

Meus sinceros agradecimentos às equipes do Laboratório de Espectrometria Gama e Luminescência (Legal), do Instituto de Geociências da USP, do Laboratório Beta Analytic Radiocarbon Dating, Miami e do Laboratório de Radiocarbono da Universidade Federal Fluminense, principalmente ao Dr. André Oliveira Sawakuchi, Dr. Fabiano do Nascimento Pupim, Dr. Gelvam André Hartmann e Dr. Carlos Henrique Grohmann pela análise cuidadosa da cronologia sedimentar e pelas discussões acerca dos resultados, sem as quais não seria possível finalizar este trabalho.

Meus agradecimentos ao Rudney de Almeida Santos por sempre me “socorrer” nas horas das dúvidas, pelos conselhos, ensinamentos, por ser um ótimo companheiro de trabalho, pela amizade e por fornecer os dados da cronologia e do modelo idade-profundidade.

Ao Professor Dr. Carlos E. de M. Bicudo pelos conselhos, por compartilhar sua sabedoria, seu conhecimento, experiência e por estar sempre disposto a ajudar. Me sinto honrada em poder conviver com você.

À Dra. Carla Ferragut, uma grande profissional por quem tenho grande admiração. Agraço pelos ensinamentos (principalmente no laboratório), conselhos, amizade, por compartilhar sua sabedoria, pelos estímulos a sempre seguir em frente.

Um agradecimento especial ao querido “Povo das Águas”, do laboratório de Ecologia Aquática do Instituto de Botânica, Angela Maria da Silva, Camila de Araújo, Diego Alberto Tavares, Elaine Bartozek, Elton Lehmkuhl, Gabrielle Araújo, Gisele Marquardt, Jennifer Moyon, Krysna Stephanny, Lívia Costa, Lucineide Santana, Luysa Amaral, Mayara Casartelli, Priscilla Denise, Richard Lambrecht, Ruan Oliveira, Simone Alves, Simone Wengrat, Stéfano Zorzal, Thiago R. Santos, Yukio Hayashi da Silva. Obrigada a todos pelo companheirismo, troca de conhecimento e experiências profissionais e pessoais, por me mostrarem a importância de uma equipe na realização de um trabalho. Agradeço de coração.

À Dorinha, Amariles e Marli pela amizade, pelos momentos de descontração, por estarem sempre prontas a ajudar no que for preciso desde análises laboratoriais, limpeza de vidraria, compras, cafés, comemorações e por tornarem qualquer ambiente mais divertido. Agradeço especialmente à Dorinha, pela amizade, por todo incentivo, cuidado, preocupação, conselhos e ensinamentos, você mora no meu coração!

Aos pesquisadores, estagiários e pós-graduandos do Núcleo de Ecologia do Instituto de Botânica pelo apoio e por tornarem mais agradáveis os momentos de trabalho.

Ao programa de Pós-graduação em Biodiversidade Vegetal e Meio Ambiente do Instituto de Botânica pela oportunidade de aprimoramento científico.

À CAPES (Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior) pela bolsa de doutorado concedida e à FAPESP (Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo) pelo inestimável apoio recebido pelo projeto (Processo nº 2016/02656-9) ao qual esta tese está vinculada.

Ao grupo do Facebook “Bolsistas Capes” por compartilharem as alegrias e tristezas dos estudantes de pós-graduação, pelo compartilhamento de informações acadêmicas, pelas dúvidas esclarecidas e principalmente pelos momentos de risadas e descontração.

Aos meus queridos amigos e companheiros Richard Lambrecht, Ruan Oliveira, Luyza Amaral e Diego Tavares pelas conversas, risadas, conselhos, cafezinhos e pelo carinho durante todo esse tempo.

Um agradecimento mais do que especial a minha amiga, Mayara Ribeiro Casartelli. Dizer obrigada, às vezes não é o suficiente para agradecer por você ter estado sempre ao meu lado durante todos esses longos anos, por dividir os momentos de alegrias, dificuldades, por escutar meus desabafos, aconselhar, me incentivar a nunca desistir, pelas risadas, cafés, e principalmente por me mostrar o quanto eu era capaz e sempre torcer por mim! Obrigada.

Às pessoas que são minha luz, inspiração e a quem devo tudo, minha família. Meus pais: Israel Faustino e Magda Rosa Borges Faustino, por me apoiarem, me darem forças, incentivarem e jamais deixar que eu desistisse de seguir os meus sonhos. Amo vocês!

Aos amores da minha vida, meus “filhos de quatro patas”, Tiffany (*in memorian*), Gigi (*in memorian*) e Snow por “assistirem” minhas prévias, passarem noites em claro ao meu lado (no caso eu acordada e vocês dormindo, rs), pela lealdade e amor.

À Vanessa Borges Faustino, minha irmã, melhor amiga, companheira e minha inspiração e ao meu cunhado Rodrigo Morete Barile pelas conversas, brincadeiras, apoio e principalmente por me darem o maior e melhor presente, minha sobrinha, Maria Luiza, minha maior riqueza, razão da minha alegria, minha princesa!

Aos meus tios Raquel Rosa Reis e Edson Reis, obrigada pelos conselhos, preocupação, conversas mesmo sem entender o que eu estava falando (rs) e ajuda. Sem o apoio e incentivo de todos vocês nada disto seria possível. Obrigada por sempre me estimularem a me tornar uma pessoa melhor.

Ao meu marido, fiel companheiro, amigo e meu porto seguro, Renato Okamoto Rivelino, obrigada por estar presente nesta jornada, pelos conselhos, preocupação, paciência e por me encorajar a seguir em frente a cada obstáculo. Aos meus sogros Osmar Rivelino, Vilma Kazumi Okamoto Rivelino e ao Tofuzinho por me incentivarem, apoiarem, aconselharem em todos os momentos, sem vocês, eu não seguiria esse caminho.

A todos aqueles que de alguma forma contribuíram e participaram para que essa conquista fosse possível. Peço minhas sinceras desculpas para aqueles que eu não tenha mencionado o nome.

E por fim, à vida!

Índice

Resumo.....	1
Abstract.....	3
Introdução geral.....	4
Área de estudo geral.....	7
Material e métodos gerais.....	10
Apresentação da tese.....	13
Referências.....	14

CAPÍTULO 1: Reconstrução paleolimnológica de um lago de inundação na Amazônia Oriental, Brasil, inferida pelas diatomáceas e registros geoquímicos.

Resumo.....	26
1. Introdução.....	27
2. Área de estudo.....	29
3. Materiais e métodos.....	31
4. Resultados.....	34
5. Discussão.....	39
6. Interpretação sobre o Paleoclima.....	43
7. Considerações Finais.....	45
8. Referências.....	46

CAPÍTULO 2: Holocene diatoms from a floodplain lake in Xingu River: new records for Brazil and Brazilian Amazon

Abstract.....	55
Resumo.....	55
Introduction.....	56
Material and Methods.....	57
Results and Discussion.....	57
Final Considerations.....	74
Acknowledgements.....	75
References.....	75
Conclusões e Considerações finais.....	98

Resumo

O período Quaternário, segundo período da era Cenozoica, abrange milhões de anos da história evolutiva da Terra e compreende as épocas do Pleistoceno, que se iniciou há aproximadamente 2,6 milhões de anos e que durou até 11 mil anos, quando se inicia a atual época geológica do Holoceno. O clima do Holoceno, apesar de variar em menor amplitude do que o último período, passou por uma série de mudanças rápidas, o que permite avaliar os eventos climáticos de curto prazo que podem influenciar o clima atual. No sentido de ampliar o entendimento das mudanças ambientais e climáticas na Amazônia Oriental durante o Holoceno, este trabalho foi realizado a partir de um testemunho sedimentar retirado de um lago de inundação conectado ao Rio Xingu, Pará (Amazônia Oriental). Três zonas paleoambientais foram identificadas. No fim do Holoceno Médio (~5.760-2.040 anos AP, zona 1), as evidências indicaram um sistema mais conectado ao rio, águas com maior profundidade, com alto fluxo hidrológico e predominância de diatomáceas planctônicas adaptadas a ambientes turbulentos. Nesta fase a partir de ~2.900 anos AP, muito provavelmente, houve a formação do lago de inundação, conforme inferido pela geoquímica que evidenciou aumento de matéria orgânica de origem alóctone. No início do Holoceno Tardio (~2.040-625 anos AP, zona 2), o lago permaneceu com características de águas turbulentas, porém com menor fluxo hidrológico e suave aumento de produtividade. No Holoceno Tardio (~625 anos até o presente, zona 3), o lago de inundação apresentou águas mais rasas, menos conectadas ao rio, levemente enriquecidas com predominância de espécies de diatomáceas bentônicas. Os marcadores ambientais indicaram que o ambiente manteve boa qualidade ecológica e sem enriquecimento antropogênico. As alterações do regime hidrológico associadas com os dados secundários do isótopo estável de oxigênio ($\delta^{18}\text{O}$) obtidos em espeleotemas da caverna Paraíso, bem como de insolação para a Amazônia Oriental permitiram inferências sobre a alteração climática regional. Um período de clima mais úmido e chuvoso foi evidenciado no fim do Holoceno Médio (~ 4.000 anos AP), passando para um período, mais seco, de menor pluviosidade a partir do Holoceno Tardio (~625 anos AP). Em relação ao levantamento das diatomáceas, 77 táxons distribuídos em 27 gêneros foram registrados, dos quais cinco novas ocorrências para o Brasil e 35 para Amazônia brasileira. A adição de 52% novos registros para a Amazônia brasileira demonstra que esta região permanece pouco conhecida e a biodiversidade subestimada. Ainda, as novas adições para o Brasil ocorreram antes de ~600 anos AP. Esses resultados destacam o uso da abordagem paleolimnológica, em muitos casos, como a única ferramenta para avaliar a biodiversidade antes dos impactos humanos e em condições pristinas. Finalmente, destaca-se que as alterações hidrológicas do lago de inundação do Rio Xingu permitiram inferir sobre o paleoclima,

demonstrando o uso da abordagem paleohidrológica para subsidiar a melhor compreensão das alterações climáticas em outras escalas temporais e geográficas.

Palavras chave: Biodiversidade, Diatomáceas, Paleoclima, Paleohidrologia, Quaternário

Abstract

The Quaternary period, the second period of the Cenozoic era, covers millions of years of Earth's evolutionary history and comprises Pleistocene epochs, which began approximately 2.6 million years ago and lasted until 11,000 years, when started the present Holocene geological period. The Holocene climate, although less variable than the last period, has undergone to a series of rapid changes, which allows evaluating the short-term climatic events that can influence the current climate. In order to broaden the understanding of environmental and climatic changes in the Eastern Amazon during the Holocene, this work was carried out based on a multiproxy study of a sedimentary core taken from a floodplain connected to the Xingu River, Pará (Eastern Amazon). Three paleoenvironmental zones were identified. In the end of the Mid-Holocene (~5,760-2,040 cal. yr BP, zone 1), the evidences indicated a more connected system to the river, deeper waters, with high hydrological flow and predominance of planktonic diatoms adapted to turbulent environments. In this phase since ~2,900 cal. yr BP, most probably started the formation of the flood lake, as inferred by the geochemistry that showed an increase of organic matter of allochthonous origin. At the beginning of the Late Holocene (~2,040-625 cal. yr BP, zone 2), the lake remained with characteristics of turbulent waters, however with lower hydrological flow and slight increase of productivity. In the Late Holocene (~625 cal. yr BP to the present, zone 3), the floodplain lake presented shallower waters, less connected to the river, slightly enriched with predominance of benthic diatom species. The environmental proxies indicated that the environment maintained good ecological quality and with no anthropogenic enrichment. Changes in the hydrological regime associated with secondary data for oxygen isotope ($\delta^{18}\text{O}$) obtained in speleothems from Paraiso cave, as well as of insolation for the Eastern Amazon allowed inferences on regional climate change. A period of humid and rainy weather was evidenced at the end of the Mid-Holocene (~ 4,000 cal. yr BP), turning to a drier, less rainy period in the late Holocene (~ 625 cal. yr BP). Regarding the floristic survey of diatoms, 77 taxa distributed in 27 genera were recorded, of which five new occurrences for Brazil and 35 for the Brazilian Amazon. The addition of 52% new records for the Brazilian Amazon highlights this region remains poorly known and biodiversity assessment underestimated. Furthermore, the new additions for Brazil were mostly found before ~600 cal. yr. BP. These findings highlight the use of the paleolimnological approach, in many cases, as the only tool to evaluate biodiversity before human impacts and in pristine conditions. Finally, this study highlights the importance of the paleohydrological approach for paleoclimate inferences, indicating its potential use to broaden the understanding on climate changes in other temporal and geographic scales.

Keywords: Biodiversity, Diatoms, Paleoclimate, Palaeohydrology, Quaternary.

Introdução Geral

O período Quaternário, segundo período da era Cenozoica, abrange os últimos 2,6 milhões de anos da história evolutiva da Terra. Corresponde ao período geológico mais recente, sendo caracterizado como o período de ocorrência de grandes glaciações com intervalos mais quentes, mudanças na temperatura do ar, no padrão dos ventos, nas precipitações e na notável intensificação das atividades antrópicas (Saia 2006, Souza *et al.* 2007). Compreende duas épocas, o Pleistoceno que se iniciou há aproximadamente 2,6 milhões de anos e durou até 11 mil anos, quando se inicia a atual época geológica do Holoceno, cujos depósitos sedimentares estão amplamente distribuídos sobre os continentes e fundos oceânicos (Suguio 1999, Walker & Geissman 2009). Os estudos paleoclimáticos apontam que esta época foi marcada por mudanças climáticas drásticas devido aos sucessivos eventos oriundos de períodos glaciais ocorridos durante o Pleistoceno. Portanto, as flutuações climáticas ocorridas, como resultados das glaciações, alteraram drasticamente o padrão de circulação atmosférica e oceânica, desencadeando alterações nos padrões pluviométricos, e consequentemente foram as principais condicionantes da distribuição florística e faunística mundial. Todos esses fatores alteraram o panorama geológico, ambiental e geomorfológico de modo que influenciaram diretamente na gênese e configuração de ambientes continentais e costeiros atuais (Salgado-Labouriau 2007).

Por representar um período de tempo geologicamente curto, as evidências sedimentares quaternárias estão suficientemente bem preservadas, o que tem despertado interesse quanto às perspectivas climáticas (Salgado-Labouriau *et al.* 1998). A reconstituição de eventos de um passado geologicamente pouco remoto e o caráter frequentemente cíclico desses fenômenos fornecem os elementos necessários ao prognóstico de ocorrência futura desses eventos, que são, muitas vezes, de consequências catastróficas para o homem (Smol 2002, Le Treut *et al.* 2007). A necessidade de se conhecer e prever esses futuros fenômenos naturais que podem ser induzidos ou não pelas atividades antrópicas, faz com que a paleolimnologia se torne uma ferramenta robusta na reconstrução de mudanças históricas e na compreensão de diversos tipos de alterações ambientais e climáticas, identificando as mudanças ocorridas nos ecossistemas ao longo do tempo (Irion *et al.* 2006, Smol 2008, Bennion & Simpson 2011, Davidson & Jeppesen 2013).

Os ecossistemas aquáticos podem ser vistos como verdadeiros “acumuladores de informações”, ou seja, como uma rede quase infinita de interações entre componentes bióticos e abióticos equilibrados entre fatores internos e externos que condicionam a dinâmica do sistema (Rebouças 1999, Birks e Birks 2006). Os ecossistemas lacustres por estarem intrinsicamente ligados ao sistema climático são considerados como marcadores da hidrologia local e regional

(Birks & Birks 2006, Smol 2008, Wolin & Stone 2010). As alterações do nível da água desses sistemas causam alterações físicas, químicas e biológicas na água as quais ficam preservadas nos arquivos históricos dos depósitos sedimentares e que podem ser reconstruídas mediante marcadores ambientais, fornecendo informações valiosas sobre as condições ambientais passadas e contemporâneas (Gregory-Eaves & Beisner 2011, Liu *et al.* 2013, Davidson *et al.* 2013).

As diatomáceas, em particular, despontam como um dos grupos biondicadores mais adequados em estudos paleolimnológicos por serem sensíveis às mudanças ambientais; apresentarem amplitudes ecológicas relativamente bem conhecidas; por ocorrerem em grande abundância e riqueza de espécies e por geralmente estarem bem preservadas nos sedimentos (Reid 2005, Bennion & Simpson 2011), sendo consideradas importantes arquivos naturais das principais modificações ocorridas no meio ambiente (Smol & Stoemer & 2004, Nascimento *et al.* 2007, Smol 2008).

As informações paleolimnológicas com base neste grupo de algas vêm sendo amplamente aplicadas em regiões temperadas, a exemplo de estudos que avaliaram a evolução do estado trófico (*e.g.* Stoermer *et al.* 1985, Anderson 1989, Anderson *et al.* 1993, Bennion 1995, Naya *et al.* 2007, Velghe *et al.* 2012), ou que abordaram mudanças climáticas e no uso do solo (Kuwaie *et al.* 2004, Barker *et al.* 2005), de salinidade (Blinn & Bailey 2001, Blinn *et al.* 2004), caracterização do registro de nutrientes (Engstrom *et al.* 1985, Yu *et al.* 2007), utilizando um ou preferencialmente multitraçadores ambientais, que conjuntamente possibilitam uma visão mais holística das alterações ecológicas (Brenner *et al.* 1999, Lotter 2001, Dalton *et al.* 2005, Birks & Birks 2006, Briner *et al.* 2006, Witkowski *et al.* 2009, Moreno *et al.* 2011).

Em regiões tropicais e subtropicais, os estudos relacionados à paleolimnologia foram crescentes nas últimas décadas (*e.g.* Lamb *et al.* 1995, Urrutia *et al.* 2000, Barker *et al.* 2001, Davies *et al.* 2002, Araneda *et al.* 2008). Particularmente no Brasil, os trabalhos sobre reconstrução paleoambiental se intensificam a partir da década de 90, principalmente visando à reconstrução da vegetação e do clima pretérito (*e.g.* Roth & Lorscheitter 1993, Neves & Lorscheitter 1995, Ledru *et al.* 1996, 1998a e 1998b, Ferraz-Vicentini & Salgado-Labouriau 1996, De Oliveira *et al.* 1999, Barberi *et al.* 2000, Scheel-Ybert *et al.* 2003, Garcia *et al.* 2004, Pessenda *et al.* 2005a). Nas duas últimas décadas, os trabalhos que utilizaram as diatomáceas como biomarcadores também abordaram principalmente a reconstrução do clima (*e.g.* Medeanic *et al.* 2001, Nascimento *et al.* 2003, Medeanic & Torgan 2006, Medeanic *et al.* 2009), mas também abrangeram a reconstrução do pH (Gianini 2002), da paleopropriedade (Gomes 2007) e alterações do nível da água (Castro *et al.* 2013). Bem mais recentemente, o uso das diatomáceas aliado a outros marcadores ambientais

tem contribuído com a reconstrução da eutrofização em represas urbanas em São Paulo nos últimos 100 anos (Costa-Böddeker *et al.* 2012, Fontana *et al.* 2014, Wengrat *et al.* 2017).

Na região Amazônica, a grande maioria dos estudos de sedimentos lacustres abordaram a palinologia (Absy *et al.* 1991, Colinvaux *et al.* 1996, 1999, Mayle *et al.* 2000, Sifeddine *et al.* 2001, Cohen *et al.* 2005, Anhuf *et al.* 2006, Urrego *et al.* 2013), paleoclima (Behling *et al.* 2001, Sifeddine *et al.* 2003, Vidotto *et al.* 2007, Cordeiro *et al.* 2008, Silveira & Chaan 2010, Sifeddine *et al.* 2011, Bush *et al.* 2014, Hermanowski *et al.* 2012, Moreira *et al.* 2013a,b, Fontes *et al.* 2017, Wang *et al.* 2017) e paleoambientes (Moreira *et al.* 2009). Contudo, apenas duas contribuições utilizam as diatomáceas para a região. Ribeiro *et al.* (2008) avaliaram a composição, abundância e riqueza das diatomáceas presentes nos sedimentos superficiais na zona de intermaré da Praia de Itupanema, Estado do Pará, e Ribeiro *et al.* (2010) utilizaram as diatomáceas na reconstrução paleohidrológica e paleoambiental de cinco testemunhos obtidos da praia de Itupanema, município de Barcarena, Estado do Pará. Inexistem, assim trabalhos baseados nas diatomáceas para reconstrução ambiental de sistemas lacustres de água doce.

A presente proposta foi desenvolvida no médio Rio Xingu, um dos maiores afluentes do Rio Amazonas e que ainda contém trechos preservados, rica biodiversidade aquática e enorme diversidade biológica e sociocultural (ISA 2012). O trecho da Volta Grande do Xingu, em frente a cidade de Altamira, conhecido pelo percurso atípico do rio, apresenta múltiplos canais entrecruzados e interconectados, com corredeiras, limitando barreiras de sedimentos cobertas por mata ciliar e floresta tropical, sendo considerado um ambiente único para a biodiversidade amazônica (Tassinari & Macambira 2004, Sawakuchi *et al.* 2015). Particularmente a Ilha do Arapujá, localizada na Volta Grande do Xingu, é considerada um berçário ecológico por abrigar grande diversidade de espécies de peixes e outros animais aquáticos, além dos últimos fragmentos de vegetação natural para a região (Sawakuchi *et al.* 2015), tornando-se um local de referência para a biodiversidade local e regional. Os estudos realizados para esta região são relativamente escassos e abrangem o levantamento de espécies arbóreas (Campbell *et al.* 1986, Balee & Campbell 1990), bromélias (Koch *et al.* 2015), anfíbios e répteis (Vaz-Silva *et al.* 2015). O programa “Mananciais do Instituto Socioambiental” disponibiliza informações sobre a bacia hidrográfica do rio Xingu, mediante documentos sínteses e mapas temáticos (ISA 2012). Apenas dois trabalhos paleoambientais fornecem informações preliminares sobre as diatomáceas e complementares a outros marcadores visando reconstruir as alterações ambientais pretéritas da região (Sawakuchi *et al.* 2015 e Bertassoli *et al.* 2017) oriundos de um projeto interdisciplinar, “A resposta da dinâmica sedimentar dos rios Xingu e Tapajós às mudanças climáticas e barragens

de usinas hidrelétricas: riscos para conservação da biodiversidade e produção de energia na Amazônia” (processo FAPESP nº 16/02656-9), na qual a presente proposta se insere.

Apesar de sua grande relevância, o Rio Xingu encontra-se ameaçado por ações antrópicas, como por exemplo, o complexo hidrelétrico de Belo Monte iniciou a operação parcial em maio de 2016, reduzindo a vazão do rio na extensão da Volta Grande. Tal empreendimento representa o projeto de infraestrutura mais nocivo da história da Amazônia, comprometendo a biodiversidade local e das demais bacias Amazônicas. Outro megaprojeto chamado "Projeto Volta Grande" estará situado adjacente ao mesmo trecho do Xingu e será a maior operação de mineração de ouro no Brasil (Hales & Petry 2013, Araújo *et al.* 2014, Tófoli *et al.* 2017).

O objetivo central do presente trabalho é reconstruir as alterações ambientais e a biodiversidade do lago de inundação, localizado na Ilha do Arapujá, dos últimos 6.000 anos na região da Bacia do Rio Xingu. Trará contribuição inédita sobre as mudanças hidrológicas e eventual processo de enriquecimento no ambiente a fim de subsidiar a interpretação das alterações do paleoclima local e regional no período do Holoceno na bacia rio Xingu. É também pioneiro por documentar mudanças da biodiversidade das assembleias de diatomáceas na região da Amazônia Oriental, contribuindo com informações de referência para a biodiversidade local e regional.

Área de Estudo Geral

A Bacia Hidrográfica do Rio Amazonas abrange uma área total aproximada de 6,5 milhões de km² e possui mais de 60% da disponibilidade hídrica do país (PNRH 2006). Abriga a maior rede hidrográfica do planeta, escoando cerca de 1/5 do volume de água doce do mundo e seus rios são elementos importantes de sistemas ecológicos, biogeoquímicos e climáticos, incluindo conexões com a atmosfera e o oceano (Junk & Nunes de Mello 1990, Cunha *et al.* 2007).

A região leste da Amazônia é dominada por rios de águas claras, que drenam os planaltos das Guianas e do Brasil Central, e são caracterizados pela baixa concentração de sedimentos em suspensão e sólidos dissolvidos. Em conjunto com o Rio Tocantins, os Rios Xingu e Tapajós formam os principais sistemas fluviais de águas claras da América do Sul, no leste da Amazônia (Sioli 1985).

A Bacia Hidrográfica do Xingu (Fig.1a) é uma forte referência da diversidade socioambiental da Amazônia brasileira, sendo uma região de grandes contrastes. Por um lado, possui um dos mais significativos e extensos corredores de áreas protegidas do mundo. Em contraste, é palco de grandes investimentos e transformações nos últimos 40 anos, tendo as maiores

taxas de desmatamento da Amazônia, além da pecuária como carro-chefe da economia regional e a expansão da soja a partir das cabeceiras do Xingu (ISA 2012).

Vital e Stattegger (2000) propõem três estágios de evolução do Estuário do Amazonas e Xingu durante o período Quaternário: (i) vales incisos formados pelo resultado da rápida erosão fluvial da plataforma continental relacionados à queda do nível do mar durante o final do último período Glacial; (ii) formação de grandes lagos de água doce e extensas áreas de terraços devido ao aumento do nível do mar entre o Pleistoceno tardio e Holoceno médio; (iii) atual sistema de erosão e deposição controlados pela complexa interação de processos fluviais e estuarinos. Latrubesse *et al.* 2005 também acrescentam a importância do clima quente e úmido da Amazônia e dos ciclos climáticos para a evolução quaternária da região.

O Rio Xingu (Fig.1b) é classificado por Sioli (1950) como rio de águas claras que percorre áreas de drenagem e afloram sob rochas pertencentes ao Embasamento Cristalino da Plataforma Amazônica (AAI 2009). Corre na direção sul-norte, paralelo aos rios Tapajós e Tocantins, entre os paralelos 1° e 15° de latitude sul e os meridianos 50° e 56° de longitude oeste, com nascentes no Planalto dos Guimarães, centro leste de Mato Grosso, e foz no trecho final do Rio Amazonas, Nordeste do Pará. Possui vazão de 8,728 m³/s, cerca de 2,7 mil km de extensão e sua bacia ocupa área de 51 milhões de hectares (ISA 2010, Prado *et al.* 2017) sendo responsável por cerca de 5% da vazão do rio Amazonas.

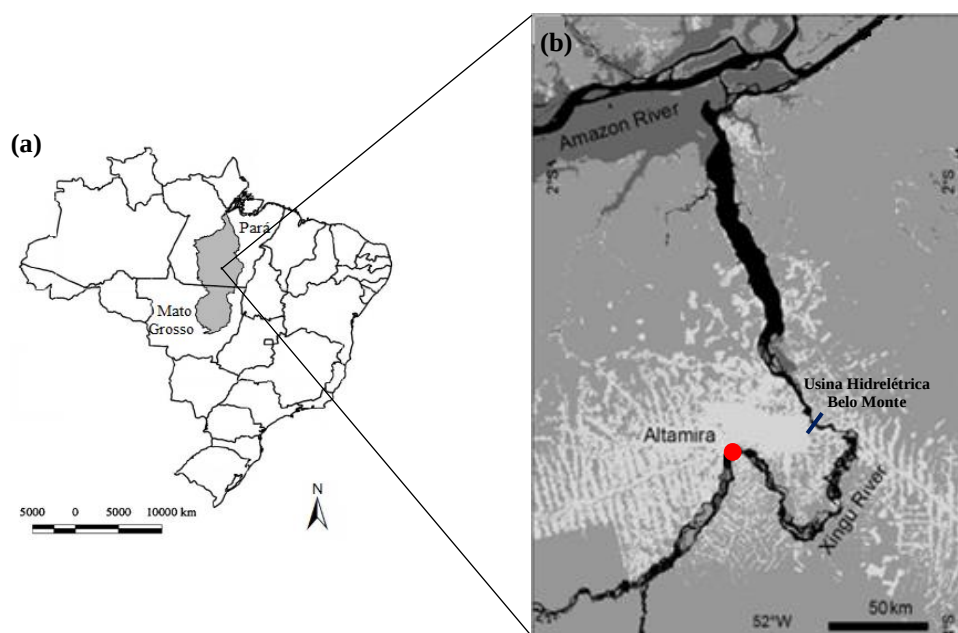


Figura 1. (a) Localização da Bacia Hidrográfica do Rio Xingu. Fonte: adaptado de IBGE 2017. (b) Aspecto geral do rio Xingu. Localização da Volta Grande do Xingu indicada pelo círculo vermelho. Fonte: Google Earth.

O clima da região é tropical, quente, predominantemente úmido, com temperaturas médias anuais oscilando entre 17,5 °C e 24,5 °C, umidade relativa entre 84 a 86%. A precipitação média anual varia de 2.066 mm a 2.379 mm, apresentando pulso de pluviosidade que caracteriza o ciclo hidrológico com período mais chuvoso de novembro a maio, com maior intensidade em dezembro e outro de estiagem (junho a outubro) (ISA 2012, Zacardi & Ponte 2016).

O Rio Xingu destaca-se pela diversidade biológica e cultural brasileira, é o terceiro maior tributário do Rio Amazonas e o segundo maior rio de águas claras (Sawakuchi *et al.* 2015). Os principais rios formadores do Xingu nascem em áreas de bioma de Cerrado, atravessam uma zona de transição para o bioma Amazônico, tendo seus primeiros 1,2 km de curso no Estado do Mato Grosso. Recebe contribuições de uma imensa rede de rios menores de diferentes ordens que contornam a sua bacia hidrográfica. As 22.291 nascentes e a extensão de 82 mil km de pequenos e médios rios e córregos formam uma complexa rede de abastecimento (Sioli 1985, Junqueira *et al.* 2006). Entre seus principais contribuintes estão o Manissauá-Miçu, mais conhecido como Manito e o Suiá-Miçu. Ambos possuem solos hidromórficos do tipo gleisolo, que funcionam como filtros, removendo nutrientes e fornecendo água limpa. Além disso, possuem como característica marcante a presença de áreas alagáveis, formadas por vegetação de grande heterogeneidade como veredas, matas alagadas, várzeas, campos úmidos, dentro outros (Junqueira *et al.* 2006, ISA 2012).

A porção abaixo do rio, no município de Altamira (PA), limite sudeste da Bacia Sedimentar do Amazonas, compreende um cenário fluvial particular denominado de Volta Grande do Xingu, região conhecida pelo percurso atípico do rio e morfologia diversificada com cerca de 4 a 5 km de extensão (Sawakuchi *et al.* 2015). A Volta Grande do rio Xingu apresenta grande variação na sua fisiografia e possui cerca de 200 km. A região é conhecida por apresentar desnível de 85 m, atípico para rios da bacia amazônica, que resultaria de esforços atrativos do Neógeno (Pettena *et al.* 1980), os quais teriam desenvolvido os trechos encachoeirados da Volta Grande do Xingu (Rodriguez 1993).

A Ilha do Arapujá situa-se entre os paralelos 3°13' S e 52°11' O e está localizada na Volta Grande do Rio Xingu em frente à cidade Altamira, sendo uma das inúmeras ilhas espalhadas no rio (ISA 2012). É caracterizada por ser plana, com pequenas elevações e considerada como área de várzea devido à influência do rio Xingu. Possui grande variação em sua paisagem, com contraste entre área de cobertura florestal, com grande variedade de vegetação de grande porte, opondo-se a áreas de campo e ação humana, na qual estão presentes vegetação rasteira, gramíneas e arbustos. O Lago do Arapujá, localizado na Ilha de mesmo nome, apresenta grande diversidade de espécies de peixes e outros animais aquáticos e é considerado um berçário ecológico (ISA 2012, Sawakuchi *et al.* 2015).

Materiais e Métodos Gerais

Amostragem e Processamento do material

O perfil sedimentar (XC01-2) foi coletado por mergulhadores no Lago do Arapujá, localizado na Ilha do Arapujá, em sua região mais profunda (1m), usualmente considerado o local de maior acumulação e deposição contínua de grãos finos de sedimentos (Smol 2008). A coleta foi realizada na estação de seca de 2014, usando tubos cilíndricos de PVC de 6 m de comprimento e 3 polegadas e 85 mm de diâmetro (Fig. 2).



Figura 2. Coleta do perfil sedimentar no rio Xingu com auxílio de mergulhadores.

O perfil sedimentar (XC01-2) com comprimento de 120 cm foi transportado intacto (vedado) até o Instituto de Geociências da USP, São Paulo, onde foi aberto longitudinalmente por meio de ferramenta elétrica industrial, denominada Makita® (Figs.3a, b,c). Após abertura, a descrição litológica foi realizada por fotografias (Fig.3d) e Carta de Munsell e o perfil foi seccionado do topo para a base a cada 2 cm.



Figura 3. (a e b) Detalhamento da abertura longitudinalmente do perfil. (c) Demonstração do testemunho aberto. (d) Demonstração da litologia fotográfica.

As subamostras foram retiradas com auxílio de espátulas e acondicionadas em frascos (10 ml) previamente etiquetados conforme os marcadores biogeoquímicos (diatomáceas, pólen, geoquímica orgânica e inorgânica) e a profundidade que representam (Fig. 4). Após esse procedimento, as subamostras destinadas para exame das diatomáceas foram transportadas em caixas térmicas refrigeradas até o Laboratório de Ecologia Aquática do Instituto de Botânica de São Paulo.



Figura 4. Subamostras para análises de diatomáceas acondicionadas em frascos previamente etiquetados conforme profundidade que representam.

Cronologia

A geocronologia do perfil sedimentar foi determinada por dois métodos. O método de Luminescência Opticamente Estimulada (LOE) e pelo método de datação por radiocarbono (^{14}C).

Para a datação LOE foi utilizada a profundidade de 120 cm, composta de areia que foi previamente datada no Laboratório de Espectrometria Gama e Luminescência (Legal), do Instituto de Geociências da Universidade de São Paulo.

Para medição de luminescência, a preparação das alíquotas de quartzo foram (i) preparadas sob luz vermelha suave e procedimentos de peneiramento e assentamento úmidos foram usados para isolar os tamanhos dos grãos (de 4-11 ou 180-250 μm); (ii) as frações granulométricas foram submetidas ao tratamento com peróxido de hidrogênio (H_2O_2 35%) e ácido clorídrico (HCl 10%) para remoção de matéria orgânica e carbonatos respectivamente, e ácido fluorídrico (HF 38%) por 40 min para remoção da camada externa dos grãos de quartzo danificados por partículas alfa e redução de grãos de feldspato; (iii) a remoção de minerais pesados e grãos de feldspatos foi realizada a partir da separação líquida de grãos de areia de quartzo pesados utilizando uma solução de metatungstato de lítio em densidade de 2,75 e 2,62 g/cm^3 . A medida de luminescência foi realizada no leitor de luminescência Risø TL/OSL modelo DA-20 equipado com LEDs azuis (470 nm) e infravermelhos (870 nm) para estimulação luminosa e filtro Hoya U-340 para detecção de luz na faixa do ultravioleta e fontes de radiação beta integradas ($^{90}\text{Sr}/^{90}\text{Y}$). As doses equivalentes foram determinadas pelo protocolo SAR (*Single Aliquot Regenerative Dose*), proposto por Murray

& Wintle (2000) e Wintle & Murray (2006), em alíquotas de multigrãos de quartzo e foram calculadas através do Modelo de Idade Central (Central Age Model) (Galbraith *et al.* 1999). As concentrações de ^{238}U , ^{232}Th e ^{40}K para os cálculos da taxa de dose (De) foram determinadas por espectrometria gama com detector HPGe em blindagem *ultralow background* e corrigidas para a saturação da água (peso da água/peso da amostra seca). A taxa de dose cósmica foi calculada através da latitude, longitude, elevação e profundidade de sondagem, de acordo com Prescott e Hutton (1994).

O método de datação por radiocarbono (^{14}C) por espectrometria de massa aceleradora (Accelerator Mass Spectrometry – AMS) foi realizada no Laboratório Beta Analytic Radiocarbon Dating e no Laboratório de Radiocarbono, da Universidade Federal do Fluminense (LAC-UFF). Para datação ^{14}C , folhas e fragmentos de carvão recuperados em quatro profundidades (20 cm, 40 cm, 62 cm e 82 cm) do perfil sedimentar foram submetidas à (i) imersão em ácido clorídrico (HCl 10%) e, em seguida, foram hidrolisadas com ácido fosfórico (H_3PO_4); (ii) O dióxido de carbono (CO_2) obtido a partir da combustão da amostra a 800 °C sob uma atmosfera de oxigênio a 100%, é seco com metanol e gelo seco e depois recolhido em nitrogênio líquido; (iii) após o pré tratamento, as amostras são colocadas em um espectrômetro de massa com aceleradores (eletrostático Tandem) para a subsequente reação de grafitização (produzida pela redução de hidrogênio da amostra de CO_2 sobre um catalisador de cobalto).

As datas de ^{14}C e LOE foram calibradas usando o programa estatístico R (R Core Team 2015) através do pacote bacon 2.3 (Blaauw & Christen 2011). O pacote utiliza estatísticas Bayesianas para reconstruir históricos de acumulação de um determinado depósitos sedimentar através da combinação de radiocarbono e outras datas com informações prévias. Foram utilizados os parâmetros padrões do pacote. As idades foram modeladas de acordo com a distribuição *student-t*, com 9 graus de liberdade. Foram realizados 1.000 pares idade-profundidade para estimar as idades médias, com intervalo de confiança de 95%. E a curva de calibração utilizada foi IntCal 13 (Reimer *et al.* 2013).

Diatomáceas

As amostras de diatomáceas foram oxidadas seguindo o método de Battarbee *et al.* (2001). Aproximadamente 1,5 grama de sedimento úmido foi colocado em tubos para oxidação pela adição de peróxido de hidrogênio (H_2O_2 , 35% PA) e ácido clorídrico (HCl 37%). Lâminas permanentes foram montadas com Naphrax® e as contagens realizadas ao microscópio Zeiss® (Axio Imager A2) em aumento de 1000×. A unidade básica de contagem foi a valva e fragmentos foram incluídos desde que se visualizem pelo menos 50% da valva (Battarbee *et al.* 2001). Dois critérios de

contagem foram utilizados conjuntamente, quantificação de no mínimo de 400 valvas em cada subamostra (lâmina) e eficiência de contagem de 90% (Pappas & Stoermer 1996) para padronizar o esforço de quantificação das amostras. Os dados quantitativos das espécies foram expressos em abundância relativa (%) do total de diatomáceas em cada amostra. Para taxonomia e nomenclatura foram utilizadas obras clássicas e recentes (ex. Round *et al.* 1990, Metzeltin & Lange-Bertalot 2007, Wetzel *et al.* 2010) e principalmente obras que incluam materiais da América do Sul e de regiões tropicais (e.g. Metzeltin & Lange-Bertalot 2007, Bicudo *et al.* 2016, Faustino *et al.* 2016, Costa *et al.* 2017), bem como catálogos *online* de nomes válidos para diatomáceas (Fourtanier & Kociolek 2011), Academia de Ciências da Filadélfia (research.calacademy.org/research/diatoms/names) e Registro Mundial de Espécies Marinhas (WoRMS) (www.marinespecies.org).

Dados ecológicos dos táxons foram obtidos a partir da revisão de literatura sobre sua ecologia (ex. Moro & Fürstenberg 1997; van Dam *et al.* 1994, Faustino *et al.* 2016, Bicudo *et al.* 2016, Bartozek *et al.* 2018), consulta ao programa OMNIDIA, versão 7.5 (Lecointe *et al.* 1993), além de pesquisas em literatura que caracterize a diatomoflórula local (ex. Ribeiro & Senna 2010, Bastos 2010, Wetzel *et al.* 2010).

Litologia, Geoquímica, Isótopos Estáveis e Análise dos dados

Os métodos mais específicos estão descritos em seus respectivos capítulos na tese.

Apresentação da Tese

O presente trabalho está organizado em dois capítulos, sendo o segundo redigido em formato de artigo. Os mesmos serão posteriormente submetidos à publicação em revistas especializadas.

O primeiro capítulo, intitulado “Reconstrução paleolimnológica de um lago de inundação na Amazônia Oriental, Brasil, inferida pelas diatomáceas e registros geoquímicos”, aborda a reconstrução das alterações ambientais e particularmente das mudanças hidrológicas de um lago de inundação na região da Bacia do Rio Xingu a fim de subsidiar o entendimento das mudanças climáticas na Amazônia Oriental durante o Holoceno.

O segundo capítulo, intitulado “Holocene diatoms from a floodplain lake in Xingu River: new records for Brazil and Brazilian Amazon”, compreende o levantamento florístico e a distribuição das diatomáceas do perfil sedimentar do rio Xingu, ampliando o conhecimento da biodiversidade das diatomáceas tropicais, destacando os novos registros para o Brasil e para a Amazônia brasileira.

Referências Bibliográficas

- AAI. 2009. Avaliação Ambiental Integrada (AAI) da bacia do rio Xingu. Disponível em: <http://www.eletrobras.gov.br/ELB/data/documents/storedDocuments/%7BA75346D4-8DCD-4ADF-AB2A689A3CB5629C%7D/%7B1BF6069A-2E51-4C7C-1F7BC21CA1BCF0D%7D/Sumario%20AAI%20Xingu.pdf>
- Absy, M.L., Cleef, A.M., Fournier, M., Martin, L., Servant, M., Sifeddine, A., Ferreira da Silva, M., Soubiès, F., Suguio, K., Turcq, B., Van der Hammen, T., 1991. Mise en evidence de quatre phases d'ouverture de la foret dense dans le sudest de l'Amazonie au cours de 60,000 dernieres anneés. Premiere comparaison avec dautres regions tropicales. Comptes rendus de l'Académie des Sciences. 312, 673 e 678.
- Anderson, N.J. 1989. A whole-basin diatom accumulation rate for a small eutrophic lake in Northern Ireland and its paleoecological implications. *Journal of Ecology* 77: 926-946.
- Anderson, N.J.; Rippey, B. & Gibson, C.E. 1993. A comparison of sedimentary and diatom inferred phosphorus profiles: implications for defining pre-disturbance nutrient conditions. *Hydrobiologia* 253: 357-366.
- Anhuf, D., Ledru, M.P., Behling, H. Da Cruz Jr., F.W., Cordeiro, R.C., Van der Hammen, T., Karmann, I., Marengo, J.A., De Oliveira, P.E., Pessenda, L., Sifeddine, A., Albuquerque, A.L., Da Silva Dias, P.L. 2006. Paleo-environmental change in Amazonian and Africa rainforest during LGM. *Paleogeography, Paleoclimatology, Paleoecology* 239, 510-527.
- Araneda, A.; Torres, L.; Cruces, F.; Vivero, C.; Torrejón, F.; Fagel, N.; Scharf, B. & Urrutia, R. 2008. A multiproxy reconstruction of the late Holocene in Lake Laja (Central Chile): Evidence of little ice Age-like event in a Southern Hemisphere record. *Geophysical Research Abstracts*, vol.10.
- Araújo, M.M.V., Pinto, K.J. & Mendes, F.O. 2014. A usina de Belo Monte e os impactos nas terras indígenas. *Planeta Amazônia: Revista Internacional de Direito Ambiental e Políticas Públicas*. n.6, p. 43-51.
- Balee, W. & Campbell, D.G. 1990. Evidence for the Successional Status of Liana Forest (Xingu River Basin, Amazonian Brazil. *Biotropica*. 22(1): 36-47.
- Barberi, M., Salgado-Labourian, M.L., Suguio, K. 2000. Paleovegetation and paleoclimate of “Vereda de Águas Emendadas”, central, Brazil. *Journal of South American Earth Sciences*, Columbia. 13(3): 241-254.
- Barker, P.A.; Pates, J.M.; Payne, R.J. & Healey, R.M. 2005. Changing nutrient levels in Grasmere, English Lake District, during recent centuries. *Freshwater Biology*. 50: 1971-1981.

- Barker, P.A.; Street-Perrott, F.A.; Leng, M.J.; Greenwood, P.B.; Swain, D.L.; Perrott, R.A.; Telford, R.J. & Ficken, K.J. 2001. A 14,000-year oxygen isotope record from diatom silica in two alpine lakes on Mt. Kenya. *Science* 292: 2307-2310.
- Bartozek E.C.R., Zorzal-Almeida S. & Bicudo D.C. 2018. Surface sediment and phytoplankton diatoms along a trophic gradient in tropical reservoirs: new records for Brazil and São Paulo state. *Hoehnea* 45(1): 69-92.
- Bastos, A.S.M. 2010. Diversidade e abundancia de algas epilíticas no setor do médio Rio Xingu/PA. Dissertação de mestrado da Universidade Federal do Pará, Belém, Pará.
- Battarbee, R.W.; Jones, V.; Flower, R.J.; Cameron, N.; Bennion, H.; Carvalho, L. & Juggins, S. 2001. Diatoms. In: Smol, J.P; Birks, H.J.B.; Last, W.M. (ed.). *Tracking Environmental Change Using Lake Sediments*. London: Kluwer Academic Publishers.v.3. p. 155-203.
- Behling, H., Keim, G., Irion, G., Junk, W., Nunes de Mello, J. 2001. Holocene environmental changes in the central amazon Basin inferred from Lago calado (Brazil). *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 173: 87-101.
- Bennion, H. 1995. Surface-sediment diatom assemblages in shallow, artificial, enriched ponds and implications for reconstructing trophic status. *Diatom Research* 10(1):1-19.
- Bennion, H., & Simpson, G. L. 2011. The use of diatom records to establish reference conditons for UK lakes subject to eutrophication. *Journal of Paleolimnology* 45: 469–488. doi: 10.1007/s10933-010-9422-8.
- Bertassoli D.J.Jr., Sawakuchi A.O., Sawakuchi H.O., Pupim F.N., Hartmann G.A., McGlue M.M., Chiessi C.M. Zabel M., Schefuß E., Pereira T.S., Santos R.A., Faustino S.B., Oliveira P.E. & Bicudo D.C. 2017. The Fate of Carbon in Sediments of the Xingu and Tapajós Clearwater Rivers, Eastern Amazon. *Frontiers in Marine Science* 4:44 doi: 10.3389/fmars.2017.00044.
- Bicudo, D.C., Tremarin, P.I., Almeida, P.D., Almeida-Zorzal, S., Wengrat, S., Faustino, S.B., Costa, L.F., Bartozek, E.C.R., Rocha, A.C.R., Bicudo, C.E.M. & Morales, E.A. 2016. Taxonomy and ecology of Aulacoseira species (Bacillariophyta) from tropical reservoirs in Brazil. *Diatom Research* 31(2): 199-215. doi: 10.1080/0269249X.2016.1227376
- Birks, H.H. & Birks, H.J.B. 2006. Multi-proxy studies in palaeolimnology. *Vegetation History and Archaeobotany*. 15: 235-251.
- Blaauw, M. & Christen, J.A., 2011. Flexible paleoclimate age-depth models using an autoregressive gamma process. *Bayesian Anal.* 6, 457e474.
- Blinn, D. W. & Bailey, P. C. E. 2001. Land-use influence on stream water quality and diatom communities in Victoria, Australia: a response to secondary salinization. *Hydrobiologia* 466: 231-244.

- Blinn, D.; W.; Halse, S. A.; Pinder, A. M.; Shiel, R. J. & McRae, J. M. 2004. Diatom and micro-invertebrate communities and environmental the western Australian wheatbelt: a response to salinization. *Hydrobiologia*. 528: 229-248.
- Brenner, M.; Whitmore, T.J.; Lasi, M.A.; Cable, J.E & Cable, P.H. 1999. A multiproxytrophic state reconstruction for shallow Orange Lake, Florida, USA: possible influence of macrophytes on limnetic nutrient concentrations. *Journal of Paleolimnology* 21: 215–233.
- Briner J. P., Michelutti N.; Francis D. R.; Miller G. H.; Axford Y.; Wooller M. J.; Wolfe A. P. 2006. A multi-proxy lacustrine record of Holocene climate change on northeastern Baffin Island, Arctic Canada. *Quaternary Research* 65: 431-442.
- Bush, M.B., McMichael, C.H., Raczka, M.F., Toledo, M.B., Power, M.J., Mayle, F.E., De Oliveira, P.E. 2014. The Holocene of the Amazon *In*: Carvalho, I.S, Garcia, M.J, Lana, C.C., Strohschoen, O.J. *Paleontologia: Cenários de Vida – Paleoclimas*, volume 5. 1 ed. Interciência, Rio de Janeiro.
- Campbell, D.G., Daly, D.C., Prance, G.T., Maciel, U.N. 1986. Quantitative ecological inventory of terra firme and várzea tropical forest on the rio Xingu, Brazilian Amazon. *Brittonia*. V. 38:4 3 p. 369-393.
- Castro, D.F., De Oliveira, P.E., Rossetti, D.F., Pessenda L.C.R. 2013. Late Quaternary landscape evolution of notheastern Amazonia from pollen and diatom records. *Anais da Academia Brasileira de Ciências* 85(1): 35-55.
- Cohen, M.C.L., Behling, H., Lara, R.J. 2005. Amazonian mangrove dynamics during the last millennium: The relative sea-level and the Little Ice Age. *Review of Paleobotany and Palynology*. Amsterdam, v.136, n. 1-2, p. 93-108.
- Colinvaux, P.A., De Oliveira, P.E., Moreno, J.E., Miller, M.C., Bush, M.C. 1996. A long pollen record from lowland Amazonia: forest and cooling in glacial times. *Science*, Washington, v. 274, p. 85-88.
- Colinvaux, P.A., De Oliveira, P.E., Patiño, J.E.M. 1999. Amazon pollen manual and atlas. Dordrecht: Harwood Academic Publishers. 332p.
- Cordeiro, R.C., Turcq, P.F.M., Turcq, B.J., Moreira, L.S. Rodrigues, R.C., Costa, R.L., Sideddine, A. & Filho, F.F.L.S. 2008. Acumulação de carbono em lagos amazônicos como indicador de eventos paleoclimáticos e antrópicos. *Oecol. Bras.*, 12 (1): 130-154.
- Costa, L.F., Wetzel, C.E., Lange-Bertalot, H., Ector, L., Bicudo, D.C. 2017. Taxonomy and ecology of *Eunotia* species (Bacillariophyta) in southeastern Brazilian reservoirs. *In*: *Bibliotheca Diatomologica* Vol. 64. H. Lange-Bertalot & J. P. Kociolek (eds). 302 pp. ISBN 978-3-443-57055-2.

- Costa-Böddeker, S., Bennion, H., Jesus, T.A., Albuquerque, A.L.S., Rubens C.L. Figueira & Bicudo, D.C. 2012. Paleolimnologically inferred eutrophication of a shallow tropical urban reservoir, southeast Brazil. *Journal Paleol.* 48(4): 751-766.
- Cunha, P.R.C, Melo, J.H.G., Silva, O.B. 2007. Bacia do Amazonas. *B. Geoci.* 15:2 227-251.
- Dalton, C.; Birks, H.J.B.; Brooks, S.J.; Cameron, R.P.E.; Peglar, S.M.; Scott, J.A. & Thompson, R. 2005. A multi-proxy study of lake-development in response to catchment changes during the Holocene at Lochnagar, north-east Scotland. *Paleogeography, Paleoclimatology, Paleoecology* 221: 175-201.
- Davidson T, Reid M, Sayer C, Chilcott S. 2013. Paleolimnological records of shallow lake biodiversity change: exploring the merits of single versus multi-proxy approaches. *Journal of Paleolimnology.* V:49(3) 431-446
- Davidson, T.A., & Jeppesen, R. 2013. The role of palaeolimnology in assessing eutrophication and its impact on lakes. *Journal of Paleolimnology* 49: 391–410. doi: 10.1007/s10933-012-9651-0
- Davies, S.J., Metcalfe, S.E., Caballero, M.E. & Juggins, S. 2002. Developing diatom based transfer functions for Central Mexican lakes. *Hydrobiologia* 467:199-213.
- De Oliveira, P.E., Barreto, AM.F., Suguio, K. 1999. Late Pleistocene/Holocene climatic and vegetational history of the Brazilian caatinga: the fossil dunes of the middle São Francisco River.
- Engstrom, D. R., Swain, E. B., Kingston, J.C. 1985. A paleolimnological record of human disturbance from Harvey's Lake, Vermont: Geoquimistry, pigments and diatoms. *Freshwater Biology* 15:261-288.
- Faustino, S.B., Fontana, L., Bartozek, E.C.R., Bicudo, C.E.M. & Bicudo, D.C. 2016. Composition and distribution of diatom assemblages from core and surface sediments of a water supply reservoir in Southeastern Brazil. *Biota Neotropica* 16 (2): 2-23. doi: 10.1590/1676-0611-BN-2015-0129
- Ferraz-Vicentini, K.R., Salgado-Labouriau, M.L. 1996. Palynological analysis of a palm swamp in Central Brazil. *Journal of South American Earth Sciences. Columbia.* 9(3-4): 207-219.
- Fontana, L.; Albuquerque, A.L.S.; Brenner, M.; Bonotto, D.M.; Sabaris, T.P.P.; Pires, M.A.F.; Cotrim, M.E.B. & Bicudo, D.C. 2014. The eutrophication history of a tropical water supply reservoir in Brazil. *Journal of Paleolimnology* 51(1): 29-43.
- Fontes, D., Cordeiro, R.C., Martins, G.S., Behling, H., Turcq, B., Sifeddine, A., Seoane, J.C.S., Moreira, L.S., Rodrigues, R.A. 2017. Paleoenvironmental dynamics in South Amazonia, Brazil,

- during the last 35,000 years inferred from pollen and geochemical records of Lago do Saci. *Quaternary Science Reviews* 173, 161-180.
- Fourtanier, E. & Kociolek, J.P. 2011. Catalogue of Diatom Names, California Academy of Sciences, On-line Version updated 19 Sep 2011. Available online at <http://research.calacademy.org/research/diatoms/names/index.asp>.
- Galbraith, R. F., Roberts, R. G., Laslett, G. M., Yoshida, H., Olley, J. M. 1999. Optical dating of single and multiple grains of quartz from Jinmium rock shelter, Northern Australia: Part I, Experimental design and statistical models. *Archaeometry* 41, 339–364. doi: 10.1111/j.1475-4754.1999.tb00987.x
- Garcia, M.J., Oliveira, P.E., Siqueira, E., Fernandes, R.S. 2004. A Holocene vegetation and climatic record from the Atlantic rainforest belt of coastal State of São Paulo, SE Brazil. *Review of Paleobotany and Palynology*. Amsterdam. 131(3-4): 181-199.
- Gianini, C.E. 2002. Diatomáceas como indicadoras de acidificação em lagos da Amazônia Central. Tese de doutorado. Programa de Pós-graduação em Biologia Tropical e Recursos Naturais, INPA. 63p.
- Gomes, D.F. 2007. Elaboração de funções de transferência para a reconstituição de paleopropriedade na Lagoa do Boqueirão - RN - com base em diatomáceas. Tese de Doutorado. Programa de Pós-graduação em Geoquímica Ambiental. Universidade Federal Fluminense.
- Gregory-Eaves, I. & Beisner, B.E. 2011. Palaeolimnological insights for biodiversity science: an emerging field. *Freshwater Biology* 56: 2653-2661.
- Hales, J. & P. Petry. 2013. Freshwater Ecoregions of the world; Ecoregion 322: Xingu. Disponível em: <http://www.feow.org/ecoregions/details/322>.
- Hermanowski, B., Costa, M.L., Behling, H., 2012. Environmental changes in southeastern Amazonia during the last 25,000 yr revealed from a palaeoecological record. *Quaternary Research*. 77, 138e148.
- Irion, G., Bush, M.B., Nunes de Mello, J.A., Stüben, D., Neumann, T., Müller, G., Morais, J.A., Junk, W., 2006. A multiproxy palaeoecological record of Holocene lake sediments from the Rio Tapajós, Eastern Amazonia. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*. 240, 523 e 535.
- ISA. 2012. De olho na Bacia do Xingu. Série Cartô Brasil Socioambiental, v.5. São Paulo: Instituto Socioambiental. 63p. Disponível em: https://www.socioambiental.org/sites/blogsocioambiental.org/files/publicacoes/de-olho-bacia-xingu_150dpi.pdf

- Junk, W.J., Nunes de Mello, J.A.S. 1990. Impactos ecológicos das represas hidrelétricas na bacia amazônica brasileira. *Estudos Avançados* 4:8 130-146.
- Junqueira, R.G.P., Filho, E.M.C., Peneireiro, F.M. 2006. Cuidando das águas e matas do Xingu. Instituto Socioambiental - Programa Xingu.
- Koch, A.K., Monteiro, R.F., Ilkiu-Borges, A.L. 2015. Checklist de Bromeliaceae da região da Volta Grande do Xingu, Pará, Brasil. *Rodriguésia* 66(2): 455-464. doi: 10.1590/2175-7860201566213
- Kuwae, M., Yoshikawa, S., Tsugeki, N. & Inouchi, Y. 2004. Reconstruction of a climate record for the past 140 kyr based on diatom valve flux data from Lake Biwa, Japan. *Journal of Paleolimnology* 32: 19-39.
- Lamb, H.F.; Gasse, F.; Benkaddour, A.; Hamouti, N. El; van der Kaars, S.; Perkins, W.T., Pearce, N.J. & Roberts, C.N. 1995. Relation between century-scale Holocene arid intervals in tropical and temperate zones. *Nature* 373 (12):134-137.
- Latrubesse, E.M., Stevaux, J.C., Sinha, R. 2005. Tropical Rivers. *Geomorphology* 70. 187-206.
- Lecointe, C.; Coste, M. & Prygiel, J. 1993. "Omnidia": software for taxonomy, calculation of diatom indices and inventories management. *Hydrobiologia* 269/270: 509-513.
- Ledru, M.P., Braga, P.I.S., Soubiès, F., Fournier, M., Martin, L., Suguio, K., Turcq, B. 1996. The last 50.000 years in the Neotropics (Southern Brazil): evolution of vegetation and climate. *Paleogeography, Paleoclimatology, Paleoecology*. Amsterdam. 123: 1-4: 239-257.
- Ledru, M.P., Salgado-Labouriau, M.L., Lorscheitter, M.L. 1998a. Vegetation dynamics in Southern and central Brazil during the last 10.000 yr BP. *Review of Paleobotany and Palynology*. Amsterdam. 99(2): 131-142.
- Ledru, M.P., Bertaux, J., Sifeddine, A., Suguio, K. 1998b. Absence of last glacial maximum records in lowland tropical forests. *Quaternary Research*. San Diego. 49(2): 233-237.
- Le Treut, H., Somerville, R., Cubasch, U., Ding, Y., Mauritzen, C., Mokssit, A., Peterson, T., Prather, M. 2007. Historical Overview of Climate Change. In: Solomon S, Qin D, Manning M, Chen Z, Marquis M, Averyt KB, Tignor M, Miller HL (eds.) *Climate Change 2007: The Physical Science Basis*. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, pp 94-122.
- Liu D.; Shen X.; Di B.; Shi Y.; Keesing J. K.; Wang Y.; Wang Y. 2013. Palaeoecological analysis of phytoplankton regime shifts in response to coastal eutrophication. *Marine Ecology Progress Series (Feature article)* 457: 1-14.

- Lotter, A.F. 2001. The palaeolimnology of Soppensee (Central Switzerland) as evidenced by diatom, pollen and fossil –pigment analyses. *J. Paleolimnol.* 25: 65-79.
- Mayle, F.A., Burbridge, R., Killeen, T.J., 2000. Millennial-scale dynamics of southern Amazonian rainforests. *Science* 290, 2291e2294.
- Medeanic, S.; Marques-Toigo, M. & Toldo Junior, E.E. 2001. The use of fossil algae for palaeoenvironmental reconstruction during the late Holocene in the Maquiné river valley, RS, Brazil. *Geociências*, 5:168-172
- Medeanic, S. & Torgan, L.C. 2006. Silicoflagellate records in Holocene lagoon sediments in the south Brazil. *In: European Paleobotany-Palynology Conference*, 7, 2006. Abstract, Prague, p. 91.
- Medeanic, S.; Torgan, L.C.; Clerot, L.C.P. & Santos, C.B. 2009. Holocene Marine Transgression in the coastal plain of Rio Grande do Sul, Brazil: palynomorph and diatom evidence. *Journal of Coastal Research*, 25(1):224-233.
- Metzeltin, D. & Lange-Bertalot, H. 2007. Tropical diatoms of South America, 2. *In: Lange-Bertalot H. (ed.) Iconographia Diatomologica*, annotated diatom micrographs. Stuttgart:Koeltz Scientific Books, v.15, 736p.
- Moreira, L.S., Moreira-Turcq, P., Cordeiro, R.C., Turcq, B., Caquineau, S., Viana, J.C.C., Brandini, N., 2013a. Holocene palaeoenvironmental reconstruction in the eastern Amazonian basin: Comprido lake. *J. South Amer. Earth Sci.* 44, 55e62.
- Moreira, L.S., Moreira-Turcq, P., Turcq, B., Cordeiro, R.C., Kim, J.H., Caquineau, S., Mandeng-Yogo, M., Macario, K.D., Damst_e, J.S.S., 2013b. Palaeohydrological controls on sedimentary organic matter in an Amazon floodplain lake, Lake Maracã (Brazil) during the late Holocene. *Holocene* 23 (12), 1903e1914.
- Moreira, L.S., Moreira-Turcq, P.F., Cordeiro, R.C., Turcq, B.J. 2009. Reconstituição paleoambiental do Lago Santa Nina, Várzea do Lago Grande de Curuai, Pará, Brasil. *Acta Amazonica*. V: 39(3) 609-616.
- Moreno A.; López-Merino L.; Leira M.; Marco-Barba J.; González-Sampériz P.; Valero-Garcés B. L.; López-Sáez J. A.; Santos L.; Mata P.; Ito E. 2011. Revealing the last 13,500 years of environmental history from the multiproxy record of a mountain lake (Lago Enol, northern Iberian Peninsula). *Journal of Paleolimnology* 46: 327-349.
- Moro, R.S. & Fürstenbeger, C.B. 1997. Catálogo dos principais parâmetros ecológicos de diatomáceas não-marinhas. Ponta Grossa: Editora da Universidade Estadual de Ponta Grossa, 282 p.
- Munsell Color Co. 1975. Munsell soil color charts. Munsell Color Company, Baltimore.

- Murray, A. S., and Wintle, A. G. 2000. Luminescence dating of quartz using an improved single-aliquot regenerative-dose protocol. *Radiat. Meas.* 32, 57–73. doi: 10.1016/S1350-4487(99)00253-X-206.
- Nascimento, L.R., Sideddine, A., Albuquerque, A.L.S., Torgan, L.C., Gomes, D.F. 2007. Estudo da evolução paleohidrológica do lago Caçó (MA-Brasil) nos últimos 20.000 anos inferido através das diatomáceas. *In: IX Congresso da Associação Brasileira de Estudos do Quaternário.*
- Nascimento, L.R., Sifeddine, A., Albuquerque, A.L.S., Torgan, L.C. & Gomes, D.F. 2003. Estudo da evolução paleohidrológica do Lago Caçó (MA-Brasil) nos últimos 20.000 anos inferido através das diatomáceas. *In: ABEQUA, 9, 2003. Resumos Expandidos, Recife, UFPE.*
- Naya, T.; Tanimura, Y.; Kanai, Y.; Kumon, F. & Amano, K. 2007. Natural and anthropogenic aquatic environmental changes reconstructed by paleolimnological analyses in Lake Kitaura, Central Japan. *Journal of Paleolimnology*, 37: 547-563.
- Neves, P.C.P., Lorscheitter, M.L. 1995. Upper Quaternary paleoenvironments in the northern coastal plain of Rio Grande do Sul, Brazil. *Quaternary of South America and Antarctic Peninsula*. Amsterdam. 9: 39-67.
- Pappas JL, Stoermer EF. 1996. Quantitative method for determining a representative algal count. *Journal of Phycology* 32: 693-696.
- Pessenda, L.C.R., Gouveia, S.E.M., Freitas, H.A., Ribeiro, A.S., Aravena, R., Bendassoli, J.A., Ledru, M.P., Sifeddine, A., Scheel-Ybert, R. 2005a. Isótopos do carbon e suas aplicações em estudos paleoambientais. *In: Souza, C.R.G, Suguio, K., Oliveira, A.M.S., Oliveira, P.E. (Ed) Quaternário do Brasil. Ribeirão Preto: Holos Editora. 75-93p.*
- Pettina, J.L., Barros, A.L.M.M., Matos, W.D., Ribeiro, A.C.O., Carvalho, R.M. 1980. Estudo de Inventário Hidrelétrico na Amazônia: A Bacia do Rio Xingu. *In: Simpósio sobre as características Geológico-Geotectônicas da Região Amazônica. ABGE. 115-136p.*
- PNRH - Plano Nacional de Recursos Hídricos. 2006. Síntese Executiva. Ministério do Meio Ambiente, Secretaria de Recursos Hídricos. Brasília: MMA. 135p.
- Prado, M.C.R., Rodriguez, D.A. & Tomasella, J. 2017. Reposta hidrológica a cenários de mudanças globais na bacia do Rio Xingu. Disponível em: <http://www.iwra.org/congress/resource/PAP00-5773.pdf>
- Prescott, J. R., and Hutton, J. T. 1994. Cosmic ray contributions to dose rates for luminescence and ESR dating: large depths and long-term time variations. *Radiation Measurements*. 23, 497–500. doi: 10.1016/1350-4487(94)90086-8
- R Core Team, 2015. R: A Language and Environment for Statistical Computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna. Available online at: <http://www.r-project.org/>.

- Rebouças, A.C. 1999. Água doce no mundo e no Brasil. In: Rebouças, A.C., Braga, B. & Tundisi, J.G. (orgs.). Águas doces do Brasil: capital ecológico, uso e conservação. São Paulo: Escrituras Editora. p. 1-37.
- Reimer, P. J., Bard, E., Bayliss, A., Beck, J. W., Blackwell, P. G., Bronk-Ramsey, C. 2013. IntCal13 and Marine13 Radiocarbon Age Calibration Curves 0–50,000 Years cal BP. Radiocarbon 55, 1869–1887. doi: 10.2458/azu_js_rc.55.16947
- Reid, M. 2005. Diatom based models for reconstructing past water quality and productivity in New Zealand Lakes. Journal of Paleolimnology. 33 (1):13–38, doi:10.1007/s10933-004-0424-2.
- Ribeiro, F.C.P & Senna, C.S.F. 2010. The use of diatoms for palaeohydrological and paleoenvironmental reconstructions of Itupanema beach, Pará state, Amazon region, during the last millennium. Revista brasileira de Paleontologia 13 (1): 21-32.
- Ribeiro, F.C.P., Senna, C.S.F. & Torgan, L.C. 2008. Diatomáceas em sedimentos superficiais na planície de Maré da Praia de Itupanema, Estado do Pará, Amazônia. Rodriguésia 59 (2): 309-324.
- Rodriguez, S.K. 1993. Neotectônica e Sedimentação Quaternária na Região da “Volta Grande” do rio Xingu, Altamira, PA. Dissertação de Mestrado. São Paulo: Instituto de Geociências da Universidade de São Paulo. 106 p.
- Roth, L. & Lorscheitter, M.L. 1993. Palynology of a bog in Parque Nacional de Aparados da Serra. East Plateau of Rio Grande do Sul, Brazil. Quaternary of South America and Antarctic Peninsula. Amsterdam, v.8, p. 39-69.
- Round, F.E.; Crawford, R.M. & Mann, D.G. 1990. The Diatoms – biology and morphology of the genera. Cambridge: University Press. 747 p.
- Saia, S.E.M.G. 2006. Reconstrução paleoambiental (vegetação e clima) no Quaternário tardio com base em estudo multi/interdisciplinar no Vale do Ribeira (sul do Estado de São Paulo). Tese de Doutorado. São Paulo: Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Universidade de São Paulo, Piracicaba. 119p.
- Salgado-Labouriau, M.L. 2007. Critérios e técnicas para o Quaternário. São Paulo: Ed. Blücher, 387p.
- Salgado-Labouriau, M.L., Barberi, M. & Ferraz-Vicentini, K.R. 1998. A dry climatic event during the Late Quaternary of tropical Brazil. Review of Paleobotany and Palynology, 99: 115-129.
- Sawakuchi, A.O., Hartmann, G.A., Sawakuchi, H.O., Pupim, F.N., Bertassoli, D.J., Parra, M., Antinao, J.L., Sousa, L.M., Pérez, M.H.S., Oliveira, P.E., Santos, R.A., Savian, J.F., Grohmann, C.H., Medeiros, V.B., McGlue, M.M., Bicudo, D.C. & Faustino, S.B. 2015. The Volta Grande

- do Xingu: reconstruction of past environments and forecasting of future scenarios of a unique Amazonian fluvial landscape. *Scientific. Drilling.*, 20: 21-32.
- Scheel-Ybert, R., Gouveia, S.E.M., Pessenda, L.C.R., Aravena, R., Coutinho, L.M., Boulet, R. 2003. Holocene paleoenvironmental evolution in the São Paulo State (Brazil), based on anthracology and soil $\delta^{13}\text{C}$ analysis. *The Holocene*. Swansea. 13(1): 73-81.
- Sifeddine, A., Martin, L., Turcq, B., Ribeiro-Volkmer, C., Soubiès, F., Cordeiro, R.C., Suguio, K. 2001. Variations of the Amazonian rainforest environment: a sedimentological record covering 30.000 years. *Paleogeography, Paleoclimatology, Paleoecology* 168: 221-235.
- Sifeddine, A., Albuquerque, A.L.S., Ledru, M.P., Turcq, B., Knoppers, B., Martin, L., Mello, W.Z., Passenau, H., Dominguez, J.M.L., Cordeiro, R.C., Abrão, J.J., Bittencourt, A.C.S.P. 2003. A 21.000 cal years paleoclimatic record from Caçó Lake, northern Brazil: evidence from sedimentar and pollen analyses. *Paleogeography, Paleoclimatology, Paleoecology* 189: 25-34.
- Sifeddine, A., Meyers, P.A., Cordeiro, R.C., Albuquerque, A.L.S., Bernardes, M., Turcq, B., Abrão, J.J. 2011. Delivery and deposition of organic matter in surface sediments of Lagoa do Caçó (Brazil). *Jornal of Paleolimnology* 45: 385-396.
- Silveira, M.I. & Schaan, D.P. 2010. A vida nos manguezais: a ocupação humana da Costa Atlântica Amazônica durante o holoceno. In: Pereira, Edith; Guapindaia, Vera (Orgs). *Arqueologia Amazônica*. Belém: Museu Paraense Emílio Goeldi, IPHAN, SECULT, 2010. V. 1. P. 35-48.
- Sioli, H. 1985. *Amazônia: Fundamentos de Ecologia da Maior Região de Florestas Tropicais*. Editora Vozes, Petrópolis. 69p.
- Sioli, H. 1950. Das Wasser in Amazonasgebiet. *Forsh. Fortschr*, v. 26, p. 274-280.
- Smol, J.P. & Stoermer, E.F. 2004. *The Diatoms: applications for the enviromental and Earth Sciences*. Cambridge University Press, Cambridge, 2004.
- Smol, J.P. 2002. *Pollution of lakes and rivers. A paleolimnological perspective*. Arnold, London, pp. 280.
- Smol, J.P. 2008. *Pollution of lakes and rivers: a paleoenvironmental perspective*. 2 ed.
- Souza, G.S., Koenig, M.L., Leça, E.E & Coelho, M.P.C. 2007. Diatomáceas indicadoras de paleoambientes do Quaternário de Dois Irmãos, Recife, PE, Brasil. *Acta Botânica Brasilica* 21 (3): 521-529.
- Stoermer, E.F.; Wolin, J.A.; Schelske, C.L. & Conley, D.J. 1985. An assessment of ecological changes during the recent history of lake Ontario based on siliceous algal microfossils preserved in the sediments. *Journal of Phycology* 21:257-276.
- Suguio, K. 1999. *Geologia do Quaternário e mudanças ambientais: passado+ presente= futuro?*. São Paulo: Paulos comunicação e Artes Gráficas. 366p.

- Tassinari, C.C.G., Macambira, M.J.B., 2004. A evolução tectônica do Cráton Amazônico. In: Mantesso-Neto, V., Bartorelli, A., Carneiro, C.D.R., Brito Neves, B.B. (Eds.), *Geologia do Continente Sul-Americano: Evolução da Obra de Fernando Flávio Marques de Almeida*, pp. 471–485.
- Tófoli, R.M., Dias, R.M., Alves, G.H.Z., Hoeinghaus, D.J., Gomes, L.C., Baumgartner, M.T., Agostinho, A.A. 2017. Gold at what cost? Another megaproject threatens biodiversity in the Amazon. *Perspectives in Ecology Conservation*. doi: [org/10.1016/j.pecon.2017.06.003](https://doi.org/10.1016/j.pecon.2017.06.003)
- Urrego, D.H., Bush, M.B., Silman, M.R., Niccum, B.A., De La Rosa, P., McMichael, C.H., Hagen, S., Palace, M., 2013. Holocene fires, forest stability and human occupation in south-western Amazonia. *Journal of Biogeography* 40, 521e533.
- Urrutia, R., Sabbe, K., Cruces, F., Pozo, K., Araneda, A., Vyverman, W. & Parra, O. 2000. Paleolimnological studies of Laguna Chica of San Pedro (VIII Region): Diatoms, hydrocarbons and fatty acid records. *Santiago. Rev. Chil. Hist. nat.* v. 73, n.4.
- Van Dam, H.; Mertens, A. & Sinkeldam, J. 1994. A coded checklist and ecological indicator values of freshwater diatoms from the Netherlands. *Netherlands Journal of Aquatic Ecology*, 28: 117-133.
- Vaz-Silva, W., Oliveira, R.M., Gonzaga, A.F.N., Pinto, K.C., Poli, F.C., Bilce, T.M., Penhacek, M., Wronski, L., Martins, J.X., Junqueira, T.G., Cesca, L.C.C., Guimarães, V.Y., Pinheiro, R.D. 2015. Contributions to the knowledge of amphibians and reptiles from Volta Grande do Xingu, northern Brazil. *Brazilian Journal of Biology*, 2015, 75, 3, S205-S218. doi: [10.1590/1519-6984.00814BM](https://doi.org/10.1590/1519-6984.00814BM)
- Velghe K., Vermaire J.C., Gregory-Eaves I. 2012. Declines in littoral species richness across both spatial and temporal nutrient gradients: a palaeolimnological study of two taxonomic groups. *Freshwater Biology* 57: 2378-2389.
- Vidotto, E., Pessenda, L.C., Ribeiro, A.S., Freitas, H.A., Bendassolli, J.A., 2007. Dinâmica do ecótono floresta-campo no sul do estado do Amazonas no Holoceno, através de estudos isotópicos e fitossociológicos. *Acta Amazônica* 37 (3), 385e400.
- Vital, H. and Stattegger, K. 2000. Sediment Dynamics in the Lowermost Amazon. *Journal of Coastal Research*. 16 (2): 316-328.
- Walker, J.D. & Geissman, J.W. 2009. GSA geologic time scale. *GSA Today* 19, 60–61.
- Wang, X., Edwards, R.L., Auler, A.S., Cheng, H., Kong, X., Wang, Y., Cruz, F.W., Dorales, J.A., Chiang, H.-W., 2017. Hydroclimate changes across the Amazon lowlands over the past 45,000 years. *Nature* 541, 204e207.

- Wengrat, S., Padial, A.A., Jeppensen, E., Davidson, T.A., Fontana, L., Costa-Böddeker, S., Bicudo, D.C. 2017. Paleolimnological records reveal biotic homogenization driven by eutrophication in tropical reservoirs. *Journal of Paleolimnology*. doi: 10.1007/s10933-017-9997-4.
- Wetzel, C.E., Ector, L., Hoffmann, L. & Bicudo, D.C. 2010. Colonial planktonic *Eunotia* (Bacillariophyceae) from Brazilian Amazon: Taxonomy and biogeographical considerations on the *E. asterionelloides* species complex. *Nova Hedwigia* 91: 49–86. doi: 10.1127/00295035/2010/0091-0049.
- Wintle A.G., & Murray A.S. 2006. A review of quartz optically stimulated luminescence characteristics and their relevance in single-aliquot regeneration dating protocols. *Radiation Measurements*, 41(4): 369– 391. doi: 10.1016/j.radmeas.2005.11.001
- Witkowski, A., Cedro B., Kierzek, A. & Baranowski, D. 2009. Diatoms as a proxy in reconstructing the Holocene environmental changes in the south-western Baltic Sea: the lower Rega River Valley sedimentary record. *Hydrobiologia* 631:155–172
- Wolin, J.A. & Stone, J.R., 2010. Diatoms as indicators of water-level change in freshwater lakes. *In*: Smol, J.P., Stoermer, E.F. (Eds.), *The Diatoms: Applications for the Environmental and Earth Sciences*. Cambridge University Press, Cambridge, pp. 174–185.
- Yu Ge; Xue Bin; Lay Geyang; Gui Feng & Liu Xiaomei. 2007. A 200-year historical modeling of catchment nutrient changes in Taihu basin, China. *Hydrobiologia* 581: 79-87.
- Zacardi, D.M. & Ponte, S.C.S. 2016. Padrões de distribuição e ocorrência do Ictioplâncton no Médio Rio Xingu, Bacia Amazônica, Brasil. *Agronegócio e Meio ambiente*, 9:949-972. doi: 10.17765/2176-9168.2016v9n4p949-972

CAPÍTULO 1

Reconstrução paleolimnológica de um lago de inundação na Amazônia Oriental, Brasil, inferida pelas diatomáceas e registros geoquímicos

Resumo

Mudanças paleoambientais e paleohidrológicas foram reconstruídas a partir de um perfil sedimentar (120 cm) retirado em um lago de inundação (Lago do Arapujá) conectado ao rio Xingu, Pará (Amazônia Oriental). A reconstrução abrange os últimos ~6.000 anos e foi feita com base nas assembleias de diatomáceas, características litológicas, geoquímica orgânica e isótopo estável de nitrogênio. Três zonas paleoambientais foram inferidas. No fim do Holoceno Médio (~5.760-2.040 anos AP, zona 1), as evidências indicaram um sistema mais conectado ao rio, com águas de maior profundidade, turbulentas, alto fluxo hidrológico e predominância de diatomáceas planctônicas adaptadas aos ambientes turbulentos. Nesta fase a partir de ~2.900 anos AP, muito provavelmente houve a formação do lago de inundação, conforme evidenciado pelo aumento de matéria orgânica de origem alóctone. No início do Holoceno Tardio (~2.040-625 anos AP, zona 2), o lago permaneceu com características de águas turbulentas, porém com menor fluxo hidrológico e suave aumento de produtividade. No Holoceno tardio (~625 anos até o presente, zona 3), o lago apresentou águas mais rasas, menos conectadas ao rio, levemente enriquecidas e com predominância de espécies de diatomáceas bentônicas. Os marcadores ambientais indicaram que o ambiente manteve boa qualidade ecológica e sem enriquecimento antropogênico. As alterações do regime hidrológico associadas aos dados secundários do isótopo de oxigênio obtidos em espeleotemas, bem como de insolação para a Amazônia Oriental permitiram inferências sobre a alteração climática regional. Um período de clima mais úmido e chuvoso foi evidenciado no fim do Holoceno médio (~4.000 anos AP), passando para um período mais seco, de menor pluviosidade a partir do Holoceno tardio (~625 anos AP), corroborando com outros trabalhos para a região. Por fim, as alterações hidrológicas do lago de inundação do Rio Xingu permitiram inferir sobre o paleoclima, demonstrando o uso da abordagem paleohidrológica para subsidiar a melhor compreensão das alterações climáticas em outras escalas temporais e geográficas.

Palavras chave: Águas pristinas, Holoceno, Paleoclima, Paleohidrologia, Rio Xingu

1. Introdução

O clima do Holoceno, que foi marcado por drásticas mudanças climáticas devido a sucessivos eventos oriundos de períodos glaciais e interglaciais ocorridos durante o Pleistoceno, passou por uma série de mudanças rápidas em escalas de tempo centenárias a milenares (Mayewski *et al.* 2004, Salgado-Labouriau 2007). O conhecimento sobre essas mudanças permite avaliar os eventos climáticos de curto prazo que podem influenciar o clima atual. Assim, a reconstituição de eventos do passado geologicamente pouco remoto e o caráter frequentemente cíclico desses fenômenos fornecem os elementos necessários ao prognóstico de ocorrência futura desses eventos (Smol 2002, Le Treut *et al.* 2007).

Neste sentido, a abordagem paleoambiental tem recebido destaque como uma ferramenta robusta para a compreensão de alterações ambientais e climáticas, permitindo a identificação das mudanças ocorridas nos ecossistemas ao longo de seu histórico ambiental (Behling & Costa 2000; Behling *et al.* 2001; Irion *et al.* 2006, Smol 2008). Particularmente as mudanças pretéritas do nível da água em ecossistemas de água doce são importantes para reconstruir a variação do clima pretérito e desenvolver modelos preditivos de mudanças climáticas futuras. Tais mudanças podem resultar de vários processos tais como geológicos, biológicos (ex. sucessão da vegetação), e/ou climáticos. Entretanto, a hidrologia é considerada como fator controlador mais importante uma vez que o nível da água dos ambientes lacustres resulta do balanço entre entrada e saída de água (Wolin & Stone 2010). Por sua vez, as alterações do nível da água podem ocasionar mudanças químicas na água, e portanto, podem ser utilizadas como sensores da hidrologia local e regional (Birks & Birks 2006; Smol 2008; Wolin & Stone 2010). Tais alterações no balanço da água causadas por alterações climáticas e/ou atividades humanas têm o potencial de ficarem registradas nos depósitos sedimentares e de serem acessadas por marcadores ambientais (Smol 2008, Smol & Stoermer 2010).

Dentre os marcadores biológicos, as diatomáceas despontam por serem altamente sensíveis às alterações de processos hidrológicos pretéritos, eutrofização, entre outros (Bennion *et al.* 2004, Smol 2008, Smol & Stoermer 2010, Fontana *et al.* 2014, Cardozo *et al.* 2014). As mesmas destacam-se em estudos paleoambientais por serem amplamente distribuídas em abundância e diversidade na maioria dos ambientes aquáticos; algumas espécies são sensíveis às mudanças ambientais e outras muito tolerantes; suas amplitudes ecológicas são relativamente bem conhecidas; e suas valvas geralmente se encontram bem preservadas nos depósitos sedimentares (Bennion 1995, Smol 2008). Particularmente a alteração do nível da água pode ser inferida pelas mudanças na disponibilidade dos hábitos planctônico e bentônico. Ainda, a resposta autoecológica das mesmas fornece sinais sobre alterações físicas e químicas do ambiente e podem auxiliar na

reconstrução das alterações hidrológica (Wolin & Stone 2010). Todavia, a utilização de outras linhas de evidência, como marcadores geoquímicos, permite uma reconstrução mais robusta do histórico das alterações ambientais dos ecossistemas (Smol 2008, Smol & Stoermer 2010, Torres *et al.* 2012, Fontana *et al.* 2014).

Estudos sobre o paleoclima da Amazônia Oriental indicaram que as condições climáticas foram mais secas durante o Holoceno médio, mudando para uma condição mais úmida no Holoceno tardio (Hermanowski *et al.* 2012, Moreira *et al.* 2013a, b, Fontes *et al.* 2017). Os trabalhos de reconstrução do paleoclima da região da Amazônia Oriental utilizaram principalmente marcadores da vegetação (pólen) (Hermanowski *et al.* 2012), ou empregaram a combinação de marcadores como pólen e geoquímica orgânica (e.g. Behling *et al.* 2001, Sifeddine *et al.* 2003, Vidotto *et al.* 2007), palinomorfos (Cordeiro *et al.* 2008, Moreira *et al.* 2013a), geoquímica orgânica (Moreira *et al.* 2013b) e registros isotópicos de espeleotemas (Fontes *et al.* 2017).

Apesar das informações crescentes sobre o paleoclima desta região, informações inferidas pelas assembleias de diatomáceas, ou seja, sobre as mudanças pretéritas no nível da água dos ecossistemas só foram realizadas por Ribeiro *et al.* (2010), os quais utilizaram as diatomáceas na reconstrução paleohidrológica e paleoambiental de sedimentos da praia de Itupanema, município de Barcarena, Estado do Pará.

O Rio Xingu pertence à Bacia Hidrográfica Amazônica, sendo um dos maiores afluentes do Rio Amazonas, contém trechos ainda preservados, rica biodiversidade aquática e expressiva diversidade biológica e sociocultural (ISA 2012). A porção abaixo do rio, no Município de Altamira, limite sudeste da Bacia Sedimentar do Amazonas, compreende um cenário fluvial particular denominado de Volta Grande do Xingu, região conhecida pelo percurso atípico do rio e morfologia diversificada. Neste trecho, o rio apresenta leito rochoso, caracterizado por um canal de 4 a 5 km de extensão, segmentado em múltiplos canais entrecruzados e interconectados, com corredeiras, limitando barreiras de sedimentos cobertas por mata ciliar e floresta tropical, considerada como um ambiente único para a biodiversidade amazônica (Tassinari & Macambira 2004, Sawakuchi *et al.* 2015).

O Lago do Arapujá, local deste estudo, é um lago de inundação localizado na Ilha do Arapujá, uma das inúmeras ilhas espalhadas no rio e localizada no trecho do rio Xingu em frente à cidade Altamira. A Ilha possui os últimos fragmentos de vegetação natural para a região e o lago é considerado um berçário ecológico por abrigar grande diversidade de espécies de peixes e outros animais aquáticos (Sawakuchi *et al.* 2015). Particularmente os estudos realizados para esta região são relativamente escassos e abrangem o levantamento de espécies arbóreas (Campbell *et al.* 1986,

Balee & Campbell 1990), bromélias (Koch *et al.* 2015), anfíbios e répteis (Vaz-Silva *et al.* 2015). Ainda, o programa “Mananciais do Instituto Socioambiental” disponibiliza informações sobre a bacia hidrográfica do rio Xingu, mediante documentos sínteses e mapas temáticos (ISA 2012). Apenas dois trabalhos paleoambientais fornecem informações preliminares sobre as diatomáceas e complementares a outros marcadores visando reconstruir as alterações ambientais pretéritas da região (Sawakuchi *et al.* 2015 e Bertassoli *et al.* 2017). Tais trabalhos são oriundos de um projeto interdisciplinar, no qual o presente estudo se insere.

Este estudo pretende reconstruir as alterações ambientais do lago de inundação (Lago do Arapujá), durante os últimos 6.000 anos na região da Bacia do Rio Xingu principalmente com base no registro sedimentar das diatomáceas, associado à geoquímica orgânica e dados de espeleotema. Mais especificamente visa (a) avaliar as alterações das assembleias de diatomáceas para inferir sobre mudanças hidrológicas e eventual processo de enriquecimento no ambiente e (2) subsidiar a interpretação das alterações do paleoclima local e regional no período do Holoceno na Bacia do Rio Xingu. Espera-se que as assembleias de diatomáceas respondam primordialmente às alterações do regime hidrológico do lago de inundação em associação ao clima local. Este estudo é o primeiro a utilizar as diatomáceas na reconstrução das mudanças hidrológicas em ambientes lacustres a fim de subsidiar as alterações do paleoclima na região da Amazônia Oriental.

2. Área de Estudo

A Bacia Hidrográfica Amazônica representa cerca de 40% do território nacional, possui mais de 60% da disponibilidade hídrica do país e abrange uma área total aproximada de 6,5 milhões de km² (PNRH 2006). Abriga a maior rede hidrográfica do planeta, escoando cerca de 1/5 do volume de água doce do mundo. A Bacia do Rio Amazonas (Fig. 1a) representa a maior bacia de drenagem do mundo e seus rios são elementos importantes de sistemas ecológicos, biogeoquímicos e climáticos, incluindo conexões com a atmosfera e o oceano (Junk & Nunes de Mello 1990, ANA 2007, Cunha *et al.* 2007).

A Bacia Hidrográfica do Rio Xingu (Fig. 1a), situada dentro dos estados do Pará e do Mato Grosso, abrange área aproximada de 509.000 km² e constitui-se em uma referência da diversidade socioambiental da Amazônia brasileira (Latrubesse *et al.* 2005; ISA 2010; ISA 2012). A Bacia contém trechos ainda preservados de Cerrado, Floresta Amazônica e de vegetação, rica biodiversidade, abrigando espécies endêmicas de animais e vegetais (ISA 2010).

O rio Xingu (Fig. 1b) destaca-se pela diversidade biológica e cultural brasileira, é o terceiro maior tributário do rio Amazonas e o segundo maior rio de águas claras (Sawakuchi *et al.* 2015). Possui vazão de 8,728 m³/s, cerca de 2,7 mil km de extensão e sua bacia ocupa área de 51 milhões

de hectares (ISA 2010, Prado *et al.* 2017) sendo responsável por cerca de 5% da vazão do Rio Amazonas. O clima da região é tropical, quente, predominantemente úmido, com temperaturas médias anuais oscilando entre 17,5 °C e 24,5 °C, umidade relativa entre 84 a 86%. A precipitação média anual varia de 2.066 mm a 2.379 mm, apresentando pulso de pluviosidade que caracteriza o ciclo hidrológico com período mais chuvoso de novembro a maio, com maior intensidade em dezembro e outro, de estiagem (junho a outubro) (ISA 2012, Zacardi & Ponte 2016).

A porção abaixo do rio, no município de Altamira (PA), limite sudeste da Bacia Sedimentar do Amazonas, compreende um cenário fluvial particular denominado de Volta Grande do Xingu, região conhecida pelo percurso atípico do rio e morfologia diversificada com cerca de 4 a 5 km de extensão (Sawakuchi *et al.* 2015). A Ilha do Arapujá (Fig. 1c) localiza-se entre os paralelos 3°13' S e 52°11' O, sendo localizada no trecho do médio Rio Xingu em frente à cidade de Altamira, sendo uma das inúmeras ilhas espalhadas no rio (ISA 2012). É caracterizada por ser plana, com pequenas elevações e considerada como área de várzea devido à influência do rio Xingu. Possui grande variação em sua paisagem, com contraste entre área de cobertura florestal, com grande variedade de vegetação de grande porte, opondo-se a áreas de campo e ação humana, na qual estão presentes vegetação rasteira, gramíneas e arbustos. O Lago do Arapujá, localizado na Ilha de mesmo nome, apresenta grande diversidade de espécies de peixes e outros animais aquáticos, sendo considerado como berçário ecológico (ISA 2012, Sawakuchi *et al.* 2015).

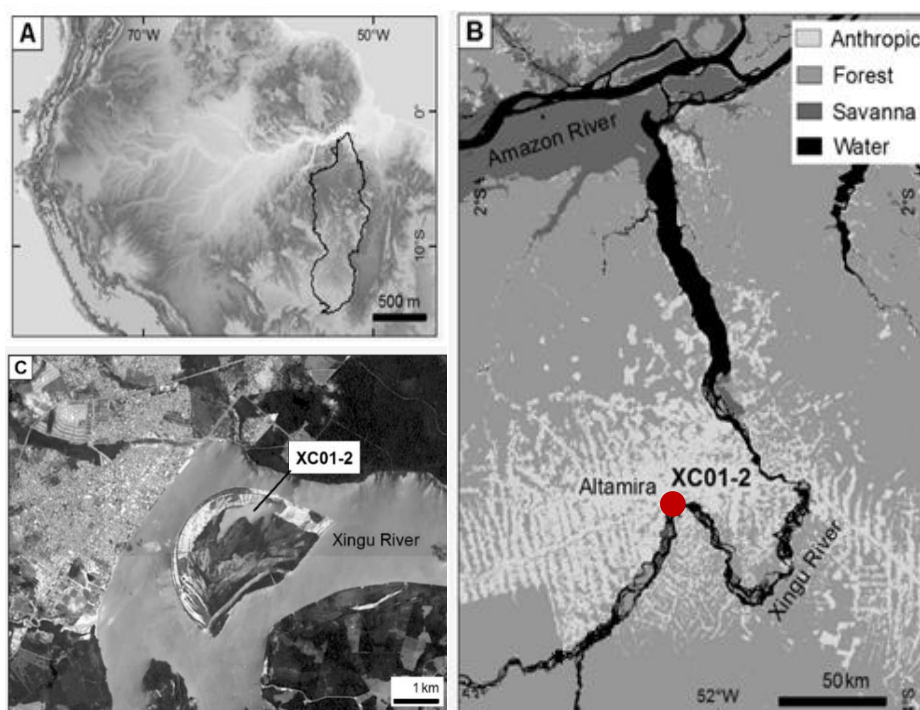


Figura 1. (A) Localização da Bacia Amazônica com destaque para a Bacia Hidrográfica do Rio Xingu, (B) Localização do ponto de amostragem do perfil sedimentar XC01-2, indicada pelo círculo vermelho, (C) Localização da lagoa de inundação (Lago do Arapujá) na Ilha do Arapujá. Fonte: Google Earth.

3. Materiais e Métodos

3.1. Amostragem e Processamento do material

O perfil sedimentar (XC01-2) foi coletado por mergulhadores na região mais profunda do lago de inundação, usualmente considerado o local de maior acumulação e deposição contínua de grãos finos de sedimentos ao longo do ano (Smol 2008, Sawakuchi *et al.* 2015). A coleta foi realizada na estação de seca de 2014, usando tubos cilíndricos de PVC de 6 m de comprimento, 3 polegadas de espessura e 85 mm de diâmetro. As características gerais da estação de amostragem constam na Tabela 1.

Tabela 1. Localização geográfica e demais informações da estação de amostragem do perfil sedimentar no rio Xingu. Abreviação: XC = Core Xingu; (perfil XC01-2)

Estação de Amostragem	Código	Descrição	Profundidade e da água (m)	Coluna sedimentar (cm)	Coordenadas Geográficas
Lago do Arapujá	XC01-2	Ilha do Arapujá, em frente à cidade de Altamira	1 m	122 cm	3°12'51.24"S 52°11'24.25"W

O perfil sedimentar (XC01-2) de comprimento de 122 cm foi transportado intacto (vedado) até o Instituto de Geociências da USP, São Paulo, no qual foi aberto longitudinalmente. Após abertura, a descrição litológica foi realizada por fotografias e Carta de Munsell (1975) e o perfil foi seccionado do topo para a base a cada 2 cm.

As subamostras foram acondicionados em frascos (10 ml) com auxílio de espátulas e previamente etiquetados conforme os marcadores biogeoquímicos (diatomáceas, pólen, geoquímica orgânica e inorgânica) e a profundidade que representam. Após esse procedimento, as subamostras de diatomáceas foram transportadas para o Instituto de Botânica em caixas térmicas e mantidas refrigeradas.

3.2. Cronologia

A geocronologia para o perfil sedimentar foi determinada por dois métodos. O método de Luminescência Opticamente Estimada (LOE) e pelo método de radiocarbono (^{14}C).

Para a base do perfil sedimentar, na profundidade de 120 cm, a geocronologia foi determinada pelo método de Luminescência Opticamente Estimada (LOE) e datada no

Laboratório de Espectrometria Gama e Luminescência (Legal), do Instituto de Geociências da Universidade de São Paulo. A medida de luminescência foi realizada no leitor de luminescência Risø TL/OSL modelo DA-20 e filtro Hoya U-340. As doses equivalentes foram determinadas pelo protocolo SAR (*Single Aliquot Regenerative Dose*), proposto por Murray & Wintle (2000) e Wintle & Murray (2006), em alíquotas de multigrãos de quartzo e foram calculadas através do Modelo de Idade Central (Central Age Model) (Galbraith *et al.* 1999).

Para as demais profundidades (20 cm, 40 cm, 62 cm e 82 cm), a geocronologia foi determinada pela datação por radiocarbono (^{14}C) por Espectrometria de Massa com Aceleradores (Accelerator Mass Spectrometry – AMS) realizada em folhas e fragmentos de carvão recuperados do perfil sedimentar. As amostras foram tratadas no Laboratório Beta Analytic Radiocarbon Dating e no Laboratório de Radiocarbono, da Universidade Federal do Fluminense (LAC-UFF).

As datas de ^{14}C e LOE foram calibradas usando o programa estatístico R através do pacote Bacon 2.3 e a curva de calibração utilizada foi IntCal13 (Blaauw & Christen 2011, Reimer *et al.* 2013, R Core Team 2015).

3.3. Litologia, Geoquímica e Isótopos Estáveis

A litologia (cor e textura) foi descrita imediatamente após a abertura do testemunho por meio de fotografias e de acordo com a Carta de Munsell (1975) para todas as subamostras.

Concentrações de carbono orgânico total (COT), nitrogênio total (NT), isótopo estável ($\delta^{15}\text{N}$) e razão C:N foram medidas para avaliar a produtividade e a composição da matéria orgânica (MO) nos sedimentos do perfil. Cerca de 1 cm³ de sedimentos, amostrados em intervalos de 2 cm, foram analisados no *Pioneer Natural Resources Stratigraphy and Paleo-environments Laboratory*, do Departamento de Ciências da Terra e do Ambiente, da Universidade do Kentucky. Carbono Orgânico Total (COT) foi determinado utilizando o sistema de análise LECO CS-200 (CS-Analyzing System). Nitrogênio total (NT) e isótopos estáveis do nitrogênio ($\delta^{15}\text{N}$) foram analisados utilizando a espectroscopia de fluorescência de raio-X (PANalytical Epsilon3-XL XRF) e a Razão C:N foi calculada com base nos resultados obtidos de carbono orgânico e nitrogênio total.

A reconstituição paleoclimática foi realizada com base nos valores isotópicos de $\delta^{18}\text{O}$, obtidos a partir de dados de espeleotemas da Caverna do Paraíso e dados de insolação disponíveis online no National Centers for Environmental Information (<https://www.ncdc.noaa.gov/data-access/paleoclimatology-data/datasets>).

3.4. Diatomáceas

As amostras de diatomáceas foram oxidadas seguindo o método de Battarbee *et al.* (2001). Neste método, aproximadamente 1,5 gramas de sedimento úmido foram colocados em tubos para oxidação pela adição de peróxido de hidrogênio (H₂O₂, 35% PA) e ácido clorídrico (HCl, 37%). Lâminas permanentes foram montadas com Naphrax® e as contagens realizadas ao microscópio Zeiss® (Axio Imager A2) em aumento de 1000×. A unidade básica de contagem foi a valva e fragmentos foram incluídos desde que se visualizem pelo menos 50% da valva (Battarbee *et al.* 2001). Dois critérios de contagem foram utilizados conjuntamente, quantificação de no mínimo de 400 valvas em cada amostra (lâmina) e eficiência de contagem de 90% (Pappas & Stoermer 1996) para padronizar o esforço de quantificação das amostras. Os dados quantitativos das espécies foram expressos em abundância relativa (%) do total de diatomáceas em cada amostra. Para taxonomia e nomenclatura foram utilizadas obras clássicas e recentes (*ex.* Round *et al.* 1990, Metzeltin & Lange-Bertalot 2007, Wetzel *et al.* 2010) e principalmente obras que incluam materiais da América do Sul e de regiões tropicais (*e.g.* Metzeltin & Lange-Bertalot 2007, Bicudo *et al.* 2016, Faustino *et al.* 2016, Costa *et al.* 2017), bem como catálogos *online* de nomes válidos para diatomáceas (Fourtanier & Kociolek 2011), Academia de Ciências de Filadélfia (research.calacademy.org/research/diatoms/names) e Registro Mundial de Espécies Marinhas (WoRMS) (<http://www.marinespecies.org/index.php>).

Dados ecológicos dos táxons foram obtidos a partir da revisão de literatura sobre sua ecologia (Moro & Fürstenberg 1997; van Dam *et al.* 1994, Faustino *et al.* 2016, Bicudo *et al.* 2016, Bartozek *et al.* 2018), consulta ao programa OMNIDIA, versão 7.5 (Lecointe *et al.* 1993), e buscas em sites especializados de diatomáceas (Algaebase - <http://www.algaebase.org/>), além de pesquisas em literatura que caracterize a diatomoflórula local (*ex.* Ribeiro & Senna 2010; Bastos 2010).

3.5 Análise dos dados

As principais mudanças nos perfis geoquímicos foram identificadas usando o programa C2, versão 1.7.6 (Juggins 2003). As mudanças de fontes da matéria orgânica foram avaliadas pela razão C/N e $\delta^{15}\text{N}$ (Meyers 2003, Costanzo *et al.* 2005). O diagrama de abundância relativa das espécies foi produzido no TILIAGRAPH 1.7.16 (Grimm 1991) e as principais fases das comunidades de diatomáceas foram identificadas pelo CONISS (Constrained Incremental Sum of Squares). Uma Análise de Correspondência Destendenciada (DCA) foi realizada no programa PC-ORD 6.0, a fim de verificar o tamanho do gradiente que é particularmente útil para determinar a técnica mais apropriada (unimodal ou linear) para analisar os dados (Lepš & Šmilauer 2003, Smol & Stoermer 2010). Considerando que o tamanho do gradiente do eixo-DCA-1 foi inferior a 2

unidades de desvio padrão, indicando uma resposta linear, aplicou-se Análise de Componentes Principais (PCA), a partir dos dados de abundância relativa pela amplitude de variação “*ranging*” e matriz de covariância produzida no programa PC-ORD 6.0, para complementar os resultados obtidos pelo CONISS.

O grau de mudança das assembleias de diatomáceas entre diferentes fases ao longo do perfil sedimentar foi avaliada usando o coeficiente de dissimilaridade do quadrado da distância de corda (SCD, squared chord distance), conforme Overpeck *et al.* (1985) e Bennion & Simpson (2011). Os valores deste coeficiente variam de 0 a 2, sendo 0 o valor indicativo de duas subamostras perfeitamente similares e o valor 2, indicativo de duas subamostras perfeitamente dissimilares (Bennion & Simpson 2011). Os critérios adotados foram: SCDs menores do que 0,45 para mudanças mínimas, valores entre 0,45 e 0,6 para mudanças leves, entre 0,6 e 0,93 para mudanças moderadas e valores maiores do que 0,93 para mudanças maiores (Bennion & Simpson 2011).

4. Resultados

4.1. Geocronologia, descrição litológica e análise geoquímica

Os dados cronológicos de ^{14}C e LOE para o perfil sedimentar XC01-2 estão resumidos na Tabela 2. Os resultados obtidos pela datação indicaram que a cronologia do testemunho registra a deposição de sedimentos desde o fim do Holoceno Médio, correspondendo a cerca de 5.760 anos AP (Fig. 2).

Tabela 2. Idades de radiocarbono ^{14}C , LOE e idades calibradas das amostras selecionadas do perfil sedimentar XC01-2. Abreviação: XC = Core Xingu (perfil 1: XC01-2).

Código Laboratório	Profundidade (cm)	Natureza	Idade radiocarbono ^{14}C cal. anos AP	Idade anos cal. AP
170081	20	Sedimento	456 ± 24	408
488006	40	Sedimento	780±30	689
488007	60	Sedimento	1700±30	1514
468959	82	Sedimento	2920±30	3058
L0307	120	Sedimento	6926±523	5760

Com base na descrição litológica, geoquímica e isótopo estável $\delta^{15}\text{N}$ (Fig. 2), três zonas foram identificadas no perfil sedimentar, zona 1 (122 -76 cm), zona 2 (76-28 cm) e zona 3 (28-0 cm). Na zona 1, os sedimentos basais apresentaram areia com grãos médios a grosseiros, COT apresentou os menores valores (0,2 mg g⁻¹), as concentrações de NT foram as mais baixas (0,1 mg

g^{-1}) e a razão C/N (19) e o sinal de nitrogênio $\delta^{15}\text{N}$ (3,6‰) apresentaram os maiores valores. Na zona 2, a porção subjacente apresentou sedimentos silte-argilosos com coloração cinza escuro (2,5 Y 4/2), ambas as concentrações de COT e NT apresentaram aumento gradativo e NT apresentou um pico isolado ($0,63 \text{ mg g}^{-1}$) na profundidade de 42 cm e $\delta^{15}\text{N}$ permaneceu relativamente estável (3‰). A razão C/N apresentou leve diminuição com pico mínimo (8,0) na mesma profundidade acima. Na zona 3, a porção superior apresentou sedimentos silte-argilosos com coloração castanho (2,5Y 4/4), as concentrações de COT e NT permaneceram com aumento gradual, atingindo valores máximos no topo ($6,0 \text{ mg g}^{-1}$ e $0,5 \text{ mg g}^{-1}$, respectivamente) e os valores da razão C/N e o sinal de $\delta^{15}\text{N}$ decresceram em direção ao topo, atingindo valores mínimos de 12 e 1,7‰ respectivamente.

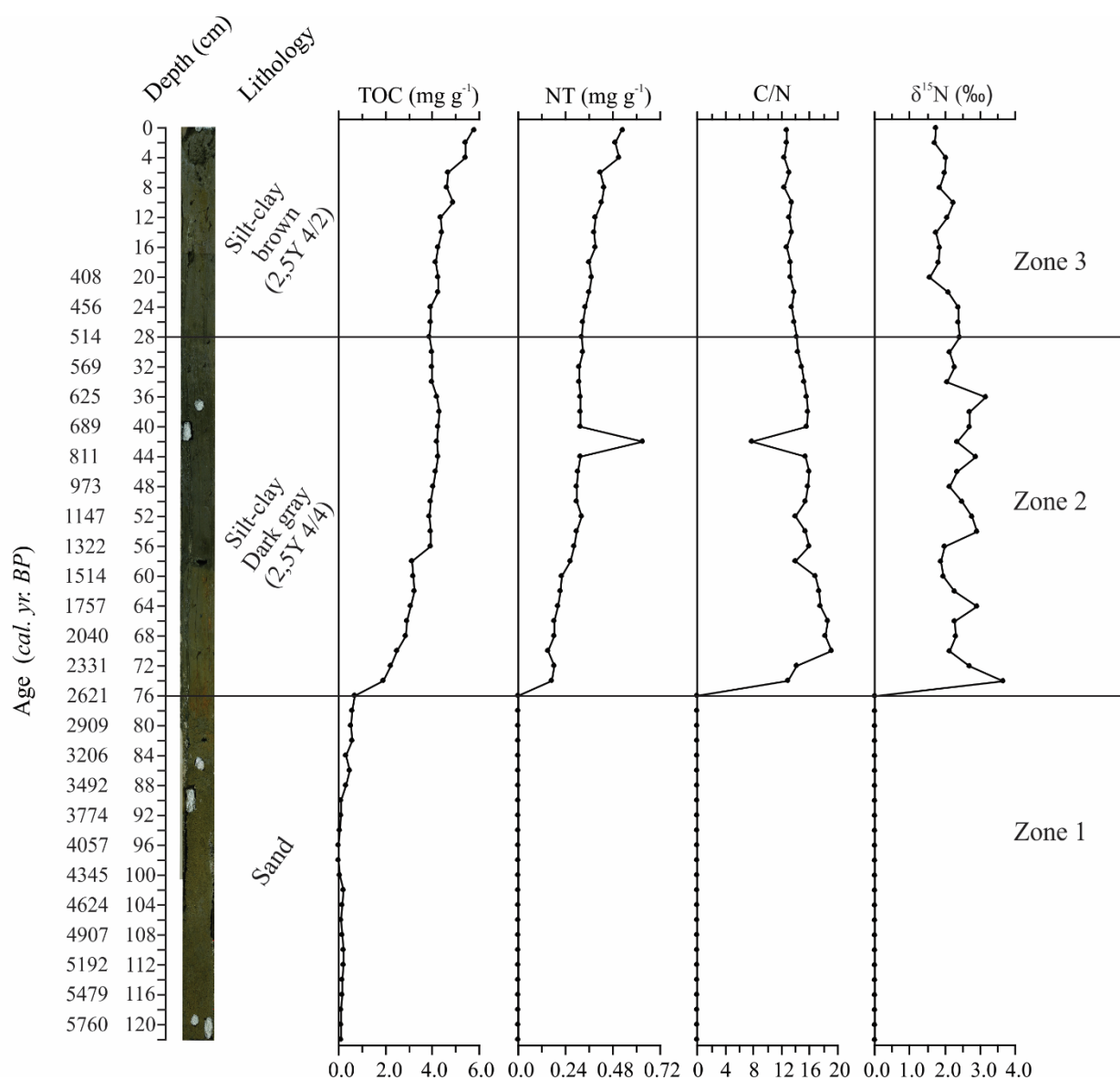


Figura 2. Litologia e resultados da geoquímica orgânica do perfil sedimentar XC01-2. Carbono orgânico total (TOC), nitrogênio total (N), razão C/N, e $\delta^{15}\text{N}$ versus profundidade (cm).

4.2. Assembleias de diatomáceas fósseis

O total de 117 táxons entre espécies e variedades, distribuídos em 33 gêneros, foram identificados nas 61 amostras do perfil sedimentar XC01-2, porém apenas 22 táxons com abundância relativa $\geq 2\%$ foram representados na Fig. 3. O perfil estratigráfico associado às análises de ordenação (PCA) e agrupamento (CONISS) permitiu identificar três zonas paleoambientais ao longo do perfil sedimentar.

Na zona 1 (122-68 cm), duas espécies planctônicas do gênero *Aulacoseira* destacaram-se em representatividade, sendo *Aulacoseira granulata* a espécie dominante com alta abundância relativa (82%), seguida por *Aulacoseira brasiliensis* (29%). Outras espécies do gênero *Aulacoseira* (*Aulacoseira ambigua*, *Aulacoseira herzogii* e *Aulacoseira pusilla*) também ocorreram nesse período, porém em menor porcentagem (até 10%). Nesta zona houve maior contribuição de espécies planctônicas (média de 94%) e a relação entre a abundância de táxons planctônicos e bentônicos (P/B) foi a maior com valores médios de 42% nesta zona. Na zona 2 (68-34 cm), as duas espécies mais abundantes na zona anterior continuaram dominantes, com leve declínio na abundância relativa de *A. granulata* (60%) e de *A. brasiliensis* (27%). Duas outras espécies também planctônicas aumentaram em abundância, *A. ambigua* (até 15%) e *A. herzogii* (até 10%). A relação planctônico/bentônico (P/B) diminuiu substancialmente (média de 12%). Na zona 3 (34-0 cm), *A. granulata* manteve-se relativamente estável (65%), porém ocorreu drástica diminuição de *A. brasiliensis* (até 20%), *A. ambigua* (~8%) e *A. herzogii* (3%), e marcado aumento abundância de três espécies bentônicas: *Staurosira construens* (até 25%), *Staurosirella leptostauron* var. *dubia* (até 17%) e um gênero novo (até 20%). A razão planctônicas/bentônicas decresceu, permanecendo baixa até o topo do perfil (média de 3%). Como tendência geral, *A. granulata* destacou-se como dominante ao longo do perfil sedimentar com destaque para a zona 1, seguida por *A. brasiliensis* com maior abundância nas duas primeiras zonas, a qual foi ultrapassada por *S. construens* na zona 3.

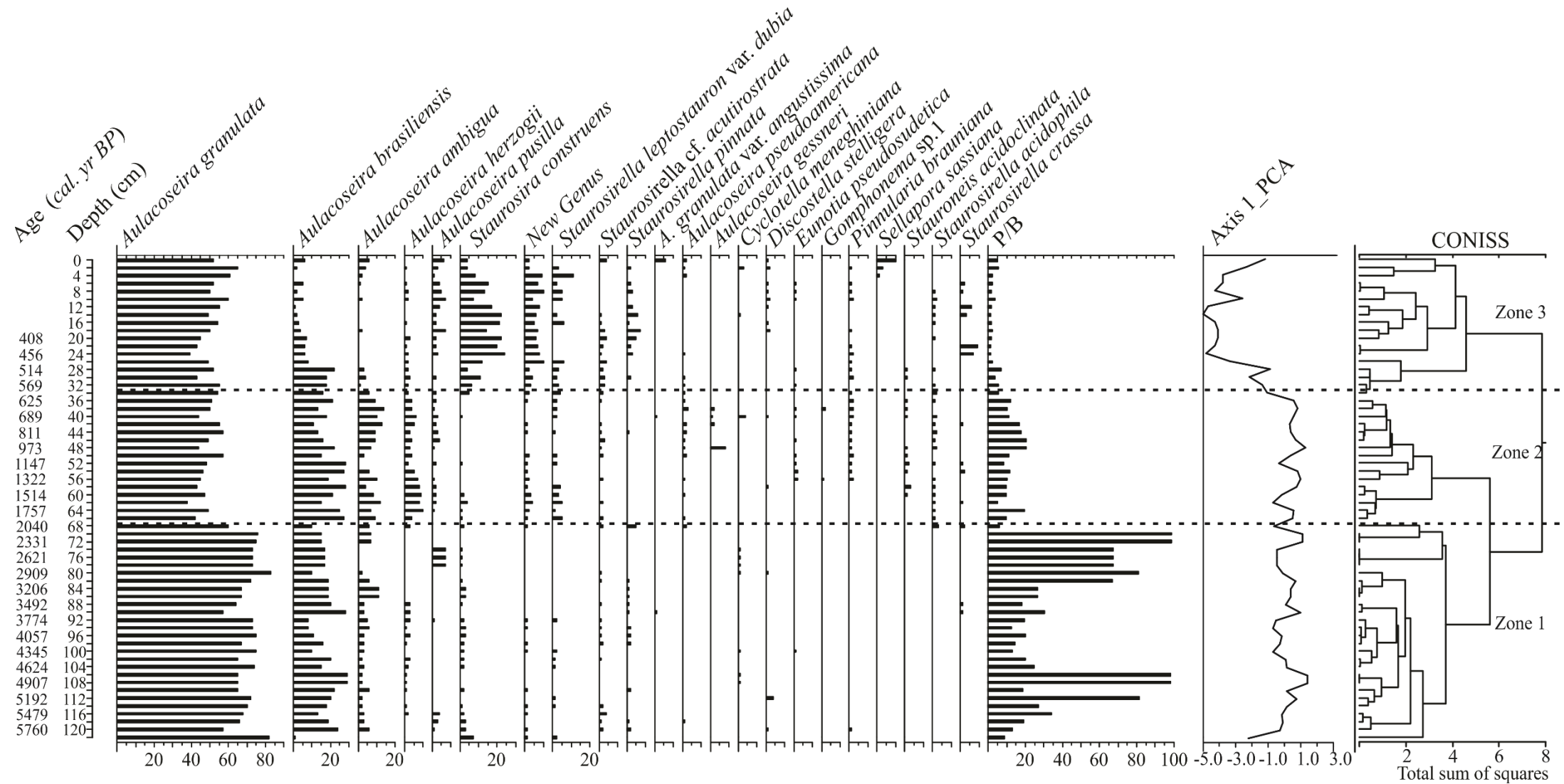


Figura 3. Perfil estratigráfico das espécies de diatomáceas com abundância relativa $\geq 2\%$ do perfil sedimentar XC01-2. Score de explicabilidade da PCA 38% (eixo 1).

A avaliação conjunta das assembleias de diatomáceas foi feita pela Análise dos Componentes Principais (PCA) considerando as espécies representadas no perfil estratigráfico (abundância $\geq 2\%$). A análise foi significativa ($p = 0,001$) e os dois primeiros eixos de ordenação resumiram 54% da variabilidade conjunta dos dados (Fig. 4) e revelou a formação de dois grupos principais. No eixo 1 (38% de variação) ocorreu nítida separação entre as unidades amostrais em função da série temporal de forma que o período da zona 3 (34-0 cm) ordenou-se no lado negativo do eixo, associada às espécies *Staurosira construens* ($r = -0,95$), *Gênero novo* sp.1 ($r = -0,85$) e *Staurosirella crassa* ($r = -0,51$), enquanto que as demais zonas se posicionaram no lado positivo do eixo, associadas principalmente com as espécies de *Aulacoseira brasiliensis* ($r = 0,81$) e *Aulacoseira ambigua* ($r = 0,60$). No eixo 2 (16% de variação), houve separação em função da litologia, no lado negativo do eixo foram ordenadas as profundidades correspondentes à camada de areia (zona 1) associadas a *Aulacoseira granulata* ($r = -0,84$) e no lado positivo, foram ordenadas as profundidades correspondentes à camada de silte argiloso (zona 2 e 3) associadas principalmente a *Aulacoseira herzogii* ($r = 0,83$). Observa-se que a maior variação ocorreu entre a zona 3 e as demais zonas, conforme também indicado na Figura 3.

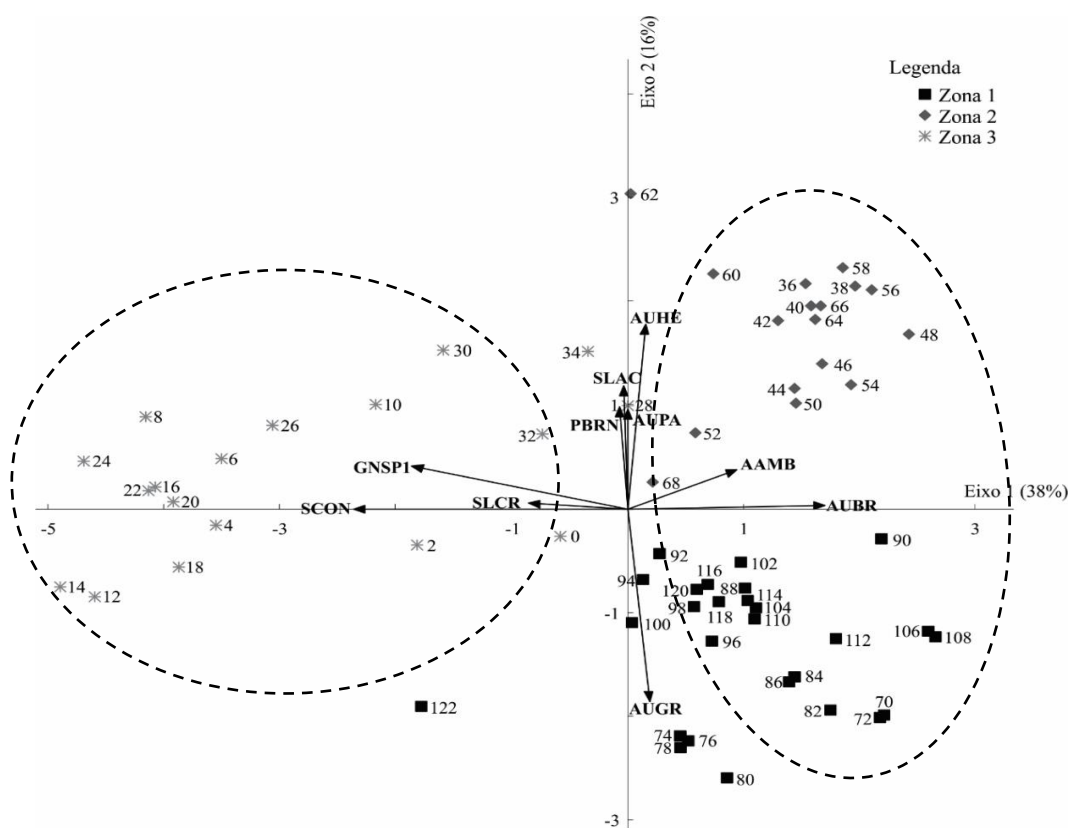


Figura 4. Análise de Componentes Principais (PCA) das espécies de diatomáceas com abundância relativa $\geq 2\%$ do perfil sedimentar XC01-2. Legenda: zona 1 (122-68 cm, ~5.760-2.040 anos AP), zona 2 (68-34 cm, 2.040-625 anos AP), zona 3 (34-0 cm, 625 anos AP até o presente). Código dos vetores e correlação de Pearson estão na Tabela 3.

Tabela 3. Correlação de Pearson das espécies (r) com os escores do eixo 1 e 2 da PCA

Variáveis	Código	Eixo 1	Eixo 2
<i>Aulacoseira ambigua</i>	AAMB	0,604	0,386
<i>Aulacoseira brasiliensis</i>	AUBR	0,811	0,132
<i>Aulacoseira granulata</i>	AUGR	0,278	-0,844
<i>Aulacoseira herzogii</i>	AUHE	0,253	0,830
<i>Aulacoseira pusilla</i>	AUPA	0,051	0,609
<i>Gênero novo</i>	GNSP1	-0,849	0,399
<i>Pinnularia brauniana</i>	PBRN	-0,168	0,619
<i>Staurosira construens</i>	SCON	-0,955	-0,020
<i>Staurosirella acidophila</i>	SLAC	-0,123	0,676
<i>Staurosirella crassa</i>	SLCR	-0,518	0,101

O grau de mudança das comunidades de diatomáceas (SCD) revelou alterações mínimas a moderada ao longo do perfil sedimentar. O escore da análise de similaridade SCD entre as amostras da base da zona 1 (122 cm) e a base da zona 2 (68 cm) foi de 0,47 refletindo uma mudança leve na composição das assembleias. A comparação entre as amostras da base da zona 1 (122 cm) e do topo da zona 2 (34 cm), bem como base da zona 1 e topo da zona 3 (0 cm) indicou mudança moderada, com valores de SCD de 0,62 e 0,63, respectivamente. A comparação entre a amostra da base (68 cm) e o topo da zona 2 (34 cm) indicou mudança mínima (SCD = 0,38). Finalmente, a comparação entre as amostras da base zona 2 (68 cm) e do topo da zona 3 refletiu mudança moderada (SCD = 0,70) na composição das assembleias de diatomáceas

5. Discussão

O perfil sedimentar XC01-2 do Rio Xingu apresentou mudanças marcadas na litologia, diatomáceas e geoquímica ao longo dos últimos ~5.760 anos AP. Todos os marcadores indicaram a existência de três zonas paleoambientais mais ou menos coincidentes. Entretanto, dependendo do marcador, as diferenças foram mais acentuadas entre a zona 1 e as demais zonas (litologia, geoquímica, proporção entre as formas planctônicas e bentônicas) ou entre a zona 3 e as demais zonas (assembleias de diatomáceas).

A ocorrência dessas zonas revelou importantes mudanças na paleolimnologia e paleohidrologia do lago de inundação, indicando que durante o Holoceno Médio o lago apresentou águas mais profundas, que se tornaram mais rasas no final do Holoceno tardio. Ainda, os marcadores ambientais associados aos dados de isótopos de oxigênio, obtidos em espeleotemas da caverna do Paraíso, bem como de insolação média anual para Amazônia Oriental (Wang *et al.* 2017) indicaram que as alterações hidrológicas no lago de inundação refletiram as mudanças climáticas. Uma vez que as condições de

boa qualidade ecológica do lago de inundação foram mantidas, foi possível capturar o sinal das mudanças hidrológicas. Desta forma, tais resultados permitiram inferir que muito provavelmente o clima foi mais úmido e chuvoso no fim do Holoceno Médio e mais seco, com menor pluviosidade, a partir do Holoceno tardio.

Zona 1 (122-68 cm; ~5.760-2.040 anos AP) – Fim do Holoceno Médio

As assembleias de diatomáceas permitiram inferir condições de águas mais turbulentas e profundas do que na época mais recente. Este resultado foi indicado pela marcada dominância de duas espécies do gênero planctônico *Aulacoseira* (*A. granulata* e *A. brasiliensis*) (Fig. 3), estas foram associadas a outros marcadores. *Aulacoseira granulata* apresenta amplo espectro de distribuição ao longo de um gradiente trófico, ocorrendo em ambientes oligotróficos a eutróficos (Denys *et al.* 2003, Zalat & Vildary 2007, Stenger-Kovacs *et al.* 2007) e preferencialmente em ambientes eutróficos (Bicudo *et al.* 2016). Em contrapartida, esta espécie também pode estar associada a condições de turbulência (Zalat & Vildary 2007), ambientes profundos, com elevada disponibilidade de sílica (Cardozo *et al.* 2014), bem como à conectividade hidrológica entre lagos e canais fluviais em diferentes várzeas (Gell & Reid, 2014). Assim, a prevalência desta espécie já foi associada a episódios de alta precipitação em estudo paleoambiental em um lago raso no sul do Uruguai (García-Rodríguez & Witkowski, 2003); expressivo aporte de água doce do rio para um lago raso no sul da Austrália devido ao aumento da pluviosidade (Fluin *et al.*, 2007) e, juntamente com a predominância de grão silte-argiloso, à conectividade hidrológica na planície de inundação de Yangtze, China (Liu *et al.* 2012). A segunda espécie mais abundante reforça a inferência sobre a boa qualidade ecológica do sistema uma vez que *A. brasiliensis* está associada a águas oligotróficas, ligeiramente ácidas e com baixa condutividade (Tremarin *et al.* 2012, Bicudo *et al.* 2016). Por fim, a grande variação da razão das diatomáceas planctônicas e bentônicas sugere flutuações no nível da água.

As características litológicas (Fig. 2) com predominância de grãos de areia médio a grosso também sugerem um período de maior hidrodinâmica do rio e coluna d'água mais profunda (e.g. Fayó *et al.* 2018). A partir de 76 cm (~2.909 anos AP), os sedimentos silte-argilosos de coloração cinza escuro sugerem condições de menor fluxo hidrológico do rio (e.g. McGlue *et al.* 2011, Fayó *et al.* 2018).

Em relação à geoquímica orgânica (Fig. 2), até 74 cm (~2.621 anos AP) os marcadores apresentaram valores abaixo do limite de detecção do método e COT apresentou baixas concentrações, indicando baixa produtividade e grandes flutuações do nível da água (Cardozo *et al.* 2014, Fontes *et al.* 2017). De forma similar, concentrações baixas desses marcadores foram reportadas a períodos de aumento de entrada d'água no lago de Padul, Espanha, com favorecimento do fitoplâncton (Ortiz *et*

al. 2004). A partir de 74 cm, os valores de COT e da razão C/N aumentaram abruptamente, indicando aumento da produtividade no ambiente com predominância de matéria orgânica de origem alóctone oriunda de material vegetal (Meyers 1997, 2003) muito provavelmente proveniente de planta vascular. A tendência de aumento do sinal isotópico $\delta^{15}\text{N}$ também indicou maior produtividade no sistema lacustre (Fontes *et al.* 2017), porém os valores ainda baixos reforçaram as boas condições ecológicas sem interferência de eutrofização antrópica (Fontana *et al.* 2014). A mudança na litologia e o aumento dos marcadores geoquímicos sugerem o início da formação do lago de inundação o que corrobora com os dados de granulometria e datação por OSL obtidas por Sawakuchi *et al.* (2015).

O conjunto dos marcadores ambientais analisados permitiu inferir que a fase paleoambiental da zona 1 foi caracterizada por condições predominantes de elevada hidrodinâmica do sistema, águas turbulentas, oligotróficas, de baixa produtividade, muito provavelmente representando a fase rio do sistema e refletindo flutuações do nível da água e influência de condições climáticas quentes e úmidas. A partir de ~2.909 anos AP, a mudança na litologia e o aumento dos marcadores geoquímicos sugerem maior produtividade do sistema, porém mantendo as condições turbulentas e oligotróficas, e muito provavelmente indicando o início da formação do lago de inundação.

Zona 2 (68-34 cm; ~2.040-625 anos AP) – Início do Holoceno tardio

A predominância das mesmas espécies observadas na fase anterior (*A. granulata* e *A. brasiliensis*) e o aumento de duas outras espécies do gênero *Aulacoseira* (*A. ambigua* e *A. herzogii*) indicaram a permanência de condições turbulentas. Apesar de *A. ambigua* ser encontrada em amplo gradiente de produtividade, sendo associada a águas mais enriquecidas (Zalat & Vildary 2007) e preferencialmente a ambientes levemente ácidos e mesotróficos (Bicudo *et al.* 2016), esta espécie também vem sendo amplamente associada a ambientes de águas turbulentas, continuamente misturadas com baixa disponibilidade de luz (Houk, 2003; Bradbury *et al.*, 2004; Taylor *et al.*, 2007; Costa-Böddeker *et al.* 2012). *Aulacoseira herzogii*, a segunda espécie mais bem representada nesta zona, pode ocorrer em amplo espectro de gradiente trófico, mas preferencialmente em águas mesotróficas com baixa condutividade (Bicudo *et al.* 2016), associada a eventos de turbulência, maior turbidez e regime de mistura (Tremarin *et al.* 2013b). Ambas as espécies por apresentarem frústulas mais leves do que *A. granulata* e *A. brasiliensis* não requerem águas tão turbulentas para se manterem na coluna d'água.

Os valores mais elevados de COT, NT e razão C/N (Fig. 2) indicaram, maior produtividade no ambiente (Fontes *et al.* 2017) e predominância de matéria orgânica de origem alóctone (Meyers 1997, 2003). Os valores baixos do sinal de $\delta^{15}\text{N}$ evidenciaram a permanência de condições oligo-mesotróficas (Torres *et al.* 2012).

O conjunto das associações das quatro espécies de *Aulacoseira*, das características litológicas com sedimentos silte-argilosos de coloração cinza escuro e da geoquímica permitiram inferir uma zona ambiental de águas turbulentas, porém com menor fluxo hidrológico em relação à zona anterior, com diminuição da profundidade do nível da água (menor razão planctônica/bentônica) e águas com baixa produtividade. Finalmente, a análise do CONISS indicou a maior similaridade entre as zonas 1 e 2. Muito provavelmente esta zona representou a fase do lago de inundação com grande influência da conectividade com o Rio Xingu devido às condições climáticas úmidas.

Zona 3 (34-0 cm; ~625 anos até o presente) – Holoceno tardio

A zona 3 foi caracterizada por um período de maior diferenciação dentre as zonas paleoambientais. As assembleias de diatomáceas indicaram condições de águas mais rasas e ligeiramente enriquecidas devido à predominância de elementos bentônicos em detrimento das espécies planctônicas (*A. brasiliensis*, *A. ambigua* e *A. herzogii*) e aumento de três táxons de hábito bentônico (*Staurosira construens*, *S. leptostauron* var. *dubia* e uma espécie pertencente a um gênero novo). *Staurosira construens* foi marcadamente melhor representada nesta zona. Esta espécie vem sendo reportada em águas mesotróficas a eutróficas e principalmente em águas levemente enriquecidas (Bennion 1995, Ribeiro *et al.* 2008). De forma similar, *S. leptostauron* var. *dubia* ocorre em águas ácidas, com condutividade média e preferencialmente mesotróficas (Morales & Manoylov 2006). O aumento de espécies bentônicas associado à redução da coluna da água também foi registrado para o Lago Tota, na Colômbia durante o Holoceno tardio e foi atribuído a um período mais seco com altas temperaturas e baixa precipitação (Cardozo *et al.*, 2014). Da mesma forma, resultados similares foram obtidos para o mesmo período em decorrência dos níveis mais baixos da coluna da água e menor hidrodinâmica no rio Colorado, Argentina, associados a um período climático mais seco com menor precipitação (Fayó *et al.*, 2018).

Em relação à geoquímica, os valores de COT e NT (Fig. 2) aumentaram suavemente e permaneceram elevados indicando maior produtividade no sistema. Apesar do leve decréscimo da razão C/N, os valores ainda elevados evidenciaram predominância de matéria orgânica de origem alóctone (Meyers 1997, 2003). Os valores ainda mais baixos do isótopo $\delta^{15}\text{N}$ indicaram a permanência de ambiente oligotrófico com baixa ou nenhuma eutrofização antropogênica (Torres *et al.* 2012, Fontana *et al.*, 2014). A litologia da zona 3 foi caracterizada por sedimentos de grãos finos, silte-argilosos com lama detrítica de coloração castanho, rica em compostos orgânicos, evidenciando condições de baixa energia hidrodinâmica com características de ambiente lacustre (Behling & Lima da Costa 2000) e com menor conexão com o rio (Fayó *et al.* 2018).

O conjunto dos marcadores ambientais permitiram inferir que este período foi caracterizado por um regime climático mais seco, de baixa precipitação, que muito provavelmente propiciou condições mais lacustres, águas mais rasas, leve aumento da produtividade e de enriquecimento natural, porém sem interferência antropogênica.

Finalmente, o grau de mudança das assembleias de diatomáceas (SCD) revelou alterações mínimas a moderada ao longo de todo perfil sedimentar. Os escores da análise de similaridade (SCD) foram de 0,4 (comparação entre a base da zona 1 e da zona 2) e 0,6 (base da zona 1 e topo da zona 2; base da zona 1 e topo da zona 3) e indicaram baixa variabilidade das assembleias. A comparação entre as assembleias da base da zona 2 e do topo da zona 3 evidenciaram mudança moderada (SCD = 0,7) possivelmente associada à alteração hidrológica no lago de inundação. No conjunto, os valores observados indicam baixas alterações das assembleias muito provavelmente devido à manutenção de boa qualidade ecológica da água durante o Holoceno.

6. Interpretação sobre o Paleoclima

Um período de águas mais profundas com elevada hidrodinâmica do sistema e de condições climáticas mais úmidas e alta precipitação foi observado no Rio Xingu durante o fim do Holoceno Médio e o início do Holoceno Tardio (~6.000 a 625 anos BP, zonas 1 e 2). De acordo com dados secundários (Fig. 5) do isótopo estável de oxigênio ($\delta^{18}\text{O}$) obtidos em espeleotemas da caverna do Paraíso e de insolação média anual para a Amazônia Oriental (Wang *et al.* 2017), este período foi caracterizado como de clima úmido com alta precipitação anual na Bacia Amazônica. Resultados similares também foram registrados na Bacia Amazônica após 4.000 anos BP (ex. Behling *et al.* 2001, Irion *et al.* 2006, Cordeiro *et al.*, 2008, Moreira *et al.* 2013a,b, Brugger *et al.* 2016, Fontes *et al.* 2017).

Assim, as condições climáticas mais úmidas durante o fim do Holoceno Médio e início do Holoceno Tardio podem ser atribuídas a mudanças na posição da Zona de Convergência Intertropical (ZCIT). Durante este período a ZCIT mudou para o sul, que propiciou o fortalecimento do Sistema de Monção da América do Sul (SAMS) no verão devido ao aumento da insolação no Hemisfério Sul, proporcionando o aumento da precipitação na região amazônica (Turcq *et al.* 2002a; Silva Dias *et al.* 2009, Prado *et al.* 2013).

Além disso, a precipitação elevada, condições climáticas relativamente mais úmidas e níveis mais elevados dos lagos durante o mesmo período (4.014-3.620 anos AP) também foram reportados em várias regiões da Colômbia (e.g. Behling & Hooghiemstra 2000, Marchant *et al.* 2001b, Cardozo *et al.* 2014). Tais autores atribuíram esses fenômenos à mudança na umidade também devido ao deslocamento da ZCIT para o sul, o que favoreceu o aumento da intensidade do vento aumentando o influxo de massas de ar úmido, bem como da precipitação.

Por outro lado, um regime climático mais seco, de baixa precipitação, águas mais rasas do lago de inundação foi evidenciado no Holoceno Tardio (~625 anos AP). Tal inferência corrobora com os dados de $\delta^{18}\text{O}$ (Fig. 5) que apresentaram os menores valores nos últimos ~6.000 anos indicando menor precipitação, bem como com os dados de insolação média anual que permaneceu elevada devido ao aumento da insolação no Hemisfério Sul (Turcq *et al.* 2002a; Silva Dias *et al.* 2009). Tal condição também foi inferida durante o Holoceno tardio (~1.000 anos BP) por Fontes *et al.* (2017), que evidenciaram redução na vegetação em decorrência dos níveis mais baixos do lago do Saci, Pará, associada a um período climático mais seco com baixa precipitação

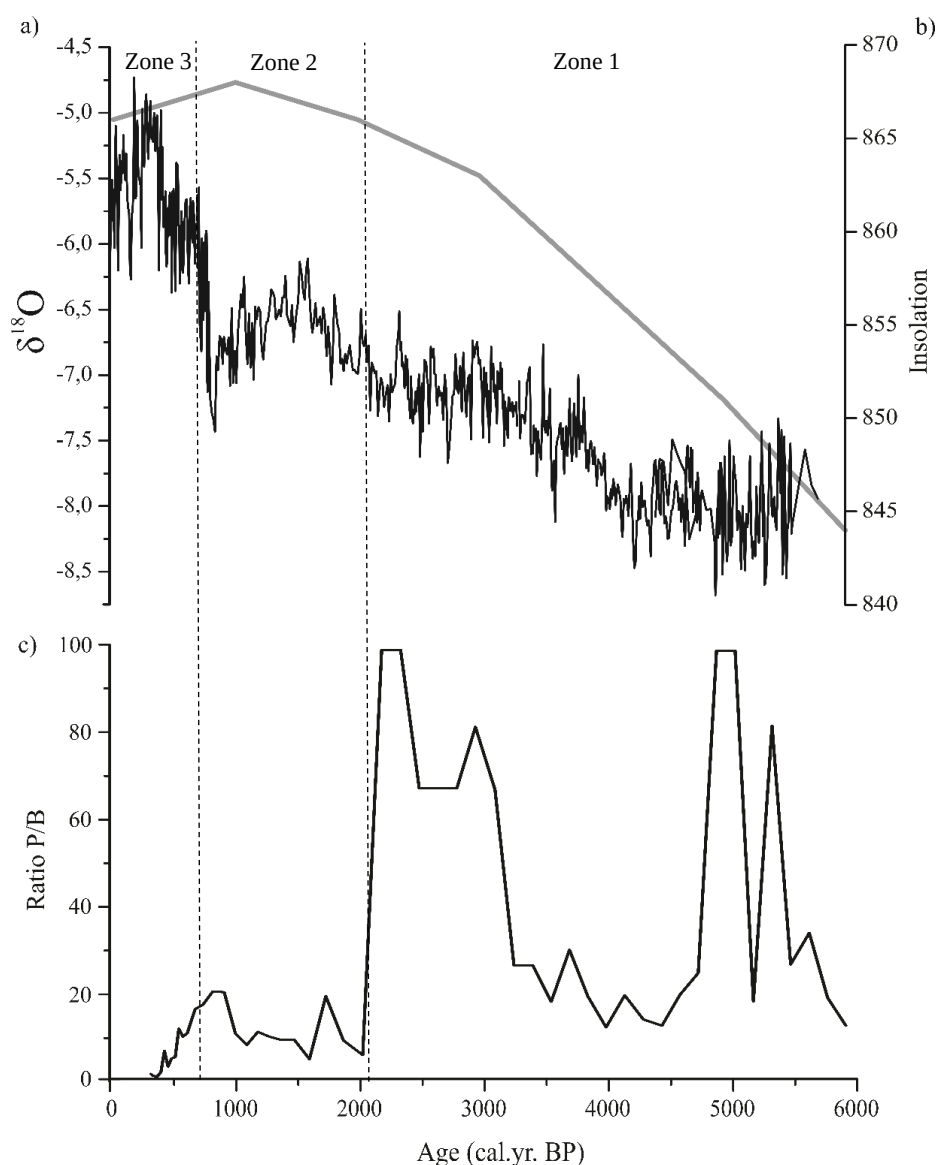


Figura 5. (a) Comparação dos valores (a) $\delta^{18}\text{O}$ de registros de espeleotemas da caverna Paraíso (Wang *et al.* 2017), (b) dados anuais médios de insolação de verão para a Amazônia Oriental (Berger & Loutre 1991), linha contínua cinza, (c) razão entre a contribuição (%) das espécies planctônicas e bentônicas do perfil sedimentar XC01-2. Linhas tracejadas separam as zonas: zona 1 (~5.760-2.040 anos BP), zona 2 (2.040-625 anos BP) e Zona 3 (625 anos até o presente).

7. Considerações Finais

As assembleias de diatomáceas associadas a outros marcadores ambientais da litologia, geoquímica orgânica e dados isotópicos evidenciaram alterações hidrológicas no lago de inundação conectado ao rio Xingu durante os últimos ~6.000 anos AP. No fim do Holoceno Médio, as evidências indicaram condições de um ambiente mais conectado ao rio, com maior profundidade, águas turbulentas e com alto fluxo hidrológico. Nesta fase, a partir de ~2.900 anos AP, há indícios de formação do lago de inundação, conforme inferido pelo aumento de matéria orgânica de origem alóctone. No início do Holoceno Tardio (zona 2), os marcadores indicaram que o ambiente permaneceu com águas turbulentas, porém com menor fluxo hidrológico, suave aumento de produtividade e com predominância de diatomáceas planctônicas adaptadas às condições turbulentas. Entretanto, no Holoceno Tardio (zona 3) o lago de inundação apresentou águas mais rasas, menos conectadas ao rio, levemente enriquecidas e com predominância de espécies de diatomáceas bentônicas. Assim, no conjunto, apesar do leve aumento da produtividade autóctone, os indicadores permitiram inferir que o lago de inundação permaneceu oligotrófico com leve enriquecimento no Holoceno Tardio por processos naturais e não antropogênicos.

Os períodos ambientais do lago de inundação foram muito provavelmente relacionados ao comportamento paleohidrológico do Rio Xingu como reflexo das mudanças climáticas na região Amazônica. Os resultados encontrados sugerem que o processo deposicional no lago de inundação foi influenciado pelo histórico de mudanças no nível de água do Rio Xingu de forma que, no Fim do Holoceno Médio, o sistema apresentou águas profundas que deram lugar a águas mais rasas no Holoceno Tardio.

Em síntese, as alterações do regime hidrológico do lago de inundação forneceram subsídios sobre a alteração climática regional. A concordância entre as mudanças hidrológicas e os dados climáticos inferidos pelos registros de $\delta^{18}\text{O}$ de espeleotemas e dos dados anuais médios de insolação de verão para a Amazônia Oriental indicaram um período mais úmido e chuvoso no fim do Holoceno Médio (~ 4.000 anos AP) e mais seco, com menor pluviosidade a partir do Holoceno tardio (~625 anos AP), corroborando com outros trabalhos para a região (Behling *et al.* 2001, Irion *et al.* 2006, Cordeiro *et al.* 2008, Moreira *et al.* 2013a,b , Brugger *et al.* 2016, Fontes *et al.* 2017). Por fim, as alterações hidrológicas do lago de inundação do Rio Xingu permitiram inferir sobre o Paleoclima, demonstrando o uso desta abordagem a fim de subsidiar a melhor compreensão das alterações climáticas em outras escalas de tempo e geográficas.

8. Referências Bibliográficas

- Agência Nacional de Águas. 2007. GEO Brasil: Recursos hídricos. Ministério do Meio Ambiente. Brasília: MMA.60p.
- Balee, W. & Campbell, D.G. 1990. Evidence for the Successional Status of Liana Forest (Xingu River Basin, Amazonian Brazil). *Biotropica*. v. 22(1): 36-47.
- Bastos, A.S.M. 2010. Diversidade e abundância de algas epilíticas no setor do médio Rio Xingu/PA. Dissertação de mestrado da Universidade Federal do Pará, Belém, Pará.
- Battarbee, R.W.; Jones, V.; Flower, R.J.; Cameron, N.; Bennion, H.; Carvalho, L. & Juggins, S. 2001. Diatoms. In: Smol, J.P; Birks, H.J.B.; Last, W.M. (ed.). *Tracking Environmental Change Using Lake Sediments*. London: Kluwer Academic Publishers.v.3. p. 155-203.
- Bartozek E.C.R., Zorzal-Almeida S. & Bicudo D.C. 2018. Surface sediment and phytoplankton diatoms along a trophic gradient in tropical reservoirs: new records for Brazil and São Paulo state. *Hoehnea* 45(1): 69-92. doi: 10.1590/2236-8906-51/2017
- Behling, H. & Hooghiemstra, H. 2000. Holocene Amazon rainforest-savanna dynamics and climatic implications: high-resolution pollen record from Laguna Loma Linda in eastern Colombia. *Journal Quaternary Science*. London, v.15, p. 687-695.
- Behling, H. & Lima da Costa, M. 2000. Holocene enviromental changes from the rio Curuá record in the Caxiuanã region, eastern Amazon basin. *Quaternary Research* 53, 369-377. doi:10.1006/qres.1999.2117
- Behling, H., Keim, G., Irion, G., Junk, W., Nunes de Mello, J., 2001. Holocene environmental changes in the central Amazon Basin inferred from Lago Calado (Brazil). *Palaeogeography Palaeoclimatology Palaeoecology* 173, 87e101. doi: 10.1016/S0031-0182(01)00321-2
- Bennion, H., Fluin, J., Simpson, G.L. 2004. Assessing eutrophication and reference conditions for Scottish freshwater lochs using subfossil diatoms. *J Appl Ecol* 41:124–138
- Bennion, H. & Simpson, G. L. 2011. The use of diatom records to establish reference conditons for UK lakes subject to eutrophication. *Journal of Paleolimnology* 45: 469–488. doi: 10.1007/s10933-010-9422-8
- Bennion, H. 1995. Surface-sediment diatom assemblages in shallow, artificial, enriched ponds and implications for reconstructing trophic status. *Diatom Research* 10:1-19.
- Berger, A. & Loutre, M.F., 1991. Insolation values for the climate of the last 10 million of years. *Quaternary Science Reviews* 10 (4), 297e317.
- Bicudo, D.C., Tremarin, P.I., Almeida, P.D., Almeida-Zorzal, S., Wengrat, S., Faustino, S.B., Costa, L.F., Bartozek, E.C.R., Rocha, A.C.R., Bicudo, C.E.M. & Morales, E.A. 2016. Taxonomy and

- ecology of Aulacoseira species (Bacillariophyta) from tropical reservoirs in Brazil. *Diatom Research* 31(2): 199-215. doi: 10.1080/0269249X.2016.1227376
- Birks, H.H., Birks, H.J., 2006. Multi-proxy studies in palaeolimnology. *Vegetation History and Archaeobotany*. 15, 235–251.
- Bertassoli D.J.Jr., Sawakuchi A.O., Sawakuchi H.O., Pupim F.N., Hartmann G.A., McGlue M.M., Chiessi C.M. Zabel M., Schefuß E., Pereira T.S., Santos R.A., Faustino S.B., Oliveira P.E. & Bicudo D.C. 2017. The Fate of Carbon in Sediments of the Xingu and Tapajós Clearwater Rivers, Eastern Amazon. *Frontiers in Marine Science* 4:44 doi: 10.3389/fmars.2017.00044.
- Blaauw, M. & Christen, J.A., 2011. Flexible paleoclimate age-depth models using an autoregressive gamma process. *Bayesian Anal.* 6, 457e474.
- Bradbury, J.P., Colman, S.M., Dean, W.E. 2004. Limnological and Climatic Environments at Upper Klamath Lake, Oregon during the past 45 000 years. *Journal of Paleolimnology* 31:167-188.
- Brugger, S.O., Gobet, E., van Leeuwen, J.F.N., Ledru, M.P, Colombaroli, D., VAN DER Knaap, W.O., Lombardo, U., Escobar-Torres, K., Finsinger, W., Rodrigues, L., Giesche, A., Zarate, M., Veit, H., Tinner, W. 2016. Long-term man-environment interactions in the Bolivian Amazon: 8000 years of vegetation dynamics. *Quaternary Science Reviews*. 132, 114-128
- Campbell, D.G., Daly, D.C., Prance, G.T., Maciel, U.N. 1986. Quantitative ecological inventory of terra firme and várzea tropical forest on the rio Xingu, Brazilian Amazon. *Brittonia*. V. 38:4 3 p. 369-393.
- Cardozo, A.Y.V., Gomes, D.F., da Silva, E.M., Duque, S.R.E., Rangel, J.O.Ch., Siffedine, A., Turcq, B., Albuquerque, A.L.S. 2014. Holocene paleolimnological reconstruction of a high altitude Colombian tropical lake. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*. doi: 10.1016/j.palaeo.2014.03.013.
- Cordeiro, R.C., Turcq, B., Suguio, K., Silva, A.O., Sifeddine, A., Volkmer-Ribeiro, C. 2008. Holocene fires in east Amazonia (Carajás), new evidences, chronology and relation with palaeoclimate. *Glob. Planet. Change* 61, 49e62. doi: 10.1016/j.gloplacha.2007.08.005
- Costa, L.F., Wetzel, C.E., Lange-Bertalot, H., Ector, L., Bicudo, D.C. 2017. Taxonomy and ecology of *Eunotia* species (Bacillariophyta) in southeastern Brazilian reservoirs. In: *Bibliotheca Diatomologica* Vol. 64. H. Lange-Bertalot & J. P. Kociolek (eds). 302 pp. ISBN 978-3-443-57055-2.
- Costa-Böddeker, S., Bennion, H., Jesus, T.A., Albuquerque, A.L.S., Figueira, R.C.L. & Bicudo, D.C. 2012. Paleolimnologically inferred eutrophication of a shallow tropical urban reservoir, southeast Brazil. *Journal of Paleolimnology* 48: 751-766. doi: 10.1007/s10933-012-9642-1.
- Costanzo S.D., Udy, J., Longstaff, B. & Jones, A. 2005. Using nitrogen stable isotope ratios (d15N)

- of macroalgae to determine the effectiveness of sewage upgrades: changes in the extent of sewage plumes over four years in Moreton Bay, Australia. *Marine Pollution Bulletin* 51: 212–217. doi: 10.1016/j.marpolbul.2004.10.018
- Cunha, P.R.C, Melo, J.H.G., Silva, O.B. 2007. Bacia do Amazonas. *B. Geoci.* 15:2 227-251.
- Denys, L., Muylaert, K., Krammer, K., Joosten, T., Reid, M. & Rioual, P. 2003. *Aulacoseira subborealis* stat. nov. (Bacillariophyceae): a common but neglected plankton diatom. *Nova Hedwigia* 77(3/4): 407–427.
- Faustino, S.B., Fontana, L., Bartozek, E.C.R., Bicudo, C.E.M. & Bicudo, D.C. 2016. Composition and distribution of diatom assemblages from core and surface sediments of a water supply reservoir in Southeastern Brazil. *Biota Neotropica* 16 (2): 2-23. doi: 10.1590/1676-0611-BN-2015-0129
- Fayó, R., Espinosa, M.A., Vélez-Agudelo, C.A., Pan, J., Isla, F.I. 2018. Diatom-based reconstruction of Holocene hydrological changes along the Colorado River floodplain (northern Patagonia, Argentina). *Journal of Paleolimnology*. doi: 10.1007/s10933-018-0031-2
- Fluin, J., Gell, P., Haynes, D, Tibby, J. & Hancock, G. 2007. Paleolimnological evidence for the independent evolution of neighbouring terminal lakes, the Murray Darling Basin, Australia. *Hydrobiologia*, 591: 117-134.
- Fontana, L.; Albuquerque, A.L.S.; Brenner, M.; Bonotto, D.M.; Sabaris, T.P.P.; Pires, M.A.F.; Cotrim, M.E.B. & Bicudo, D.C. 2014. The eutrophication history of a tropical water supply reservoir in Brazil. *Journal of Paleolimnology* 51(1): 29-43.
- Fontes, D., Cordeiro, R.C., Martins, G.S., Behling, H., Turcq, B., Sifeddine, A., Seoane, J.C.S., Moreira, L.S., Rodrigues, R.A. 2017. Paleoenvironmental dynamics in South Amazonia, Brazil, during the last 35,000 years inferred from pollen and geochemical records of Lago do Saci. *Quaternary Science Reviews* 173, 161-180.
- Fourtanier, E. & Kocielek, J.P. 2011. Catalogue of Diatom Names, California Academy of Sciences, On-line Version updated 19 Sep 2011. Available online at <http://research.calacademy.org/research/diatoms/names/index.asp>.
- García-Rodríguez, F. & Witkowski, A. 2003. Inferring sea level variation from relative percentages of *Pseudopodosira kosugii* in Rocha Lagoon, SE Uruguay. *Diatom Research*, 18(1): 49-59
- Galbraith, R. F., Roberts, R. G., Laslett, G. M., Yoshida, H., Olley, J. M., Galbraith, R. F. 1999. Optical dating of single and multiple grains of quartz from Jinmium rock shelter, Northern Australia: Part I, Experimental design and statistical models. *Archaeometry* 41, 339–364. doi: 10.1111/j.1475-4754.1999.tb00987.x
- Gell, P. & Reid, M. 2014. Assessing change in floodplain wetland condition in the Murray Darling Basin, Australia. *Anthropocene* 8:39–45

- Grimm 1991. TILIA version 1.11. TILIAGRAPH version 1.18. *In*: Gear, A. (ed). A user notebook. Illinois State Museum, Springfield, USA.
- Hermanowski, B., Costa, M.L., Behling, H., 2012. Environmental changes in southeastern Amazonia during the last 25,000 yr revealed from a palaeoecological record. *Quaternary Research*. 77, 138e148.
- Houk V. 2003. Atlas of freshwater centric diatoms with a brief key and descriptions. Part I. Melosiraceae, Orthoseiraceae, Paraliaceae and Aulacoseiraceae. Czech Phycology Supplement, Olomouc. 114 pp.
- Irion, G., Bush, M.B., Nunes de Mello, J.A., Stüben, D., Neumann, T., Müller, G., Morais, J.A., Junk, W., 2006. A multiproxy palaeoecological record of Holocene lake sediments from the Rio Tapajós, Eastern Amazonia. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*. 240, 523e535.
- ISA. 2010. Fique por dentro: a Bacia do Rio Xingu em Mato Grosso. Série Cartô Brasil Socioambiental, v.2 São Paulo: Instituto Socioambiental. 40p. Disponível em: <https://www.socioambiental.org/sites/blog.socioambiental.org/files/publicacoes/10395.pdf>
- ISA. 2012. De olho na Bacia do Xingu. Série Cartô Brasil Socioambiental, v.5. São Paulo: Instituto Socioambiental. 63p. Disponível em: https://www.socioambiental.org/sites/blog.socioambiental.org/files/publicacoes/de-olho-bacia-xingu_150dpi.pdf
- Juggins, S. 2003. C2 user guide. Software for ecological and palaeoecological data analysis and visualization. University of Newcastle, Newcastle upon Tyne 69 p.
- Junk, W.J., Nunes de Mello, J.A.S. 1990. Impactos ecológicos das represas hidrelétricas na bacia amazônica brasileira. *Estudos Avançados* 4:8 130-146.
- Koch, A.K., Monteiro, R.F., Ilkiu-Borges, A.L. 2015 Checklist de Bromeliaceae da região da Volta Grande do Xingu, Pará, Brasil. *Rodriguésia* 66(2): 455-464. doi: 10.1590/2175-7860201566213
- Latrubesse, E.M., Stevaux, J.C., Sinha, R. 2005. Tropical Rivers. *Geomorphology* 70. 187.
- Lecointe, C.; Coste, M. & Prygiel, J. 1993. "Omnidia": software for taxonomy, calculation of diatom indices and inventories management. *Hydrobiologia* 269/270: 509-513.
- Lepš J, Šmilauer P. 2003. Multivariate Analysis of ecological data usig CANOCO. Cambridge University Press, Cambridge, pp. 269.
- Le Treut, H., Somerville, R., Cubasch, U., Ding, Y., Mauritzen, C., Mokssit, A., Peterson, T., Prather, M. 2007 Historical Overview of Climate Change. *In*: Solomon S, Qin D, Manning M, Chen Z, Marquis M, Averyt KB, Tignor M, Miller HL (eds.) *Climate Change 2007: The Physical Science Basis*. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental

- Panel on Climate Change Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, pp 94-122.
- Liu, J., Lin, Z., Zhang, H. & Han, B.P. 2012. Hydrodynamic change recorded by diatoms in sediments of Liuxihe Reservoir, Southern China. *Journal of Paleolimnology*. 47(1):17–27. doi: 10.1007/s10933-011-9543-8.
- Marchant, R., Berrío, J.C., Cleef, A., Duivenvoorden, J., Van Geel, B., Van der Hammen, T., Hooghiemstra, H., Kuhry, P., Melief, B.M., Van Reenen, G., Wille, M., 2001. A reconstruction of Colombian biomes derived from modern pollen data along an altitude gradient. *Revista Palaeobotany Palynology* 117, 79–92.
- Mayewski, P.A., Rohling, E.E., Stager, J.C., Karlen, W., Maasch, K.A., Meeker, L.D., Meyerson, E.A., Gasse, F., van Kreveld, S., Holmgren, K., Lee-Thorp, J., Rosqvist, G., Rack, F., Staubwasser, M., Schneider, R.R., Steig, E.J., 2004. Holocene climate variability. *Quaternary Research* 62, 243–255.
- McGlue, M.M., Ellis, G.S., Cohen, A.S., Swarzenski, P.W. 2011. Playa-lake sedimentation and organic matter accumulation in an Andean piggyback basin: the recent record from the Cuenca de Pozuelos, North-west Argentina. *Sedimentology*. doi: 0.1111/j.1365-3091.2011.01304.x
- Metzeltin, D. & Lange-Bertalot, H. 2007. Tropical diatoms of South America, 2. *In*: Lange-Bertalot H. (ed.) *Iconographia Diatomologica*, annotated diatom micrographs. Stuttgart:Koeltz Scientific Books, v.15, 736p.
- Meyers, P.A. 2003. Applications of organic geochemistry to paleolimnological reconstructions: a summary of examples. *Organic Geochemistry* 34: 261–289. doi: 10.1016/S0146- 6380(02)00168-7
- Meyers, P.A. 1997. Organic geochemical proxies of paleoceanographic, paleolimnologic, and paleoclimatic processes. *Organic geochemistry* 27: 213-250. doi: 10.1016/S0146- 6380(97)00049-1.
- Morales, E.A. & Manoylov, K.M. 2006. Morphological studies on selected taxa in the genus *Staurosirella* Williams et Round (Bacillariophyceae) from rivers in North America. *Diatom Research*, 21:2, 343-364. doi: 10.1080/0269249X.2006.9705674
- Moreira, L.S., Moreira-Turcq, P., Cordeiro, R.C., Turcq, B., Caquineau, S., Viana, J.C.C., Brandini, N., 2013a. Holocene palaeoenvironmental reconstruction in the eastern Amazonian basin: Comprido lake. *J. South Amer. Earth Sci.* 44, 55e62. doi: 10.1016/j.jsames.2012.12.012
- Moreira, L.S., Moreira-Turcq, P., Turcq, B., Cordeiro, R.C., Kim, J.H., Caquineau, S., Mandeng-Yogo, M., Macario, K.D., Damste, J.S.S., 2013b. Palaeohydrological controls on sedimentary organic matter in an Amazon floodplain lake, Lake Maracã (Brazil) during the late Holocene. *Holocene* 23 (12), 1903e1914. doi: 10.1177/0959683613508155

- Moro, R.S. & Fürstenbeger, C.B. 1997. Catálogo dos principais parâmetros ecológicos de diatomáceas não-marinhas. Ponta Grossa: Editora da Universidade Estadual de Ponta Grossa, 282 p.
- Munsell Color Co. 1975. Munsell soil color charts. Munsell Color Company, Baltimore.
- Murray, A. S. and Wintle, A. G. 2000. Luminescence dating of quartz using an improved single-aliquot regenerative-dose protocol. *Radiat. Meas.* 32, 57–73. doi: 10.1016/S1350-4487(99)00253-X-206.
- NOAA – National Centers for environmental information. Climate Forcing. Disponível em: <https://www.ncdc.noaa.gov/data-access/paleoclimatology-data/datasets/climate-forcing>
- NOAA – National Centers for environmental information. Speleothem data. Disponível em: <https://ncdc.noaa.gov/data-access/paleoclimatology-data/datasets/speleothem>
- Ortiz, J.E., Torres, T., Delgado, A., Julia, R., Lucini, M., Llamas, F.J., Reyes, E., Soler, V., Valle, M. 2004. The palaeoenvironmental and palaeohydrological evolution of Padul Peat Bog (Granada, Spain) over one million years, from elemental, isotopic and molecular organic geochemical proxies. *Organic Geochemistry* 35:1243-1260.
- Overpeck, J.T., Webb, T., and Prentice, I. C. (1985) Quantitative interpretation of fossil pollen spectra dissimilarity coefficients and the method of modern analogs. *Quaternary Research*. 23: 87–108. doi: 10.1016/0033-5894(85) 90074-2.
- Pappas JL, Stoermer EF. 1996. Quantitative method for determining a representative algal count. *Journal of Phycology* 32: 693-696.
- PNRH - Plano Nacional de Recursos Hídricos. 2006. Síntese Executiva. Ministério do Meio Ambiente, Secretaria de Recursos Hídricos. Brasília: MMA. 135p.
- Prado, M.C.R., Rodriguez, D.A. & Tomasella, J. 2017. Reposta hidrológica a cenários de mudanças globais na bacia do Rio Xingu. Disponível em: <http://www.iwra.org/congress/resource/PAP00-5773.pdf>
- R Core Team, 2015. R: A Language and Environment for Statistical Computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna. Available online at: <http://www.r-project.org/>
- Reimer, P. J., Bard, E., Bayliss, A., Beck, J. W., Blackwell, P. G., Bronk, Ramsey, C. 2013. IntCal13 and Marine13 Radiocarbon Age Calibration Curves 0–50,000 Years cal BP. *Radiocarbon* 55, 1869–1887. doi: 10.2458/azu_js_rc.55.16947
- Ribeiro, F.C.P., Senna, C.S.F. & Torgan, L.C. 2008. Diatomáceas em sedimentos superficiais na planície de Maré da Praia de Itupanema, Estado do Pará, Amazônia. *Rodriguésia* 59 (2): 309-324.
- Ribeiro, F.C.P, Senna, C.S.F & Torgan, L.C. 2010. The use of diatoms for palaeohydrological and paleoenvironmental reconstructions of Itupanema beach, Pará state, Amazon region, during the last millennium. *Revista brasileira de Paleontologia* 13 (1): 21-32.

- Round, F.E.; Crawford, R.M. & Mann, D.G. 1990. The Diatoms – biology and morphology of the genera. Cambridge: University Press. 747 p.
- Salgado-Labouriau, M.L. 2007. Critérios e técnicas para o Quaternário. São Paulo: Ed. Blücher, 387p.
- Sawakuchi, A.O., Hartmann, G.A., Sawakuchi, H.O., Pupim, F.N., Bertassoli, D.J., Parra, M., Antinao, J.L., Sousa, L.M., Pérez, M.H.S., Oliveira, P.E., Santos, R.A., Savian, J.F., Grohmann, C.H., Medeiros, V.B., McGlue, M.M., Bicudo, D.C. & Faustino, S.B. 2015. The Volta Grande do Xingu: reconstruction of past environments and forecasting of future scenarios of a unique Amazonian fluvial landscape. *Sci. Drill.*, 20: 21-32. doi:10.5194/sd-20-21-2015
- Sifeddine, A., Albuquerque, A.L.S., Ledru, M.P, Turcq, B., Knoppers, B., Martin, L., Mello, W.Z., Passenau, H., Dominguez, J.M.L., Cordeiro, R.C., Abrão, J.J., Bittencourt, A.C.S.P. 2003. A 21.000 cal years paleoclimatic record from Caçó Lake, northern Brazil: evidence from sedimentary and pollen analyses. *Paleogeography, Paleoclimatology, Paleoecology* 189: 25-34. doi: 10.1016/S0031-0182(02)00591-6
- Silva Dias, P.L., Turcq, B., Silva Dias, M.A.F., Braconnot, P., Jorgetti, T., 2009. Mid-Holocene climate of tropical South America: a model-data approach, in: past climate variability from the Last Glacial Maximum to the Holocene in South America and surrounding regions. In: Vimeux, F., Sylvestre, F., Khodri, M. (Eds.), *Past Climate Variability in South America and Surrounding Regions*. Springer-Verlag, pp. 259e281.
- Smol, J.P. & Stoermer, E.F. 2010. The diatoms: applications for the environmental and Earth Sciences. Cambridge University Press: New York.
- Smol, J.P. 2008. Pollution of lakes and rivers: a paleoenvironmental perspective. 2 ed. Arnold, London, pp. 280.
- Smol, J.P. 2002. Pollution of lakes and rivers. A paleolimnological perspective. Arnold, London, pp. 280.
- Stenger-Kovacs, C. Buczkó K., Hajnal E. & Padisák J. 2007. Epiphytic, littoral diatoms as bioindicators of shallow lake trophic status: Trophic Diatom Index for Lakes (TDIL) developed in Hungary. *Hydrobiologia* 589: 141–154.
- Tassinari, C.C.G., Macambira, M.J.B., 2004. A evolução tectônica do Cráton Amazônico. In: Mantesso-Neto, V., Bartorelli, A., Carneiro, C.D.R., Brito Neves, B.B. (Eds.), *Geologia do Continente Sul-Americano: Evolução da Obra de Fernando Flávio Marques de Almeida*, pp. 471–485.
- Taylor J.C., Harding W.R. & Archibald G.M. 2007. An illustrated guide to some common diatom species from South Africa. WRC report TT 282/07. 224 pp.

- Torres, I.C., Inglett, P.W., Brenner, M., Kenney, W.F., Reddy, R.K. 2012. Stable isotope (d13C and d15N) signatures of sediment organic matter in subtropical lakes of different trophic status. *Journal of Paleolimnology* 147: 693–706. doi: 10.1007/s10933-012-9593-6.
- Tremarin, P.I., Ludwig, T.A.V. & Torgan, L.C. 2012. Ultrastructure of *Aulacoseira brasiliensis* sp. nov. (Coscinodiscophyceae) and comparison with related species. *Fottea* 12: 171–188.
- Tremarin, P.I., Ludwig, T.A.V. & Torgan L.C. 2013b. Morphological variation and distribution of the freshwater diatom *Aulacoseira ambigua* (Grunow) Simonsen in Brazilian continental environments. *Iheringia, Série Botânica* 68(1): 139–157.
- Turcq, B., Cordeiro, R.C., Sifeddine, A., Simões Filho, F.F.L., Albuquerque, A.L.S., Abrão, J.J., 2002a. Carbon storage in Amazonia during the Last Glacial maximum: secondary data and uncertainties. *Chemosphere* 49, 821e835.
- Van Dam, H.; Mertens, A. & Sinkeldam, J. 1994. A coded checklist and ecological indicator values of freshwater diatoms from the Netherlands. *Netherlands Journal of Aquatic Ecology*, 28: 117-133.
- Vaz-Silva, W., Oliveira, R.M., Gonzaga, A.F.N., Pinto, K.C., Poli, F.C., Bilce, T.M., Penhacek, M., Wronski, L., Martins, J.X., Junqueira, T.G., Cesca, L.C.C., Guimarães, V.Y., Pinheiro, R.D. 2015. Contributions to the knowledge of amphibians and reptiles from Volta Grande do Xingu, northern Brazil. *Brazilian Journal of Biology*, 2015, 75, 3, S205-S218. doi: 10.1590/1519-6984.00814BM
- Vidotto, E., Pessenda, L.C., Ribeiro, A.S., Freitas, H.A., Bendassolli, J.A., 2007. Dinâmica do ecótono floresta-campo no sul do estado do Amazonas no Holoceno, através de estudos isotópicos e fitossociológicos. *Acta Amazônica* 37 (3), 385e400. doi: 10.1590/S0044-59672007000300010
- Wang, X., Edwards, R.L., Auler, A.S., Cheng, H., Kong, X., Wang, Y., Cruz, F.W., Dorales, J.A., Chiang, H.-W., 2017. Hydroclimate changes across the Amazon lowlands over the past 45,000 years. *Nature* 541, 204e207.
- Wetzel, C.E., Ector, L., Hoffmann, L. & Bicudo, D.C. 2010. Colonial planktonic *Eunotia* (Bacillariophyceae) from Brazilian Amazon: Taxonomy and biogeographical considerations on the *E. asterionelloides* species complex. *Nova Hedwigia* 91: 49–86.
- Wintle A.G. & Murray A.S. 2006. A review of quartz optically stimulated luminescence characteristics and their relevance in single-aliquot regeneration dating protocols. *Radiation Measurements*, 41(4): 369– 391. doi: 10.1016/j.radmeas.2005.11.001
- Wolin, J.A. & Stone, J.R., 2010. Diatoms as indicators of water-level change in freshwater lakes. In: Smol, J.P., Stoermer, E.F. (Eds.), *The Diatoms: Applications for the Environmental and Earth Sciences*. Cambridge University Press, Cambridge, pp. 174–185.

- Zacardi, D.M. & Ponte, S.C.S. 2016. Padrões de distribuição e ocorrência do Ictioplâncton no Médio Rio Xingu, Bacia Amazônica, Brasil. *Agronegócio e Meio ambiente*, 9:949-972. doi: 10.17765/2176-9168.2016v9n4p949-972
- Zalat, A.A. & Vildary, S.S. 2007. Environmental change in Northern Egyptian Delta lakes during the late Holocene, based on diatom analysis - *Journal of Paleolimnology* 37: 273–299.

CAPÍTULO 2

Holocene diatoms from a floodplain lake in Xingu River: new records for the Amazon and Brazil

Diatomáceas holocênicas de um lago de inundação no rio Xingu: novos registros para a Amazônia e Brasil

Samantha B. Faustino^{1,3}, Paulo E. de Oliveira² and Denise C. Bicudo¹

¹Instituto de Botânica, Núcleo de Pesquisa em Ecologia, Av. Miguel Estéfano 3687, 04301-902 São Paulo, SP, Brazil

²Instituto de Geociências – Universidade de São Paulo, Departamento de Geologia Sedimentar e Ambiental, Rua do Lago 562, 05508-080 São Paulo, SP, Brazil.

³Corresponding author: sbfaustino@gmail.com

Abstract: The present study documented the floristic survey and distribution of diatoms measured in a sediment core from of the Xingu River, Pará state, Brazil, and represents the past ~6,000 cal yr BP. Seventy-seven taxa, distributed among 27 genera, were recorded, among them five were new records for Brazil (*Caloneis katerii*, *Caloneis* cf. *wardii*, *Sellaphora emilia*, *S. renata* and *Gomphonema pseudosphaerophorum*) and 34 were new for the Brazilian Amazon. The three most represented genus, based on species number, was *Eunotia* Ehrenberg (13 species), *Gomphonema* Ehrenberg (9 species) and *Aulacoseira* Thwaites (8 species). *Aulacoseira* was the most prominent genus, with regards to distribution and abundance throughout the core, and there were three other species that displayed a remarkable distribution: *A. granutala*, *A. brasiliensis* and *A. ambigua* (distribution 89–100% and maximum abundance 14.2–82.3%). In addition, most species were rare, 58 species were present at less than 5% maximum abundance, and 20 were identified at less than 2% maximum abundance. In conclusion, the new records represent a 51% increase in the total number of records for the Brazilian Amazon, and indicates that this region has not only been poorly investigated but also suggests that the biodiversity assessment is underestimated. Furthermore, the new additions for Brazil were mostly found before ~600 cal. yr. BP. Finally, these findings highlight the utility of the paleolimnological approach as a tool for assessing biodiversity before human impacts began affecting the pristine conditions.

Keywords: biodiversity, diatom distribution, floristic survey, paleolimnology, pristine conditions

Resumo: O presente estudo documentou o levantamento florístico e a distribuição de diatomáceas medidas em um perfil sedimentar do rio Xingu, estado do Pará, Brasil, e representa os últimos 6.000 anos de idade. Setenta e sete táxons, distribuídos em 27 gêneros, foram registrados, dentre os quais cinco foram novos registros para o Brasil (*Caloneis katerii*, *Caloneis* cf. *wardii*, *Sellaphora emilia*, *S. renata* e *Gomphonema pseudosphaerophorum*) e 34 novos para a Amazônia brasileira. Os três gêneros mais representados, baseados no número de espécies, foram *Eunotia* Ehrenberg (13 espécies), *Gomphonema* Ehrenberg (9 espécies) e *Aulacoseira* Thwaites (8 espécies). *Aulacoseira* foi o gênero mais proeminente, com relação à distribuição e abundância em todo o perfil, e houve três outras espécies que apresentaram uma distribuição notável: *A. granutala*, *A. brasiliensis* e *A. ambigua* (distribuição 89-100% e abundância máxima 14.2 - 82,3%). Além disso, a maioria das espécies foram raras, 58 espécies estavam presentes com menos de 5% de abundância máxima e 20 foram identificadas com menos de 2% de abundância máxima. Em conclusão, os novos registros

representam um aumento de 51% no número total de registros para a Amazônia brasileira, e indicam que esta região não foi apenas mal investigada, mas também sugere que a avaliação da biodiversidade está subestimada. Além disso, as novas adições para o Brasil foram encontradas principalmente antes de ~ 600 cal. ano AP. Finalmente, esses resultados destacam a utilidade da abordagem paleolimnológica como uma ferramenta para avaliar a biodiversidade antes que os impactos humanos tenham começado a afetar as condições primitivas.

Palavras-chave: Biodiversidade, Distribuição de Diatomáceas, Levantamento Florístico, Paleolimnologia, Condições Primitivas

Introduction

Holocene is the name given to the most recent interval of Earth history, which encompasses the present day. Together with the Pleistocene series, it forms the Quaternary period, and is perhaps the most intensively studied interval of recent geological time (Suguio 1999). The stratigraphic records of the Holocene contain a wealth of information about diverse phenomena such as climate and geomorphological change, faunal migrations, human activity and evolution. Due to the relatively short geological period, the sedimentary evidences from the Holocene are sufficiently well preserved, which enable comparisons with data of the same nature in current processes (Walkers & Geissman 2009).

Paleolimnological studies have proved to be a valuable tool for developing environmental reconstructions of biodiversity and floristic changes (e.g. Smol 2008, Bennion & Simpson 2011, Davidson & Jeppesen 2013, Wengrat et al. 2018). Moreover, past environmental communities are very often the only available source of information when researching biodiversity prior to human impacts (Smol 2002, Le Treut et al. 2007).

Among the biological groups preserved in sediments, diatoms have been widely used because of their taxonomic distinction, abundance, preservation in sediments and rapid response to environmental changes (Reid 2005, Bennion & Simpson 2011). However, the use of diatoms as indicators of environmental changes requires high taxonomic precision (Birks 1994), since misidentifications can modify the interpretation in obtaining reliable data on modern diatom biodiversity (Buczko & Magyari 2007, Wetzel & Ector 2014).

In recent years, the number of studies on the Brazilian diatom flora has had a prominent increase (e.g., Souza & Senna 2009, Bertolli et al. 2010, Silva et al. 2010, Santos et al. 2011, Costa et al. 2017, Bartozek et al. 2018). However, in the Brazilian Amazon, the increased number of newly described species highlights the scant knowledge of diatoms for this region (Wetzel et al. 2010, 2012, Burlinga et al. 2013, Tremarin et al. 2014, Pereira et al. 2014, 2015, 2017, Almeida et al. 2017, Almeida et al. 2018). Furthermore, floristic and taxonomical studies of sedimentary diatoms over a long timescale in Brazil and tropical regions are still scarce. In fact, at the present time there are only two contributions to the subject, a floristic survey and the spatial-temporal distribution of diatoms from surface sediments and core samples (ca. 90 years) of an urban reservoir, located in the Metropolitan Region of São Paulo (Faustino et al. 2016), and a study on the water level variations based on the abundance and distribution of two diatoms in core samples (~830 years), in a marsh located on Mutum Island, in the Upper Parana River floodplain (Ruwer & Rodrigues 2018).

We presently documented the floristic survey and the distribution of diatoms over the past ~6,000 years from a sediment core of the Xingu River, Pará state, Brazil. The Amazon Basin represents about 40% of the national territory and contains more than 60% of the water available to the country (PNRH 2006). Occupying two-fifths of South America and 5% of the Earth's surface, it covers a total area of approximately 7 million km² and represents the largest drainage basin in the world, thus playing a vital role in maintaining biodiversity (Wetzel et al. 2011). Within this context, this study aimed to expand the knowledge of tropical diatom biodiversity before human impacts, and highlighted the biodiversity by providing new records for Brazil and the Brazilian Amazon.

Material and methods

The Xingu river basin, one of the main river systems in eastern Amazonian has an area of 531,250 km² and an average flow between 2,582 and 9,700 m³/s. The climate is tropical with average temperatures between 25°C and 27°C (Latrubesse et al. 2005, ISA 2010, ISA 2012). The downstream range of the Xingu River consists of a region known for its atypical river course and diversified morphology (Sawakuchi et al. 2015), also known as the Volta Grande do Xingu (Figure 1). The research site, Arapujá Island (3°12'51.24"S; 52°11'24.25"W), is located in the Volta Grande do Xingu, and is considered a biodiversity nursery and one of the last fragments of natural vegetation (Sawakuchi et al. 2015).

During the dry season of 2014, a core was retrieved by divers from a deep zone of a floodplain lake. The location was selected based on the water depth profile, coupled with riverbed sediment sampling. Divers collected a 122 cm core (XC1-02) using a PVC tube that was 6 m in length, sectioned at 2 cm intervals. In total, 122 subsamples (slices) were examined. Core chronology was determined by Optically Stimulated Luminescence (OSL) and ¹⁴C dating. Two samples for quartz OSL dating were collected and prepared in the Luminescence and Gamma Spectrometry Laboratory of the Institute of Geosciences at the University of São Paulo. Four samples were collected and prepared for ¹⁴C dating in Analytic Radiocarbon Dating in Miami and Radiocarbono Laboratory at the University Federal of Fluminense (LAC-UFF). For more details, see Sawakuchi et al. (2015). Based on the OSL and ¹⁴C dating, the base of the core corresponded to about 5,760 cal. yr BP (A.O. Sawakuchi, personal communication, unpublished data), which covers the end Mid-Holocene (~5,760-2,040 cal yr BP), early Late Holocene (2,040-625 cal yr BP) and Late Holocene (625 cal yr BP-present day).

For diatom analyses, organic matter was oxidatively removed, using hydrogen peroxide (H₂O₂ 35%) and hydrochloric acid (HCl 37%), according to standard procedures (Battarbee et al. 2001). Permanent slides were prepared using Naphrax® as the mounting medium. Optical observations, measurements and micrographs were taken at 1000× magnification, with a Zeiss Axioskop 2 plus microscope equipped with phase contrast and an Axiocam ERc5s high-resolution digital camera. Diatoms were quantified at 1,000× magnification, using a Zeiss Axioskop 2 microscope, and at least 400 valves were counted per slide (Battarbee et al. 2001). Species abundance was calculated, by dividing the individual species count by the total count, which is expressed as percentage, for each slide (subsample). Taxonomy and nomenclature followed specific publications (*e.g.*, Lange-Bertalot 1993, Metzeltin & Lange-Bertalot 1998, Lange-Bertalot et al. 2011, Costa et al. 2017) and the on-line catalog of valid names (site of California Academy of Sciences 2012). The classification systems followed Medlin & Kaczmarska (2004) for supra-ordinal taxa and Round et al. (1990) for subordinal taxa, with the only exceptions being genera published after this work. After consulting the published literature (books and articles), the new records for Brazil and Brazilian Amazon (Amazon, Amapá, Mato Grosso, western Maranhão, Pará, Rondônia, Roraima, Acre and Tocantins states) were indicated. Descriptions and relevant taxonomical comments are provided for taxa identified at the genus level and for poorly known species worldwide. Furthermore, morphometric information is provided for the new records for Brazil and Brazilian Amazon, as well as for genus level taxa (L: length; W: width; L/W: length/width ratio; S: striae; A: areolae; F: fibulae). Sediment samples were deposited at the “Herbário Científico do Estado Maria Eneyda P. Kauffmann Fidalgo” in São Paulo, Brazil (SP470331 to SP470392).

Results and discussion

The diatom flora of Xingu floodplain lake over the past ~6.000 cal yr BP comprises 77 taxa (73 species and varieties and four at the genus level), distributed in 27 genera. Taxa more commonly reported in Brazil and Brazilian Amazon literature are listed in Table 1, which includes the morphometric characteristics, respective figure(s), frequency,

maximum abundance, sample distribution and the herbarium access number. Taxa preceded by one asterisk represent new records for the Brazilian Amazon and taxa preceded by two asterisks represent new records for Brazil. Those taxa are presented below.

Aulacoseiraceae Crawford

Aulacoseira Thwaites

****Aulacoseira pusilla*** (Meister) Tuji & Houk, Bulletin of the National Science Museum, Series B (Botany), Tokyo, 30 (2), p. 38, 2004.

Fig. 15

M: 2.6 µm; D: 4.6 µm; inconspicuous striae.

In Brazil, this species was commonly confused with *A. alpigena* (Grunow) Krammer (e.g. Brassac et al. 1999, Ludwig et al. 2005), but differs by the number of striae and areolae in the mantle and by having one spine for every two costae. It differs from *A. distans* (Ehrenberg) Simonsen by presenting a much higher density of areolae rows in the mantle, delicate areolae on the valve face. Additionally, it differs from *A. subarctica* (Müller) Haw by having a lower mantle height/valve diameter ratio and shorter spines (Potapova 2010, Potapova & English 2010, Bicudo et al. 2016). *Aulacoseira pusilla* occurred in 60% of the core samples and reached a maximum abundance of 7.3%. This species was found from the end of the Mid-Holocene to ~6,000 cal. yr BP up to the core top. Although *A. pusilla* is widely distributed in Brazil (e.g. Silva et al. 2010, Nardelli et al. 2014, Bicudo et al. 2016, Faustino et al. 2016, Costa et al. 2017), this is the first report for the presence of this species in the Brazilian Amazon.

Examined material: BRASIL, PARÁ: Altamira, Rio Xingu, 2014, A.O. Sawakuchi et al., core (SP470331 to SP470343; SP470345; SP470346; SP470348 to SP470355; SP470357; SP470359 to SP470364; SP470368 to SP470370; SP470377; SP470389 to SP470392).

Orthoseiraceae Kützing

Orthoseira Thwaites

****Orthoseira roeseana*** (Rabenhorst) Pfitzer, Botanische Abhandlungen aus dem Gebiet der Morphologie und Physiologie. Herausg. von J. Hanstein, Bonn. 1(2): 189 pp.

Fig. 16

D: 16.0 µm; M: observed only in valve view; S: 19 in 10 µm; A: 18 in 10 µm.

Orthoseira roeseana differs from *O. johansenii* due to the small central area with 2-5 carinoportulae, radial striae and spaced marginal spines. The taxonomic and nomenclatural status of this genus is still not entirely clear, due to the high morphological variation within current taxa (Lowe et al. 2013, Edlund & Burge 2017). *Orthoseira roeseana* was present in 5% of the core samples and reached a relative abundance of 2.5%. This species first appeared at the end of the Mid-Holocene, or 4,057 cal. yr BP. In Brazil, this species has only been found in the states of São Paulo (Faustino et al. 2016), Paraná (Landucci & Ludwig 2005, Ferrari & Ludwig 2007) and Rio Grande do Sul (Silva et al. 2017). The present study presents the first report of this species being present in the Brazilian Amazon.

Examined material: BRASIL, PARÁ: Altamira, Rio Xingu, 2014, A.O. Sawakuchi et al., core (SP470371; SP470379; SP470380).

Fragilariaceae Greville

***Staurosira* Ehrenberg**

****Staurosira construens*** Ehrenberg, Abhandlungen der Königlich Akademie der Wissenschaften zu Berlin 1841: 291-466, pls 1-4.

Figs. 23-24

L: 12.0-16.0 μm ; W: 8.0-12.0 μm ; S: 16-17 in 10 μm .

Staurosira construens is similar a *S. incerta* Morales on the valve outline. However, *S. construens* presents shorter lineolae and apical pore fields located between the valve face and mantle. It differs from *Staurosirella leptostauron* (Ehrenberg) Williams & Round by having a narrower striae, wider costae than striae and open girdle bands (Morales 2010). *Staurosira construens* was identified in 82% of the core samples, and had a maximum abundance of 24%. This species was found in samples from the end of the Mid-Holocene, ~6,000 cal. yr BP, up to the core top. Previously, in Brazil, this species had only been recorded in the states of Rio Grande do Sul (Flôres et al. 1999), Paraná (e.g. Landucci & Ludwig 2005, Ferrari & Ludwig 2007, Bertolli et al. 2010) and Goiás (Souza & Oliveira 2007). The present study presents the first report of this species being present in the Brazilian Amazon.

Examined material: BRASIL, PARÁ: Altamira, Rio Xingu, 2014, A.O. Sawakuchi et al., core (SP470331 to SP470349; SP470351; SP470352; SP470354; SP470357; SP470358; SP470361 to SP470365; SP470368 to SP470375; SP470377 to SP470383; 470386 to SP470392).

***Staurosirella* Williams & Round**

****Staurosirella acidophila*** Almeida, Wetzel, Morales, Ector & Bicudo, Cryptogamie Algologie 36(3): 255-270. 2015

Figs. 25-26

L: 16.6-20.6 μm ; W: 4.0-5.5 μm ; S: 8-9 in 10 μm .

This species was proposed by Almeida et al. (2015) for Cachoeira da Graça Reservoir (São Paulo) and according to the authors, *S. acidophila* is similar to other species of *Staurosirella* such as *S. confusa* Morales; however, there are observable differences in the arrangement and density of the striae (11 in 10 μm). This species differs from *S. oldenburgiana* (Hustedt) Morales differs by the width of the valve center and the presence of a small areolae. The taxon was reported in 52% of the core samples, reached 4% maximum abundance. This species was found in samples corresponding to the end of the Mid-Holocene, from ~6,000 cal. yr BP up to the core top. In Brasil, this species has only been reported in the state of São Paulo (Almeida et al. 2015). The current study presents the first report of this species being identified in the Brazilian Amazon.

Examined material: BRASIL, PARÁ: Altamira, Rio Xingu, 2014, A.O. Sawakuchi et al., core (SP470335 to SP470342; SP470345 to SP470356; SP470358; SP470360 to SP470366; SP470377; SP470378; SP470379; SP470392).

****Staurosirella* cf. *acutirostrata*** (Metzeltin & Lange-Bertalot) Almeida & Wetzel, Cryptogamie Algologie 36(3): 255-270. 2015.

Figs. 27-28

L: 16.0-23.3 μm ; W: 5.3-6.0 μm ; S: 7-8 in 10 μm .

This species was identified as *S. cf. acutirostrata* because the specimens presented less tapered extremities and a shorter length than those described in Metzeltin & Lange-Bertalot (L: 22-36 μm , 1998, page 236, plate 1, Figures. 18-19). This species presents less apparent central inflation and has less radiate striae, which distinguishes it from *S. acidophila* (Almeida et al. 2015). This species has been mistakenly reported in Brazil as *Staurosira acutirostrata*

(Metzeltin & Lange-Bertalot) Metzeltin & Lange-Bertalot (Fontana & Bicudo 2009, Dunck et al. 2012); however, this species has several features that are distinguished from *Staurosira*, such as developed apical pore fields and lineolae (Almeida et al. 2015). The taxon was reported in 48% of the core samples and reached a 4.3% maximum abundance. The species was identified in samples from the end of the Mid-Holocene, from 5,760 cal. yr BP up the core top. In Brazil this taxon was reported only in the states of São Paulo (Fontana & Bicudo 2009, Almeida et al. 2015) and Goiás (Dunck et al. 2012). The current study presents the first report of this species being identified in the Brazilian Amazon.

Examined material: BRASIL, PARÁ: Altamira, Rio Xingu, 2014, A.O. Sawakuchi et al., core (SP470331, SP470332 to SP470337; SP470352 to SP470356; SP470359; SP470362; SP470364 to SP470367; SP470371; SP470372, SP470375 to SP470380; SP470382; SP470383; SP470387 to SP470391).

****Staurosirella leptostauron* var. *dubia*** (Grunow) Edlund, Journal of the Minnesota Academy of Sciences 59(1): 10-21. 1994.

Figs. 31-32

L: 14.0-16.0 µm; W: 5.0-6.0 µm; S: 7-8 in 10 µm.

Staurosirella leptostauron var. *dubia* has a similar valve outline to *Staurosira construens* var. *venter* (Ehrenberg) Hamilton; however, *S. leptostauron* has wider striae and the spines are reduced to solid prominences, with two on each costa, between the striae. (Morales 2010). The taxon was found in 56 % of the core samples and reached 6% maximum abundance. This taxon was present in samples from the end of the Mid-Holocene (~6,000 cal. yr BP) up to the core top. In Brazil, this taxon has been reported in the states of Rio Grande do Sul (Flôres et al. 1999, Hermany et al. 2013) and Paraná (Contin 1990, Ludwig & Valente-Moreira 1990). The current study presents the first report of this species being identified in the Brazilian Amazon.

Examined material: BRASIL, PARÁ: Altamira, Rio Xingu, 2014, A.O. Sawakuchi et al., core (SP470332 to SP470336; SP470338; SP470339; SP470344 to SP470353; SP470356; SP470357; SP470360 to SP470364; SP470377; SP470378; SP470380 to SP470385; SP470387; SP470388; SP470392).

****Staurosirella subcapitata*** (Frenguelli) Morales, Diatom Research 21(2): 343-364, 121 fig., 1 table. 2006.

Figs. 35-36

L: 22.0-28.0 µm; W: 4.0-4.6 µm; S: 9 in 10 µm.

Staurosirella subcapitata resembles *Staurosirella confusa* Morales; however, the second species presents numerous striae that are wider and refractive (11 in 10 µm). Moreover, smaller specimens resemble *Staurosirella dubia* (Grunow) Moraels & Manoylov; however, *S. subcapitata* differs by the lanceolate valve outline (Morales & Manoylov 2006). *S. subcapitata* was rare and occurred in only 3% of the core samples and reached a 1% maximum abundance. This species occurred at the end of the Mid-Holocene since 3,774 cal. yr BP. In Brazil, this species has only been reported in the state of São Paulo (Fontana & Bicudo 2009). The current study presents the first report of this species being identified in the Brazilian Amazon.

Examined material: BRASIL, PARÁ: Altamira, Rio Xingu, 2014, A.O. Sawakuchi et al, core (SP470343; SP470389).

Eunotiaceae Kützing

Eunotia Ehrenberg

Eunotia camelus Ehrenberg, Bericht über die zur Bekanntmachung geeigneten Verhandlungen der Königlich-Preussischen Akademie der Wissenschaften zu Berlin 1841: 139-144. 1843.

Fig. 39

L: 22.0 µm; W: 6.0 µm; S: 12 in 10 µm.

According to Costa et al. (2017), there is confusion regarding the classification of this taxon. The type material assessed and photographed by Reichardt (1995) presented a heterogeneous population composed of two different species. In fact, most of the populations that were identified as *E. camelus* were actually *E. longicamelus* Costa, Wetzel, Lange-Bertalot, Ector & Bicudo, which has been found in Southeastern Brazil. *E. camelus* was previously reported for the Brazilian Amazon by Souza-Mosimann et al. (1997) and Díaz-Castro et al. (2003) in the Negro River (North Brazil). However, the populations illustrated in these studies corresponded to *E. longicamelus*. The species was reported in 15% of the core samples and reached 3% maximum abundance. This species was found in samples from the early Late Holocene (1,514 cal. yr BP) up to the core top.

Examined material: BRASIL, PARÁ: Altamira, Rio Xingu, 2014, A.O. Sawakuchi et al., core (SP470348; SP470350 to SP470355; SP470357 to SP470360).

Eunotia longicamelus Costa, Wetzel, Lange-Bertalot, Ector & Bicudo, *Bibliotheca Diatomologica*. 64: 1-302, page(s): 32; Plate 73, figs 1-17; Plate 74, figs 108; Plate 75, figs 105; Plate 76, figs 1-4. 2017.

Fig. 42

L: 35.0-48.0 µm; W: 6.0-7.3 µm; S: 10-14 in 10 µm, A: 20-22 in 10 µm.

This species was proposed by Costa et al. (2017) from Ponte Nova Reservoir (Southeastern Brazil). As mentioned previously, *E. longicamelus* has been widely identified and cited as *E. camelus* Ehrenberg. However, *E. longicamelus* presents narrower valves, a dorsal margin with two or four major undulations and a less concave ventral margin (Costa et al. 2017). The species was reported in 11% of the core samples and reached 2.5% maximum abundance occurring since the end of the Mid-Holocene, from 5,192 cal. yr BP up to the core top. Previous taxonomic studies, in Brazil and in the Brazilian Amazon, mistakenly reported this species as *E. camelus* (e.g. Souza-Mosimann et al. 1997, Díaz-Castro et al. 2003, Silva et al. 2010, Oliveira et al. 2012, Souza et al. 2015, Faustino et al. 2016, Ruwer & Rodrigues 2018).

Examined material: BRASIL, PARÁ: Altamira, Rio Xingu, 2014, A.O. Sawakuchi et al., core (SP470352; SP470356; SP470357, SP470359; SP470384; SP470385; SP470388).

****Eunotia papilio*** (Ehrenberg) Grunow, Botanischer Theil. Erster Band. Sporenpflanzen. (Fenzl, E. et al. Eds), pp. 1-104. 1868.

Fig. 44

L: 20.0-30.0 µm; W: 10.6-11.0 µm; S: 10-11 in 10 µm.

This species has less pronounced undulations and cuneate apices, which distinguishes it from *E. pseudopapilio* Lange-Bertalot & Nörpel-Schempp (Costa et al. 2017). The species was reported in 16% of the core samples and reached 2% maximum abundance. This species was found from the end of the Mid-Holocene to the present day (4,907 cal. yr BP to the core top). In Brazil, it has been reported in the states of São Paulo (Bere 2010, Costa et al. 2017) and Goiás (Oliveira et al. 2012). The current study presents the first report of this species being identified in the Brazilian Amazon.

Examined material: BRASIL, PARÁ: Altamira, Rio Xingu, 2014, A.O. Sawakuchi et al., core (SP470342; SP470344, SP470352; SP470353; SP470355 to SP470357; SP470359; SP470384; SP470385).

****Eunotia pileus*** (Ehrenberg) Reichardt, Abhandlungen der Deutschen Akademie der Wissenschaften zu Berlin, Physik. Kl. 1841: 414, pl. II, fig. I.5. 1843.

Fig. 45

L: 25.0-33.0 µm; W: 11.0-12.0 µm; S: 12 in 10 µm.

Eunotia pileus differs from *E. didyma* var. *inflata* Hustedt by having less elongated apices and a larger width (6.0-7.0 µm) (Oliveira et al. 2012). This species was rare and occurred in 6% of the core samples and reached 1% maximum abundance. This species was found in samples from the early Late Holocene (973 cal. yr BP). In Brazil, this species has been recorded in the states of Rio Grande do Sul (Bicca & Torgan 2009, Bes et al. 2012) and Goiás (Oliveira et al. 2012). The current study presents the first report of this species being identified in the Brazilian Amazon.

Examined material: BRASIL, PARÁ: Altamira, Rio Xingu, 2014, A.O. Sawakuchi et al., core (SP470338; SP470350; SP470351; SP470355).

****Eunotia pseudosudetica*** Metzeltin, Lange-Bertalot & García-Rodríguez, Iconographia Diatomologica 15, p. 57, pl. 24, fig. 15-18, 2005.

Fig. 46

L: 26.0-43.3 µm; W: 6.0-6.6 µm; S: 10-14 in 10 µm.

Eunotia pseudosudetica is similar to *E. sudetica* O. Müller, but differs for its narrower valves (6.3-7.3 µm) than *E. sudetica* (7.0-9.0 µm, Alles et al. 1991). Additionally, *E. pseudosudetica* can be confused with *E. veneris* (Kützing) De Toni, which presents smaller striae density (9-14 in 10 µm) than *E. veneris* (13-17 in 10 µm) (Metzeltin et al. 2005, Lange-Bertalot et al. 2011). The species was reported in 58% of the core samples and reached 3% maximum abundance. It was found from the end of the Mid-Holocene (4,624 cal. yr BP to the present day). In Brazil, this species has been widely reported (e.g. Schneck et al. 2007, Bes et al. 2012, Bartozek et al. 2013, Cavalcante et al. 2014, Costa et al. 2017); however, this is the first report demonstrating the presence of this species in the Brazilian Amazon.

Examined material: BRASIL, PARÁ: Altamira, Rio Xingu, 2014, A.O. Sawakuchi et al., core (SP470331; SP470334 to SP470336; SP470338 to SP470345; SP470347 to SP470359; SP470362; SP470368 to SP470370; SP470375; SP470376; SP470378 to SP470382).

****Eunotia rabenhorstii* var. *monodon*** Cleve & Grunow, Synopsis des Diatomées de Belgique Atlas. pls XXXI-LXXVII: fig.12B. 1881.

Figs. 47-48

L: 18.0-22.0 µm; W: 5.3-6.0 µm; S: 15-16 in 10 µm.

This taxon is quite similar to *E. rabenhorstii* var. *triodon* Cleve & Grunow; however, the one undulation on the dorsal margin is unique to the *monodon* variety (Patrick & Reimer 1966, Costa et al. 2017). The taxon was rare and occurred in 2% of the core samples and reached 1% maximum abundance. This taxon was found in samples from the Late Holocene (408 cal. yr BP). It has been widely reported in Brazil (e.g. Fürstenberger & Valente-Moreira 2000, Bertolli et al. 2010, Oliveira et al. 2012, Faustino et al. 2016, Costa et al. 2017); however, this is the first report demonstrating the presence of this species in the Brazilian Amazon.

Examined material: BRASIL, PARÁ: Altamira, Rio Xingu, 2014, A.O. Sawakuchi et al., core (SP470334).

****Eunotia superbidens*** Lange-Bertalot, *Diatoms of Europe* 6, p. 229, pl. 81: figs. 1-10, pl. 82: figs. 1-6, 2011.

Fig. 50

L: 57.0 µm; W: 11.7 µm; S: 9 in 10 µm.

Eunotia superbidens is very similar to *E. praerupta* Ehrenberg, with regards to size, but differ by the presence of an undulation on the dorsal margin and higher striae density in *E. superbidens*. It differs from *E. bidens* Ehrenberg by having larger length and width (L: 43.0-90.0 µm, W: 11.7-19.0 µm) than *E. bidens* (L: 26.0-60.0 µm, W: 8.5-10.5 µm; Lange-Bertalot et al. 2011). The species was rare and distributed in 2% of the core samples and reached 1% maximum abundance. It was found in samples from the early Late Holocene (1,514 cal. yr BP). In Brazil, the species has only been reported in the state of São Paulo (Costa et al. 2017). The current study presents the first report of this species being identified in the Brazilian Amazon.

Examined material: BRASIL, PARÁ: Altamira, Rio Xingu, 2014, A.O. Sawakuchi et al., core (SP470360).

***Eunotia* sp.1**

Figs. 52-53

L: 119.0-137.0 µm; W: 12.0-13.0 µm; S: 8-11 in 10 µm.

Eunotia sp.1 resembles *E. myrmica* Lange-Bertalot, which presents narrower and cuneate apices, and smaller dimensions (L: 58.8-67 µm; Pavlov & Levkov 2013). The valves were somewhat curved. The dorsal margin has a slightly convex and the ventral margin slightly concave. Valve center with gibbous swellings. Apices apiculate. Valve length 118.0-137.0 µm, width 11.0-12.0 µm as measured from the middle, at the swelling of valve margins. Striae parallel, 9-10 in 10 µm at mid-valve, becoming slightly denser, 12-13 in 10 µm near the apices. Terminal nodules fairly large, slightly distant from valve apices.

The taxon was rare and occurred in 2 % of the core samples and reached 1% maximum abundance. This species was found in samples from the early Late Holocene (811 cal. yr BP).

Examined material: BRASIL, PARÁ: Altamira, Rio Xingu, 2014, A.O. Sawakuchi et al., core (SP470342).

Cymbellaceae Greville

***Cymboppleura* (Krammer) Krammer**

****Cymboppleura acuta*** (A. Schmidt) Krammer, *Diatoms of the European Inland waters and comparable habitats*. (Lange-Bertalot, H. Eds) Vol.4, pp. 1-529. 2003.

Fig. 54

L: 46.0-62.0 µm; W: 20.0-20.6 µm; S: 9-10 in 10 µm.

The species differs from *C. americana* (Schmidt) Krammer by having a more convex ventral margin, more prominent pointed apices, a symmetrical central area and slightly more radiate, sometimes curved, striae (Van de Vijver 2011). Additionally, the area and finer valve structure distinguish it from *C. acutiuscula* (Cleve) Krammer (Krammer 2003). The species was reported in 8% of the core samples and reached 3% maximum abundance. It was found in samples from the early Late Holocene (973 cal. yr BP). In Brazil, it has been reported in the states of Paraná (Contin 1990) and Goiás (Souza & Oliveira 2007). The current study presents the first report of this species being identified in the Brazilian Amazon.

Examined material: BRASIL, PARÁ: Altamira, Rio Xingu, 2014, A.O. Sawakuchi et al., core (SP470334; SP470341; SP470343 to SP470355).

***Placoneis* Mereschkovsky**

****Placoneis exigua*** (W. Gregory) Mereschkovsky, *Beihefte zum Botanischen Centralblatt* 15(1): 1-30, pl. 1. 1903.

Fig. 57

L: 33-34 μm ; W: 10.6-11.3 μm ; S: 11-13 in 10 μm .

According to Patrick & Reimer (1966, p.522), the confirmation of *P. exigua* cannot be elucidated, due to the absence of the type material. Compared to *P. constans* (Hustedt) Cox var. *symmetrica* (Hustedt) Kobayasi, *P. exigua* have a larger length and width (L: 19.3-25.6 μm , W: 8.1-9.3 μm) and central area with a longer striae surrounded by shorter striae (Bartozek et al. 2018). The species was reported in 6 % of the core samples and reached 1.5% maximum abundance. This species was found in samples from the end of the Mid-Holocene to the core top (5,479 cal. yr BP to the present day). In Brazil, it has been reported in the states of Paraná (Marquardt et al. 2010) and São Paulo (Bartozek et al. 2018). The current study presents the first report of this species being identified in the Brazilian Amazon.

Examined material: BRASIL, PARÁ: Altamira, Rio Xingu, 2014, A.O. Sawakuchi et al., core (SP470346; SP470352; SP470372; SP470388).

***Gomphonemataceae* Kützing**

****Gomphonema auritum*** Braun ex Kützing, *Species algarum*. pp. [i]-vi, [1]-922. Lipsiae [Leipzig]: F.A. Brockhaus. 1849.

Figs. 58-59

L: 18.0-22.0 μm ; W: 4.9-5.1 μm ; L/W: 3.6-4.3; S: 13-15 in 10 μm .

The acutely rounded ends of this species distinguish it from *G. parvulum* (Kützing) Kützing (Morales 2002). The species was found in 21% of the core samples and reached 2.5% maximum abundance. This species was found in samples from the end of the Mid-Holocene to the core top (5,479 cal. yr BP to the present day). In Brazil, it has only reported in the state of São Paulo (Marquardt & Bicudo 2014, Costa et al. 2017). The current study presents the first report of this species being identified in the Brazilian Amazon.

Examined material: BRASIL, PARÁ: Altamira, Rio Xingu, 2014, A.O. Sawakuchi et al., core (SP470351; SP470354 to SP470356; SP470365; SP470375; SP470377; SP470378, SP470382; SP470384 to SP470386; SP470390).

****Gomphonema acuminatum*** Ehrenberg, *Abhandlungen der Königl. Akademie Wissenschaften zu Berlin, Physikalische Klasse* 1831: 1-154, pls I-IV. 1832

Fig. 60

L: 44.0 μm ; W: 8.0 μm at the center; 12 μm at apices; L/W: 5.5; S: 11 in 10 μm .

Based on the valve outline, *Gomphonema acuminatum* is extremely similar to *G. brebissonii* Kützing and *G. coronatum* Ehrenberg. However, *G. brebissonii* has a greatly reduced apical inflation and *G. coronatum* has smaller inflations near the headpole (Kociolek, 2011). The occurrence of *G. acuminatum* was rare, since it was found in only 2% of the core samples and reached 1% maximum abundance. This species was identified in samples from the early Late Holocene to the core top (1,757 cal. yr BP to the present day). In Brazil, this species has been reported in the states of

Paraná (Moro & Fürstenberger 1993, Bertolli et al. 2010) and São Paulo (Fontana & Bicudo 2012). The current study presents the first report of this species being identified in the Brazilian Amazon.

Examined material: BRASIL, PARÁ: Altamira, Rio Xingu, 2014, A.O. Sawakuchi et al., core (SP470362).

****Gomphonema brasiliensoides*** Metzeltin, Lange-Bertalot & García-Rodríguez, *Iconographia Diatomologica* 15: 1-736. 2005

Figs. 61-62

L: 32.0-40.0 µm; W: 5.3-7.3 µm; L/W: 5.7-6.0; S: 11 in 10 µm.

The length and width of *G. brasiliensoides* are longer and wider than *G. brasiliense* Grunow (L: 24.0-60.0 µm, W: 6.6-9 µm and L: 22.0-44.0 µm, W: 5.5-6.7 µm; respectively, Metzeltin et al. 2005). It was found in 13% of the core samples and reached 2% maximum abundance. This species was present in samples from the end of the Mid-Holocene to the core top (3,774 cal. yr BP to the present day). In Brazil, it has only been reported in the state of Paraná (Bartozek et al. 2013). The current study presents the first report of this species being identified in the Brazilian Amazon.

Examined material: BRASIL, PARÁ: Altamira, Rio Xingu, 2014, A.O. Sawakuchi et al., core (SP470342; SP470349; SP470350; SP470352; SP470353; SP470359; SP470362; SP470377).

****Gomphonema curvipedatum*** Kobayasi ex Osada, *Atlas of Japanese diatoms based on electron microscopy* 1, p. 10, pl. 122, fig. 1-13. 2006.

Fig. 63

L: 34 µm; W: 6 µm; S: 14 in 10 µm.

This species is characterized by having curved subcapitate apices, which differ from the attenuated apices observed in *G. hawaiiense* Reichardt (Costa et al. 2017). *Gomphonema curvipedatum* was found in 5% of the core samples and reached 1% maximum abundance. This species was present in samples from the end of the Mid-Holocene (4,345 cal. yr BP). In Brazil, it has only been reported in the state of São Paulo (Faustino et al. 2016 and Costa et al. 2017). The current study presents the first report of this species being identified in the Brazilian Amazon.

Examined material: BRASIL, PARÁ: Altamira, Rio Xingu, 2014, A.O. Sawakuchi et al., core (SP470337; SP470355; SP470381).

*****Gomphonema pseudosphaerophorum*** Kobayasi, *Proceedings of the International Diatom Symposium* 9: 449-458. 1986.

Figs. 66-68

L: 50-62.6 µm; W: 8.6-9.3 µm; S: 10-12 in 10 µm.

Gomphonema pseudosphaerophorum presents slightly narrower valves than *G. sphaerophorum* Ehrenberg (W: 8.1-9.4 µm and W: 12.8-13.2 µm; respectively, Tyree & Vaccarino 2016). Additionally, *G. pseudosphaerophorum* presents indistinctly punctate striae and radiate throughout the valve, while the latter species presents striae nearly parallel at the mid-valve, becoming radiate at the apices. The occurrence of this taxon was rare and was only found in 2% of the core samples and reached 1% maximum abundance. It was found in samples corresponding to the Late Holocene (456 cal. yr BP). The current study presents the first citation of this species being identified in Brazil.

Examined material: BRASIL, PARÁ: Altamira, Rio Xingu, 2014, A.O. Sawakuchi et al., core (SP470342).

***Gomphonema* sp.1**

Figs. 70-71

L: 44.0-55.0 μm ; W: 7.3-9.0 μm ; L/W: 6.0-6.1 μm , S: 10-11 in 10 μm .

This taxon resembles *G. gracile* Ehrenberg; however, *Gomphonema* sp.1 presents linear-lanceolate to rhombic-lanceolate valves with attenuate-acuminate ends and a larger length/width ratio (6.8-7.0 μm ; Marquardt & Bicudo 2014). *Gomphonema* sp.1 also display narrow and linear axial area, slightly widened central area, slightly curved raphe, and striae that are parallel and slightly radiate towards the ends, with a single stigmoid positioned at the end of the longest central striae. The taxon was found in 8% of the core samples and reached 2.3% maximum abundance. This species was found to occur during the early Late Holocene, from 1,322 cal. yr BP.

Examined material: BRASIL, PARÁ: Altamira, Rio Xingu, 2014, A.O. Sawakuchi et al., core (SP470350; SP470352; SP470353; SP470355; SP470359).

Achnanthidiaceae D.G. Mann

***Achnanthidium* Kützinger**

****Achnanthidium exiguum*** (Grunow) Czarnecki, Memoirs of the California Academy of Sciences 17: 155-174. 1994.

Figs. 72-73

L: 14.0-15.0 μm ; W: 7.3-8.0 μm ; S: 22-23 in 10 μm .

Achnanthidium exiguum can be easily distinguished from other monoraphid diatoms by the valve shape and the presence of a fascia on the raphe valve (Potapova 2010). It also lacks the strongly constricted valve margins observed in *A. exiguum* var. *constrictum* (Grunow) Andresen, Stoermer and Kreis (Potapova 2010). *Achnanthidium exiguum* has been reported in ecological studies in the Colombian Amazon (Montoya-Moreno et al. 2013) and the Brazilian Amazon, Pará state (Ribeiro et al. 2008 and Sena et al. 2015). The species was found in 5% of the core samples and reached 1.5% maximum abundance. It occurred in the early Late Holocene (1,514 cal. yr BP). This species has been widely reported throughout Brazil (e.g. Salomoni & Torgan 2008, Bertolli et al. 2010, Fontana & Bicudo 2012, Guimarães & Garcia 2016, Bartozek et al. 2018). Although cited in ecological studies, this is the first published taxonomical register of this species for the Brazilian Amazon.

Examined material: BRASIL, PARÁ: Altamira, Rio Xingu, 2014, A.O. Sawakuchi, G.A. et al., core (SP470350; SP470351; SP470360).

****Achnanthidium minutissimum*** (Kützinger) Czarnecki, Memoirs of the California Academy of Sciences 17: 155-174. 1994.

Fig. 74

L: 14.0 μm ; W: 2.6 μm ; S: inconspicuous striae.

This species distinguished from other monoraphid diatoms mainly by the shape of the valve, small size and radiate striae. When compared to *Rossithidium pusillum* (Grunow) Round & Bukhtiyarova, the valves of *Achnanthidium minutissimum* are more linear or linear-elliptical in shape (Potapova 2009). Additionally, this taxon lacks a rhombic shaped valve, which is characteristic of *A. eutrophilum* (Lange-Bertalot) Lange-Bertalot (Potapova 2009). Diverse morphologies have been documented for *A. minutissimum*, making it one of the most difficult complexes of non-marine diatoms (Van de Vijver et al. 2011a). This species and species close to it have been the subject of numerous taxonomic and ecological studies, which have revised the type material, brought together a better definition and knowledge of the

morphology and distinctions of this species (*e.g.* Round & Bukhtyarova 1996, Potapova & Hamilton 2007, Hlúbíková et al. 2011, Wojtal et al. 2011, Novais et al. 2015, Marquardt et al. 2017).

This species was only found in 2 % of the core samples and reached 1.5% maximum abundance. It was in samples that corresponded to the end of the Mid-Holocene (~6,000 cal. yr BP). The current study presents the first report of this species being identified in the Brazilian Amazon.

Examined material: BRASIL, PARÁ: Altamira, Rio Xingu, 2014, A.O. Sawakuchi et al., core (SP470392).

Planothidium Round & Bukhtyarova

****Planothidium pulcherrimum*** (Hustedt) Coste, Essai de Biotypologie et application au diagnostic du bom état écologique, p. 9, fig.6. 2010.

Figs. 77-78

L: 23.3-30.0 µm; W: 10.0-14.0 µm; S: 9-10 in 10 µm.

This species was described by Hustedt (1952, p.392; fig. 99,100) as *Cocconeis pulcherrima* and transferred by Metzeltin & Lange-Bertalot (1998, p.18; pl. 69; figs. 9-14; pl.70; fig.1,4; p.366; pl.66; fig.1-9) to *Achnanthes pulcherrima*. However, this was considered invalid since the basionym was not mentioned (Coste et al. 2010). Due to the presence of a cavum (rimmed depression in the central area), which characterizes species in this genus, it was later transferred to the genus *Planothidium* by Coste (2010).

This taxon was found in only 2% of the core samples and reached 1% maximum abundance. It was found in samples that corresponded to the end of the Mid-Holocene (5,479 cal. yr BP). This species was mistakenly reported in Brazil as *Achnanthes pulcherrima* (*e.g.* Metzeltin & Lange-Bertalot 1998). Therefore, this is first record of this species in Brazil with the correct name, and the first citation for this species in the Brazilian Amazon.

Examined material: BRASIL, PARÁ: Altamira, Rio Xingu, 2014, A.O. Sawakuchi et al., core (SP470389).

Achnanthaceae Kützing

****Achnanthes inflata*** (Kützing) Grunow, Botanischer Theil. Erster Band. Sporenpflanzen. (Fenzl, E. et al. Eds), pp. 1-104. 1868.

Figs. 79-80

L: 54.0-57.0 µm; W: 13.0-14.0 µm; S: 12-13 in 10 µm; A: 10-13 in 10 µm

The species has wider ends than *A. inflata* var. *elata* (Leuduger-Fortmorel) Hustedt and from *A. coarctata* (Brébisson ex W. Smith) Grunow by the central inflation at the valve margin and not constricted as the latter. Besides, this species differs from all other in the genus by the more capitate and broadly rounded apices (Burge 2012).

The species was found in only 2% of the core samples and reached 1% maximum abundance. *Achnanthes inflata* was identified in samples corresponding to the Late Holocene (625 cal. yr BP). Despite this species has been widely reported in Brazil (*e.g.* Rodrigues & Filho 1990, Ferrari & Ludwig 2007, Bertolli et al. 2010, Silva et al. 2017), this is the first report for the Brazilian Amazon.

Examined material: BRASIL, PARÁ: Altamira, Rio Xingu, 2014, A.O. Sawakuchi et al., core (SP470348).

Diadesmidaceae D.G. Mann

Luticola D.G. Mann

****Luticola beyensii*** Van de Vijver, Ledeganck, & Lebouvier, Diatom Research 17(1): 235-241. 2002.

Figs. 81-82

L: 27.0-28.0 µm; W: 8.0 µm; S: 20-21 in 10 µm.

Smaller specimens of *Luticola beyensii* can be confused with *L. fuhrmannii* Metzeltin & Levkov, however *L. beyensii* has rhombic to rhombic-elliptic valves slightly tumid in mid-valve with a wider axial area and coarser striae. Distinguishes from *L. acidoclinata* Lange-Bertalot by having a central area slightly inflated from the stigma bearing (secondary) side (Straube et al. 2017). The distribution and identification of *L. beyensii* has been neglected because this species belongs to a group of small species that overlap with other rhombic-lanceolate species (Van de Vijver & Mataloni 2008, Levkov et al. 2013). The species was found in only 3% of the core samples and reached 1% maximum abundance. It was also found in samples corresponding to the early Late Holocene (689 cal. yr BP). In Brazil, this species has only been reported in the state of Paraná (Straube et al. 2017). The current study presents the first report of this species being identified in the Brazilian Amazon.

Examined material: BRASIL, PARÁ: Altamira, Rio Xingu, 2014, A.O. Sawakuchi et al., core (SP470340; SP470350).

Brachysiraceae D.G. Mann

***Brachysira* Kützing**

****Brachysira brebissonii*** Ross, Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom 66(3), p. 607, 1986. Fig. 83

L: 25 µm; W: 6 µm; S: 24 in 10 µm.

Based on valve shape, this species resembles *B. lehmanniae* Lange-Bertalot et Moser, however, *B. brebissonii* presents large areolae that extend along the axial area and weakly radiate striae. The lower striae density and less radiate striae near the central area distinguish it from the small forms of *B. hanna* (Reimer) Lange-Bertalot & Gerd Moser (Hamilton 2010). The species was found in 3% of the core samples and reached 1% maximum abundance. It was identified in samples from the end of the Mid-Holocene to the core top (5,192 cal. Yr. BP-present day). Despite this species being widely reported in Brazil (e.g. Souza & Oliveira 2007, Bes et al. 2012, Almeida & Bicudo 2014, Faustino et al. 2016, Costa et al. 2017), this is the first report for the Brazilian Amazon.

Examined material: BRASIL, PARÁ: Altamira, Rio Xingu, 2014, A.O. Sawakuchi et al., core (SP470381; SP470386).

Sellaphoraceae Mereschkowsky

***Sellaphora* Mereschkowsky**

*****Sellaphora emilia*** Metzeltin & Lange-Bertalot, Iconographia Diatomologica 18: 1-877, incl. 296 pl. 2007.

Figs. 84-85

L: 52.0-55.0 µm; W: 12.0-12.6 µm; S: 19-20 in 10 µm.

Sellaphora emilia belongs to the group *bacillum* (Mann et al. 2008). Its smaller dimensions distinguish it from *S. renata* Metzeltin & Lange-Bertalot (L: 45.0-124.0 µm, W: 12.0-14.0 µm and L: 45.0-140.0 µm, W: 15.0-21.0 µm; respectively, Metzeltin & Lange-Bertalot 2007). The species was found in only 2% of the core samples and reached 1% maximum abundance. It was also identified in samples corresponding to the early Late Holocene (1,757 cal. yr BP). The current study presents the first report of this species being identified in Brazil.

Examined material: BRASIL, PARÁ: Altamira, Rio Xingu, 2014, A.O. Sawakuchi et al., core (SP470363).

****Sellaphora rectangularis*** (Gregory) Lange-Bertalot & Metzeltin, *Iconographia Diatomologica* 2, p. 102, pl. 25, figs. 10-12, pl. 125, fig. 7, 1996.

Figs. 86-87

L: 29.0-36.0 μm ; W: 7.0-8.0 μm ; S: 23 in 10 μm .

This species belongs to the group “pupula”, and differs from *S. pupula* (Kützing) Mereschkovsky by having linear elliptical valves, with broadly rounded poles (Mann et al. 2008). It was found in 35% of the core samples and reached 6% maximum abundance. It was identified in samples corresponding to the end of the Mid-Holocene to the core top (~6,000 cal. yr BP to the present day). In Brazil, this species has been reported in the states of Goiás (Delgado & Souza 2007) and São Paulo (Faustino et al. 2016). The current study presents the first report of this species being identified in the Brazilian Amazon.

Examined material: BRASIL, PARÁ: Altamira, Rio Xingu, 2014, A.O. Sawakuchi et al., core (SP470332 to SP470340; SP470342 to SP470344; SP470348; SP470351; 470358; SP470371; SP470377; SP470382; SP470390; SP470392).

*****Sellaphora renata*** Metzeltin & Lange-Bertalot, *Iconographia Diatomologica* 18: 1-877, incl. 296 pl. 2007.

Figs. 88-89

L: 76.0-88.0 μm ; W: 10.0-14.0 μm ; S: 19-20 in 10 μm .

Based on the valve outline, *Sellaphora renata* is quite similar to *S. lambda* (Cleve) Metzeltin & Lange-Bertalot. However, *S. renata* lack of marginal spines present in *S. lambda* (Metzeltin & Lange-Bertalot 2007). The species was found in 5% of the core samples and reached 1.5% maximum abundance. It was identified in samples corresponding to the early Late Holocene (1,322 cal. yr BP). The current study presents the first citation of this species being identified in Brazil.

Examined material: BRASIL, PARÁ: Altamira, Rio Xingu, 2014, A.O. Sawakuchi et al., core (SP470342; SP4703587; SP470358).

Sellaphora sassiana (D. Metzeltin & H. Lange-Bertalot) C.E. Wetzel, *Fottea* 15(2): 203-234, 396 figs, 1 table. 2015.

Figs. 90-91

L: 14.0-15.0 μm ; W: 1.2-1.3 μm ; S: 30 in 10 μm .

According to Wetzel et al. (2015), *Naviculadicta sassiana* was originally described for the Amazonian region (Brasil, Tapajós River), and was then transferred to the genus *Sellaphora* based on LM illustrations presented in Metzeltin & Lange-Bertalot (1998). *Sellaphora sassiana* was found in 5% of the core samples and reached 9.6% maximum abundance. It was identified in samples corresponding to the Late Holocene (408 cal. yr BP). The species has been mistakenly reported in Brazil, in Tapajós River, as *Naviculadicta sassiana* (e.g. Metzeltin & Lange-Bertalot 1998), and this is the first report with the correct name.

Examined material: BRASIL, PARÁ: Altamira, Rio Xingu, 2014, A.O. Sawakuchi et al., core (SP470331 to SP470333).

****Sellaphora ventraloconfusa*** (Lange-Bertalot) Metzeltin & Lange-Bertalot, *Iconographia Diatomologica* 5, p. 212, 1998.

Fig. 92

L: 21.0 µm; W: 6.0 µm; S: inconspicuous striae.

In a review of several *Sellaphora*, Mann et al. (2004) mentioned that *S. ventraloconfusa* could be placed in the *S. seminulum* group, but the data available to date are still insufficient. This species was found in only 2% of the core samples and reached 1% maximum abundance. It was identified in samples corresponding to the Late Holocene (408 cal. yr BP). In Brazil, this species has been reported in the states of Paraná (Marra et al. 2016) and São Paulo (Faustino et al. 2016). The current study presents the first report of this species being identified in the Brazilian Amazon.

Examined material: BRASIL, PARÁ: Altamira, Rio Xingu, 2014, A.O. Sawakuchi et al., core (SP470341).

Pinnulariaceae D.G. Mann

Pinnularia C.G. Ehrenberg

Pinnularia* cf. *liyanlingae Metzeltin & Lange-Bertalot, Iconographia Diatomologica 18. p.207, pl. 238-239, fig. 1-4; 1-3. 2007.

Fig. 99

L: 86.0 µm; W: 22.0 µm; S: 9 in 10 µm.

In the present study, this taxon was identified as *P. cf. liyanlingae*, because the specimens presented smaller dimensions than those described by Metzeltin & Lange-Bertalot (2007, L: 94-200 µm, W: 24-32 µm). The taxon was found in 15% of the core samples and reached 1.5% maximum abundance. It was identified in samples corresponding the early Late Holocene to the core top (1,322 cal. yr BP to the present day). In Brazil, this species has only been reported in the state of Amazonas (Metzeltin & Lange-Bertalot 2007, Pereira et al. 2013, 2017).

Examined material: BRASIL, PARÁ: Altamira, Rio Xingu, 2014, A.O. Sawakuchi et al., core (SP470340 to SP470342; SP470344; SP470347; SP470356 to SP470359).

Caloneis P.T. Cleve

****Caloneis* cf. *bacillum*** (Grunow) Cleve, Le Diatomiste 2(18): 99-103, pl. 7. 1894.

Figs. 103-104

L: 26.0-35.0 µm; W: 7.4-7.8 µm; S: 25-27 in 10 µm.

In the present study, this taxon was identified as *C. cf. bacillum*, because the specimens presented valves that were longer and wider than those described by Cleve (1894, page.99-103, plate.7, L: 8-20 µm; W: 6.0-6.1 µm). The population examined can be distinguished from *C. hyalina* Hustedt by having smaller fascia. The taxon was found in 18% of the core samples and reached 2.5% maximum abundance. It was identified in samples corresponding to the end of the Mid-Holocene to the core top (4,057 cal. yr BP to present). Despite this species being widely reported in Brazil (e.g. Souza & Senna 2009, Tremarin et al. 2010, Silva et al. 2010, Silva et al. 2017), this is the first report for Brazilian Amazon.

Examined material: BRASIL, PARÁ: Altamira, Rio Xingu, 2014, A.O. Sawakuchi et al., core (SP470333; SP470335; SP470337 to SP470339; SP470356; SP470375 to SP470379).

*****Caloneis kateri*** Metzeltin, Lange-Bertalot & García-Rodríguez, Iconographia Diatomologica, 15 p.27, pl. 152, figs. 1-3, pl. 153, figs. 1-3. 2005.

Figs. 105-106

L: 82.0-84.0 µm; W: 20.0-21.0 µm; S: 10-11 in 10 µm.

The presence of capitate and subcapitate apices and a longer and wider valve distinguishes *Caloneis kateri* from *C. africana* (M.H. Giffen) Stidolph (L: 42.5-78.0, W: 16.0-21.0 μm , Metzeltin et al. 2005). This species was found in 5% of the core samples and reached 1% maximum abundance. It was identified in samples corresponding to the end of the Mid-Holocene (4,057 cal. yr BP). The current study presents the first citation of this species being identified in Brazil.

Examined material: BRASIL, PARÁ: Altamira, Rio Xingu, 2014, A.O. Sawakuchi et al., core (SP470335; SP470339; SP4703276).

*****Caloneis cf. wardii*** Cleve, Kongliga Svenska Vetenskapsakademiens Handlingar, series 4, 26(2): 1-194, 5 pl. 1894.

Figs. 107-108

L: 33.0-49.0 μm ; W: 8.0-9.0 μm ; S: 19-20 in 10 μm .

Valve linear with cuneate to rostrate apices, central area with narrow fascia, striae parallel, slightly radiate at the ends. In the present study, the examined population had a smaller width and more biundulate valves than those described and illustrated by Patrick & Reimer (1966: 15.0-15.1 μm). The taxon was found in 11% of the core samples and reached 2.5% maximum abundance. It was identified in samples corresponding to the end of the Mid-Holocene (5,192 cal. yr BP). The current study presents the first citation of this species being identified in Brazil.

Examined material: BRASIL, PARÁ: Altamira, Rio Xingu, 2014, A.O. Sawakuchi et al., core (SP470336; SP470350; SP470354; SP470357; SP470358; SP470380; SP470387).

Diploneidaceae D.G. Mann

Diploneis (Ehrenberg) Cleve

****Diploneis ovalis*** (Hilse) Cleve, Acta Societatis pro Fauna et Flora Fennica 8(2), p. 44, pl. 2, 1891.

Fig. 109

L: 21.0 μm ; W: 14.0 μm ; S: 12 in 10 μm .

Diploneis ovalis is distinguished from *D. krammeri* Lange-Bertalot. and E. Reichardt by having rhombic-elliptic valves and a larger central area. Additionally, this species differs from *D. elliptica* (Kützing) Cleve by having larger central area and higher striae density (12-14 μm and 9-10 in 10 μm , respectively) (Kamae 2015). The taxon was found in only 3% of the core samples and reached 1.7% maximum abundance. It was identified in samples corresponding to the end of the Mid-Holocene (4,057 cal. yr BP). Despite this species being widely reported in Brazil (e.g. Brassac & Ludwig 2005, Moutinho et al. 2007, Silva et al. 2010, Souza-Mosimann et al. 2011, Faustino et al. 2016), this is the first report for the Brazilian Amazon.

Examined material: BRASIL, PARÁ: Altamira, Rio Xingu, 2014, A.O. Sawakuchi et al., core (SP470343; SP470379).

Naviculaceae Kützing

Navicula Bory

****Navicula notha*** Wallace, Notulae Naturae Bacillarien order Diatomeen, p. 4, pl. 1, figs. 4A-D, 1960.

Fig. 110

L: 26.9 μm ; W: 5.0 μm ; S: 15 in 10 μm .

Based on valve shape, *Navicula notha* resembles *N. cryptocephala* Kützing, but differs by having smaller valves, with an inconspicuous central area in the smaller specimens, and rhombic shape in the larger specimens

(Potapova 2011, Dávila & Bicudo 2018). The species was found in only 3% of the core samples and reached with 1.3% maximum abundance. It was identified in samples corresponding to the end of the Mid-Holocene (2,909 cal. yr BP). Despite this species being widely reported in Brazil (e.g. Bes et al. 2012, Bertolli et al. 2010, Almeida & Bicudo 2014, Marra et al. 2016, Costa et al. 2017), this is the first report for the Brazilian Amazon.

Examined material: BRASIL, PARÁ: Altamira, Rio Xingu, 2014, A.O. Sawakuchi et al., core (SP470358; SP470371).

Stauroneidaceae D.G. Mann

Stauroneis C.G. Ehrenberg

****Stauroneis acidoclinata*** Lange-Bertalot & Werum, Iconographia Diatomologica 13, p. 173, pl. 42, figs. 1-12, 2004.

Fig. 111

L: 66.0 µm; W: 13.0 µm; S: 19 in 10 µm.

This species is distinguished from *S. intricans* Van de Vijver and Lange-Bertalot by the wider maximum size, slightly curved proximal raphe ends and smaller areolae density (Werum & Lange-Bertalot 2004). It was found in 50% of the core samples and reached 4.3% maximum abundance. It was found in samples corresponding to the end of the Mid-Holocene to the core top (5,760 cal. yr BP to present). In Brazil, this species has only been reported in the state of São Paulo (Faustino et al. 2016). The current study presents the first report of this species being identified in the Brazilian Amazon.

Examined material: BRASIL, PARÁ: Altamira, Rio Xingu, 2014, A.O. Sawakuchi et al., core (SP470331; SP470332; SP470334; SP470335; SP470337; SP470338; SP470341; SP470345 to SP470347; SP470349 to SP470352; SP470354 to SP470361; SP470363; SP470365 to SP470367; SP470378; SP470380; SP470383; SP470388; SP470390).

****Stauroneis cf. anceps*** Ehrenberg, Abhandlungen der Königlich Akademie der Wissenschaften zu Berlin 1841: 291-466, pls 1-4. 1843.

Figs. 112-113

L: 84.0-88.0 µm; W: 17.0-18.0 µm; S: 19-20 in 10 µm; A: 21-22 in 10 µm.

In the current study, this taxon was identified as *S. cf. anceps*, because the specimens presented longer and wider valves than those described by Ehrenberg (1843, L: 40-70 µm, W: 10-13 µm, page 422, plate. 2, fig. 18, 1843). The examined population is distinguished from *S. amphicephala* Kützing by having narrow and rostrate apices and not protracted and subcapitate apices (Bahls 2011). The taxon was found in 5% of the core samples and reached 2% maximum abundance. It was identified in samples corresponding to the end of the Mid-Holocene (2,909 cal. yr BP). In Brazil, this taxon has only been reported in the states of Paraná (Ludwig et al. 2005, Marra et al. 2016) and Goiás (Souza & Oliveira 2007). The current study presents the first report of this species being identified in the Brazilian Amazon.

Examined material: BRASIL, PARÁ: Altamira, Rio Xingu, 2014, A.O. Sawakuchi et al., core (SP470378; SP470380; SP470388).

***Stauroneis* sp.1**

Figs. 114-116

L: 108.0-124.0 µm; W: 14.0-15.0 µm; S: 18-19 in 10 µm.

This taxon resembles *S. schinzii* (Brun) Cleve; however, *S. schinzii* (Brun) Cleve presents very broadly rounded apices and larger dimensions (L: 130-221 µm; W: 17-19 µm, S: 15-18 in 10 µm; Patrick & Reimer 1966) than *Stauroneis* sp.1. This taxon is further characterized by linear valves, obtusely rounded subrostrate apices, broad axial area that is linear, slightly irregular, becoming suddenly ovoid at the terminal ends, relatively small fascia, that expands slightly toward the margins, broad raphe that narrows somewhat toward the proximal and the distal ends, branched distal raphe ends that form semicircular hooks and curve in the same direction, and radiate striae at the center that become parallel toward the ends. It was found in 35% of the core samples and reached 2.6% maximum abundance. It was identified in samples corresponding to the end of the Mid-Holocene to the core top (5,760 cal. yr BP to present).

Examined material: BRASIL, PARÁ: Altamira, Rio Xingu, 2014, A.O. Sawakuchi et al., core (SP470331; SP470332; SP470336; SP470339; SP470342; SP470345; SP470349; SP470350; SP470352 to SP470357; SP470359; SP470362; SP470364; SP470375; SP470376; SP470382; SP470388; SP470390).

Craticula Grunow

****Craticula ambigua*** (Ehrenberg) D.G. Mann, The diatoms Biology and morphology of the genera. pp. [i-ix], 1-747. 1990.

Fig. 117

L: 74.0 µm; W: 18.0 µm; S: 17 in 10 µm.

This species differs from *C. cuspidata* (Kützing) D.G. Mann by having valves abruptly narrowed at the apices, rostrate or subcapitate ends, a smaller size range and higher striae density (15-17 and 12-14 striae in 10 µm, respectively) (LaLiberte et al. 2015). The species was found in 18% of the core samples and reached 3% maximum abundance. It was identified in samples corresponding from the end of the Mid-Holocene to the core top (5,760 cal. yr BP-present day). In Brazil, has been reported in the states of Mato Grosso do Sul (Santos et al. 2012) and Paraná (Bartozek et al. 2013). The current study presents the first report of this species being identified in the Brazilian Amazon.

Examined material: BRASIL, PARÁ: Altamira, Rio Xingu, 2014, A.O. Sawakuchi et al., core (SP470334; SP470339; SP470342; SP470353; SP470368 to SP470370; SP470381; SP470382; SP470384; SP470385).

Catenulaceae Mereschkowsky

Amphora Ehrenberg

****Amphora copulata*** (Kützing) Schoeman & R.E.M. Archibald, V. Some species from the subgenus *Amphora*. S. Afr. J. Bot. 52: 425-437. 1986.

Fig. 118

L: 40.0 µm; W: 9.0 µm; S: 14 in 10 µm.

Based on the outline of the valve, *Amphora copulata* is very similar to *A. ovalis* (Kützing) Kützing, but differs by the presence of a clear dorsal fascia (Stepanek & Kociolek 2011). The species was found in only 2% of the core samples and reached 1% maximum abundance. It was identified in samples corresponding to the Late Holocene (456 cal. yr BP). It has been widely reported in Brazil (e.g. Bertolli et al. 2010, Moresco et al. 2011, Fontana & Bicudo 2012, Faustino et al. 2016, Guimarães & Garcia 2016; however, this is the first report for the Brazilian Amazon.

Examined material: BRASIL, PARÁ: Altamira, Rio Xingu, 2014, A.O. Sawakuchi et al., core (SP470343).

Bacillariaceae Ehrenberg

Nitzschia Hassall

**Nitzschia palea* (Kützing) W. Smith, Synopsis British Diatomaceae, vol.2, p.89.1856

Fig. 119

L: 40.0 µm; W: 2.6 µm; S: 19 in 10 µm; F: 11 in 10 µm.

Nitzschia palea differs from *Nitzschia palea* var. *debilis* (Kützing) Gunow by having wider and more distinct subcapitate apices (Kociolek 2011). The species was found in only 2% of the core samples and reached 1% maximum abundance. It was identified in samples corresponding to the early Late Holocene (1,514 cal. yr BP). This species has been widely reported in Brazil (e.g. Bertolli et al. 2010, Fontana & Bicudo 2012, Heinrich et al. 2014, Marra et al. 2016, Costa et al. 2017); however, this is the first report for the Brazilian Amazon.

Examined material: BRASIL, PARÁ: Altamira, Rio Xingu, 2014, A.O. Sawakuchi et al., core (SP470360).

Surirellaceae F.T. Kützing

Surirella P.J.F. Turpin

Surirella sp.1

Figs. 121-122

L: 40.0-45.0 µm; W: 10.0-10.6 µm; S: 25-27 in 10 µm; AC: 3-4 in 27 in 10 µm.

Surirella sp.1 resembles *S. terryi* D.B. Ward ex W.A. Terry by the heteropolar valves and cuneate apices; however, the latter species has a more pronounced central area along the apical axis and larger dimensions (L:67-176 µm, W: 23-35 µm, Ferreira & Bicudo 2017). This species is further characterized by asymmetric, linear valves with a rounded headpole and cuneate footpole, narrow axial area, hyaline, lack costae, nonvisible fibulae, low keel and alar canals parallel to each other. The taxon was found in 5% of the core samples and reached a 1% maximum abundance. It was identified in samples corresponding to the early Late Holocene (973 cal. yr BP).

Examined material: BRASIL, PARÁ: Altamira, Rio Xingu, 2014, A.O. Sawakuchi et al., core (SP470331; SP470332; SP470343).

Final considerations

In total, 77 taxa from 27 genera of diatoms were recorded in the floodplain connected to the Xingu River. The present study added five new records of diatom species for Brazil, as well as an additional thirty-four other new records for the Brazilian Amazon.

Regarding the five new records for Brazil, two species (*Caloneis katerii* and *Caloneis* cf. *wardii*) were exclusively found at the end of the Mid-Holocene (6,000-2,040 cal. yr. BP); two species (*Sellaphora emilia* and *S. renata*) were exclusively found during the early Late Holocene (2,040-625 cal. yr. BP) and one species (*Gomphonema pseudosphaerophorum*) were exclusively found during the Late Holocene (625 cal. yr. BP to the present day).

Considering these periods, 12 species exclusively occurred during the end of the Mid-Holocene (~6,000-2,040 cal. yr BP), 18 in the early Late Holocene (2,040-625 cal. yr. BP), 10 in the Late Holocene (625 cal. yr BP) and an additional 37 species were distributed throughout the core.

The most represented genus in species number was *Eunotia* Ehrenberg (13 species), followed by *Gomphonema* Ehrenberg (9 species), *Aulacoseira* Thwaites (8 species), *Pinnularia* Ehrenberg (7 species), *Staurosirella* Williams and Round (6 species) and *Sellaphora* Mereschkowsky (5 species). It should be noted, that *Aulacoseira* was the most

prominent genus in both distribution and abundance throughout the core. Furthermore, three species had a remarkable distribution and abundance: *A. granutala* (100% distribution; 82.3% maximum abundance), *A. brasiliensis* (98% distribution; 29.0% maximum abundance) and *A. ambigua* (89% distribution; 14.2% maximum abundance). *Staurosira construens* was also well represented reaching 82% distribution and 24% maximum abundance. In contrast, a majority of the identified species were considered rare. For example, 58 species were present at less than 5% maximum abundance, and 20 species were present at less than 2% maximum abundance.

In conclusion, the new records for the Brazilian Amazon represent a 51% increase in the total number of records, and highlights the fact that this region remains poorly investigated and the biodiversity assessment is considerably underestimated. Furthermore, most of the new additions for Brazil were found before ~600 cal. yr. BP. These findings reinforce the use of the paleolimnological approach, which in many cases is the only tool available for assessing biodiversity of pristine conditions prior to human impacts (Bennion & Simpson 2011, Gregory-Eaves & Beisner 2011).

Acknowledgements

This study was carried out within the framework of the project supported by funds from FAPESP (Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo, Project nº 16/02656-9), and was undertaken as part of SBF's Ph.D. thesis (CAPES fellowship) at the Institute of Botany (São Paulo, Brazil). Funding was also provided by CNPq, Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (Grant 310404/2016-9 to DCB). We are grateful to Prof. Dr. André Oliveira Sawakuchi (Universidade de São Paulo, Instituto de Geociências) for the project coordination and continuous support, and for providing the OSL and ¹⁴C data. We are also grateful to Rudney de Almeida Santos, Ph.D. (Universidade de São Paulo, Instituto de Geociências), for the study area illustration and for providing the calibrated age data. We appreciate the outstanding support of the divers, boat pilots and all the people involved in the field work. We also gratefully acknowledge Livia F. da Costa, Angela Maria S. Lehmkuhl and Gisele C. Marquardt for the valuable and constructive comments on the manuscript.

Author Contributions

Data analysis: SBF; Manuscript preparation: SBF, DCB.; Critical revision, adding intellectual content: PEO.

Conflicts of interest

The authors declare that they have no conflict of interest related to the publication of this manuscript.

References

- ALLES, E., NÖRPEL-SCHEMPP, M. & LANGE-BERTALOT, H. 1991. Zur Systematik und Ökologie charakteristischer Eunotia-Arten (Bacillariophyceae) in elektrolytarmen Bachoberläufen. *Nova Hedwigia* 53 (1-2): 171-213.
- ALMEIDA, P.D. & BICUDO, D.C. 2014. Diatomáceas planctônicas e de sedimento superficial em represas de abastecimento da Região Metropolitana de São Paulo, SP, Sudeste do Brasil. *Hoehnea* 41(2): 187-207, 2 tab., 61 fig.

- ALMEIDA, P.D., WETZEL, C.E., MORALES, E.A., ECTOR, L. & BICUDO D.C. 2015. *Staurosirella acidophila* sp. nov., a new araphid diatom (Bacillariophyta) from southeastern Brazil: ultrastructure, distribution and autecology. *Cryptogamie, Algologie* 36(3): 255-270.
- ALMEIDA, P.D., WETZEL, C.E., MORALES, E.A., ECTOR, L., BICUDO, D.C. 2017. New species and combinations on *Fragilariforma* (Bacillariophyta) from tropical freshwater environments. *Fottea, Olomouc*, 17(2): 277-292.
- ALMEIDA, F.F., SANTOS-SILVA, E.N., ECTOR, L., WETZEL, C.E. 2018. *Eunotia amazonica* sp. nov. (Bacillariophyta), a common stalk-forming species from the Rio Negro basin (Brazilian Amazon), *European Journal of Phycology*.
- BAHLS, L. 2011. *Stauroneis anceps*. In *Diatoms of North America*. https://www.diatoms.org/species/stauroneis_anceps (last access in 28/03/2018).
- BARTOZEK E.C.R., ZORZAL-ALMEIDA S. & BICUDO D.C. 2018. Surface sediment and phytoplankton diatoms along a trophic gradient in tropical reservoirs: new records for Brazil and São Paulo State. *Hoehnea* 45(1): 69-92.
- BARTOZEK, E.C.R., BUENO, N.C., LUDWIG, T.A.V., TREMARIN, P.I., NARDELLI, M.S. & ROCHA, A.C.R. 2013. Diatoms (Bacillariophyceae) of Iguaçu National Park, Foz do Iguaçu, Brazil. *Acta Botanica Brasilica*. 27(1):108–123.
- BATTARBEE, R.W., JONES, V.J., FLOWER, R.J., CAMERON, N.G., BENNION, H., CARVALHO, L. & JUGGINS, S. 2001. Diatoms. In *Tracking environmental change using lake sediments: terrestrial, algal, and siliceous indicators* (J.P. Smol, H.J.B. Birks & W.M. Last, eds.). Kluwer, Dordrecht, v.3, p.155-202.
- BENNION, H. & SIMPSON, G.L. 2011. The use of diatom records to establish reference conditions for UK lakes subject to eutrophication. *Journal of Paleolimnology*. 45(4):469–488.
- BERE, T. 2010. Benthic diatom community structure and habitat preferences along an urban pollution gradient in the Monjolinho River, São Carlos, SP, Brazil. *Acta Limnologica Brasiliensia*. v.22, n:1, p. 80-92.
- BERTOLLI, L.M., TREMARIN, P.I. & LUDWIG, T.A.V. 2010. Diatomáceas perifíticas em Polygonum hydropiperoides Michaux, reservatório do Passaúna, Região Metropolitana de Curitiba, Paraná, Brasil. *Acta Botanica Brasilica* 24(4): 1065-1081.
- BES, D., ECTOR, L., TORGAN, L.C. & LOBO, E.A. 2012. Composition of the epilithic diatom flora from a subtropical river, Southern Brazil. *Iheringia, Sérir Botânica*, Porto Alegre, v. 67, n. 1, p. 93-125
- BICCA, A.B & TORGAN, L.C. 2009. Novos registros de *Eunotia Ehrenberg* (Eunotiaceae-Bacillariophyta) para o Estado do Rio Grande do Sul e Brasil. *Acta Botânica Brasília*, 23(2): 427-435
- BICUDO, D.C.; TREMARIN, P.I.; ALMEIDA, P.D.; ALMEIDA-ZORZAL, S.; WENGRAT, S.; FAUSTINO, S.B.; COSTA, L.F.; BARTOZEK, E.C.R.; ROCHA, A.C.R.; BICUDO, C.E.M. & MORALES, E.A. 2016. Taxonomy and ecology of *Aulacoseira* species (Bacillariophyta) from tropical reservoirs in Brazil. *Diatom Research* 31(2): 199-215.
- BIRKS, H.J.B. 1994. The importance of pollen and diatom taxonomic precision in quantitative paleoenvironmental reconstructions. *Palaeobotany Palynology*. 83:107–117.
- BRASSAC, N.M., ATAB, D.R., LANDUCCI, M., VISINONI, N.D. & LUDWIG, T.V. 1999. Diatomáceas cêntricas de rios da região de abrangência da usina hidrelétrica de Salto Caxias, PR (Bacia do rio Iguaçu). *Acta Botânica Brasília*. 13(3):277–289.
- BRASSAC, N.M. & LUDWIG, T.A.V. 2005. Amphipleuraceae e Diploneidaceae (Bacillariophyceae) da bacia do rio Iguaçu, PR, Brasil. *Acta Botânica Brasilica* 19(2): 359-368.

- BUCZKO, K. & MAGYARI, E. 2007. The Holocene diatom flora of Lake Saint Anna (Eastern Carpathians, Europe). *Algological Study*. 124:1–28.
- BURGE, D. 2012. *Achnanthes inflata*. In *Diatoms of North America*. https://diatoms.org/species/achnanthes_inflata (last access in 28/03/2018).
- BURLINGA, A.L., KOCIOLEK, J.P., SALOMONI, S.E. & FIGUEIREDO, D. 2013. A new genus and species in the diatom Family *Eunotiaceae* Kützinger (Bacillariophyceae) from the Amazonian hydrographic region, Brazil - *Phytotaxa* 79 (2): 47-57
- CALIFORNIA ACADEMY OF SCIENCES. 2012. Diatom Collection. California. <http://research.calacademy.org/izg/research/diatom> (last access in 28/03/2018).
- CAVALCANTE, K.P., TREMARIN, P.I., CASTRO, E.C., TIBIRIÇÁ, C.E.J.A., WOJCIECHOWSKI, J. & LUDWIG, T.A.V. 2014. Epiphytic *Eunotia* (Bacillariophyceae) on *Podostemum* from Santa Catarina, southern Brazil, including new observations on morphology and taxonomy of some rare recorded species. *Biota Neotropica*. 14(3): e20140034 <http://dx.doi.org/10.1590/1676-06032014003414> (last access in 08/08/2018)
- CLEVE, P.T. 1894b. Synopsis of the Naviculoid Diatoms, Part I. *Kongliga Svenska-Vetenskaps Akademiens Handlingar* 26(2): 1-194, 5 pls.
- CONTIN, L.F. 1990. Contribuição ao estudo das diatomáceas (Chrysophyta, Bacillariophyceae) na região da barragem de captação d'água do rio Iguaçu (SANEPAR), em Curitiba, Estado do Paraná, Brasil. *Estudos de Biologia*, n.24, p. 5-95.
- COSTA, L.F., SIMONE WENGRAT S. & BICUDO D.C. 2017. Diatoms from distinct habitats of a highly heterogeneous reservoir, Billings Complex, southeastern Brazil. *Hoehnea* 44(4): 559-579
- COSTA, L.F., WETZEL, C.E., LANGE-BERTALOT, H., ECTOR, L., BICUDO, D.C. 2017. Taxonomy and ecology of *Eunotia* species (Bacillariophyta) in southeastern Brazilian reservoirs. In *Bibliotheca Diatomologica* (Lange-Bertalot & J. P. Kociolek, eds). vol. 64. h. 302 pp. ISBN 978-3-443-57055-2.
- COSTE, M., BOUTRY, S., DELMAS, F., MERONA, B. & CERDAN, P. 2010. Diatomées des eaux courantes de Guyane. Essai de Biotypologie et application au diagnostic du bon état écologique. Cemagref U.R. 41p.
- DAVIDSON, T.A., & JEPPESEN, R. 2013. The role of palaeolimnology in assessing eutrophication and its impact on lakes. *Journal of Paleolimnology* 49: 391–410.
- DÁVILA, J.P.M & BICUDO, C.E.M. 2018. Taxonomia e distribuição do gênero *Navicula* "sensu stricto" (Bacillariophyceae) em reservatórios de São Paulo, Brasil. *Novas Edições Acadêmicas*.
- DELGADO, S.M. & SOUZA, M.G.M. 2007. Diatomoflórula Perifítica do rio Descoberto – DF e GO, Brasil, Naviculales (Bacillariophyceae): Diploneidinae e Sellaphorineae. *Acta Botânica Brasilica*. 21(4): 767-776.
- DÍAZ-CASTRO, J.G., SOUZA-MOSIMANN, R.M., LAUDARES-SILVA, R., FORSBERG, B.R. 2003. Composição da comunidade de diatomáceas perifíticas do Rio Jaú, Amazonas, Brasil. *Acta Amazonica* 33(4): 583-606.
- DUNCK, B., NOGUEIRA, I.S. & MACHADO, G. 2012. Planktonic diatoms in lotic and lentic environments in the Lago dos Tigres hydrologic system (Britânia, Goiás, Brazil): Coscinodiscophyceae and Fragilariophyceae. *Brazilian Journal of Botany*. 35(2): 181-193
- EDLUND, M. & BURGE, D. 2017. *Orthoseira roeseana*. In *Diatoms of North America*. https://diatoms.org/species/orthoseira_roeseana (last access in 08/08/2018).
- EHRENBERG, C.G. 1843. Verbreitung und Einfluss des mikroskopischen Lebens in Süd-und Nord-Amerika. *Abhandlungen der Königlich Akademie der Wissenschaften zu Berlin* 1841: 291-466, pls 1-4

- FAUSTINO, S.B., FONTANA, L., BARTOZEK, E.C.R., BICUDO, C.E.M. & BICUDO, D.C. 2016. Composition and distribution of diatom assemblages from core and surface sediments of water supply reservoir in Southeastern Brazil. *Biota Neotropica* 16(2) e20150129. <http://dx.doi.org/10.1590/1676-0611-BN-2015-0129>. (last access in 08/08/2018).
- FONTANA, L. & BICUDO, D.C. 2009. Diatomáceas (Bacillariophyceae) de sedimentos superficiais dos reservatórios em cascata do Rio Paranapanema (SP/PR, Brasil): Coscinodiscophyceae e Fragilariophyceae. *Hoehnea* 36(3): 375-386
- FONTANA, L. & BICUDO, D.C. 2012. Biodiversidade e distribuição das diatomáceas (Bacillariophyceae) de sedimentos superficiais nos reservatórios em cascata do Rio Paranapanema (SP/PR, Brasil). *Hoehnea* 39(4):587–612.
- FERRARI, F. & LUDWIG, T.A.V. 2007. Coscinodiscophyceae, Fragilariophyceae e Bacillariophyceae (Achnanthales) dos rios Ivaí, São João e dos Patos, bacia hidrográfica do rio Ivaí, município de Prudentópolis, PR, Brasil. *Acta Botânica Brasílica*. 21(2):421-441.
- FERREIRA, K.S.M. & BICUDO, C.E.M. 2017. Criptógamos do Parque Estadual das Fontes do Ipiranga, São Paulo, SP. *Algae*, 42: Bacillariophyceae (Surirellales). *Hoehnea* 44(1): 10-28.
- FLÔRES, T.L., MOREIRA-FILHO, H. & LUDWIG, T.A.V. 1999. Contribution to a floristic survey of the diatoms (Bacillariophyta) from “Banhado” Taim, Rio Grande do Sul, State Brazil: II. Fragilariaceae. *Insula*. Florianópolis, 28. 167-187.
- FÜRSTENBERGER, C.B. & VALENTE-MOREIRA, I.M. 2000. Diatomáceas (Bacillariophyta) perifíticas da lagoa Tarumã, Ponta Grossa, Paraná, Brasil. 2. Eunotiaceae. *Insula* 29: 117-134.
- GREGORY-EAVES, I. & BEISNER, B.E. 2011. Palaeolimnological insights for biodiversity science: an emerging field. *Freshwater Biology*. 56:2653–2661.
- GUIMARÃES, P.S. & GARCIA, M. 2016. Importância do Habitat e do Forófito para a Composição da Comunidade de Diatomáceas Perifíticas. *Iheringia, Série Botânica*, Porto Alegre, 71(1):99-112.
- HAMILTON, P. 2010. *Brachysira brebissonii*. In *Diatoms of North America*. https://diatoms.org/species/brachysira_brebissonii (last access in 08/08/2018).
- HEINRICH, C.G., LEAL, V.L., SCHUCH, M., DÜPONT, A. & LOBO, E.A. 2014. Epilithic diatoms in headwater areas of the hydrographical subbasin of the Andreas Stream, RS, Brazil, and their relation with eutrophication processes. *Acta Limnologica Brasiliensia*, vol. 26, no. 4, p. 347-355.
- HERMANY, G., SOUZA, P.A., TORGAN, L.C. 2013. Paleoecologia do sistema Pinguella-Palmital-Malvas, Holoceno da Bacia de Pelotas, RS, Brasil: uma abordagem focada na utilização de análises multivariadas para obtenção de diatomáceas descritoras. *Pesquisa em Geociências*. 40(1): 31-49.
- HUSTEDT, F. 1952. Neue und wenig bekannte Diatomeen. IV. *Botaniska Notiser*. 105(4): 366-410.
- HLÚBIKOVÁ, D., ECTOR, L. & HOFFMANN, L. 2011. Examination of the type material of some diatom species related to *Achnanthidium minutissimum* (Kütz.) Czarn. (Bacillariophyceae). *Algological Studies* 136/137: 19–43
- ISA. 2010. Fique por dentro: a Bacia do Rio Xingu em Mato Grosso. *Série Cartô Brasil Socioambiental*, v.2 São Paulo: Instituto Socioambiental. 40p. Disponível em: <https://www.socioambiental.org/sites/blog.socioambiental.org/files/publicacoes/10395.pdf> (last access in 08/08/2018)
- ISA. 2012. De olho na Bacia do Xingu. *Série Cartô Brasil Socioambiental*, v.5. São Paulo: Instituto Socioambiental. 63p. Disponível em: https://www.socioambiental.org/sites/blog.socioambiental.org/files/publicacoes/de-olho-bacia-xingu_150dpi.pdf (last access in 08/08/2018)

- KAMAE, B. 2015. *Diploneis elliptica*. In Diatoms of North America. https://diatoms.org/species/diploneis_elliptica (last access in 08/08/2018).
- KOCIOLEK, P. 2011. *Gomphonema acuminatum*. In Diatoms of North America. https://diatoms.org/species/gomphonema_acuminatum (last access in 08/08/2018).
- KOCIOLEK, P. 2011. *Nitzschia palea*. In Diatoms of North America. https://diatoms.org/species/nitzschia_palea (last access in 08/08/2018)
- KRAMMER, K. 2003. Cymboppleura, Delicata, Navicymbula, Gomphocymbellopsis, Afrocybella. Diatoms of Europe: diatoms of the European inland waters and comparable habitats 4: 1-530.
- LALIBERTE, G., VACCARINO, M. & MAIN, S. 2015. *Craticula ambigua*. In Diatoms of North America. https://diatoms.org/species/craticula_ambigua (last access in 04/04/2018).
- LANDUCCI, M. & LUDWIG, T.A.V. 2005. Diatomáceas de rios da bacia hidrográfica Litorânea, PR, Brasil: Coscinodiscophyceae e Fragilariophyceae. Acta Botânica Brasílica. 19(2): 345-357.
- LANGE-BERTALOT, H. 1993. 85 Neue Taxa und über 100 weitere neu definierte Taxa ergänzend zur Süßwasserflora von Mitteleuropa. Bibliotheca Diatomologica, v. 27, p.1-454.
- LANGE-BERTALOT, H., BAK, M. & WITKOWSKI, A. 2011. Diatoms of the European Inland Water and Comparable Habitats. *Eunotia* and some related genera. In Diatoms of Europe (Lange-Bertalot, H. ed.), v. 6, p.1-747.
- LATRUBESSE, E.M., STEVAUX, J.C. & SINHA, R. 2005. Tropical Rivers. Geomorphology 70. 187.
- LE TREUT, H., SOMERVILLE, R., CUBASCH, U., DING, Y., MAURITZEN, C., MOKSSIT, A., PETERSON, T., PRATHER, M. 2007. Historical Overview of Climate Change. In Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (Solomon S, Qin D, Manning M, Chen Z, Marquis M, Averyt KB, Tignor M, Miller HL eds.) Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, pp 94-122.
- LEVKOV Z., METZELTIN D. & PAVLOV A. 2013. Diatoms of Europe: Diatoms of the European Inland Waters and Comparable Habitats. Vol. 7. Koeltz Scientific Books, Köningstein.
- LUDWIG, T.A.V. & VALENTE-MOREIRA, I.M. 1990. Contribuição ao conhecimento da diatomoflora do parque regional do Iguacu, Curitiba, Paraná, Brasil: II. Cêntricas (Bacillariophyceae). Arquivos de Biologia e Tecnologia, v.33, n.4, p. 843-852
- LUDWIG, T.A.V.; BIGUNAS, P.I.T.; NEIVA, T.F.; COQUEMALA, V.; & PICCININI, C. 2005. Diatomáceas (Ochrophyta) dos lagos do Jardim Botânico. Revista do Museu Nacional do Rio de Janeiro. Série Livros, v.10, p.301-323
- LOWE, R.L., KOCIOLEK, J.P. & VIJVER, B.V. 2013. Two new *Orthoseira* species (Bacillariophyceae) from lava tubes on Île Amsterdam and Big Island (Hawaii). Phytotaxa 111 (1): 39-52.
- MANN, D.G., MCDONALD, S.M., BAYERI, M.M., DROOP, S.M., CHEPURNOVI, V.A., LOKE, R.E., CIOBANU, A. & DU BUF, J.M.H. 2004. The *Sellaphora pupula* species complex (Bacillariophyceae): morphometric analysis, ultrastructure and mating data provide evidence for five new species. Phycologia 43(4):459-482.
- MANN, D., THOMAS, S.J. & EVANS, K.M. 2008. Revision of the diatom genus *Sellaphora*: a first account of the larger species in the British Isles. Fottea 8(1):15-78.
- MARRA, R.C., TREMARIN, P.I., ALGARTE, V.M. & LUDWIG, T.V. 2016. Epiphytic diatoms (Diatomeae) from Piraquara II urban reservoir, Paraná state. Biota Neotropica 16(4): e20160200. <http://dx.doi.org/10.1590/1676-0611-BN-2016-0200> (last access on 08/08/2018)

- MARQUARDT, G.C., COSTA, L.F., BICUDO, D.C., BICUDO, C.E.M., BLANCO, S. WETZEL, C.E. & ECTOR, L. 2017. Type analysis of *Achnantheidium minutissimum* and *A. catenatum* and description of *A. tropicocatenatum* sp. nov. (Bacillariophyta), a common species in Brazilian reservoirs. *Plant Ecology and Evolution* 150 (3): 313-330.
- MARQUARDT, G.C., FURSTENBERGER, C.B., CHAOUICHE, T.E. & CAPARICA, R. 2010. Diatomáceas (Bacillariophyceae) perifíticas em substratos naturais do rio das Pedras, município de Guarapuava, Paraná, Brasil. *Terr@Plural*, Ponta Grossa, v.4, n.2, p.217-240.
- MARQUARDT, G.C. & BICUDO, C.E.M. 2014. Criptógamos do Parque Estadual das Fontes do Ipiranga, São Paulo, SP. *Algas* 36: Bacillariophyceae (Cymbellales). *Hoehnea* 41(2): 209-246.
- MEDLIN, L.K. & KACZAMARSKA, I. 2004. Evolution of the diatoms V. Morphological and cytological support for the major clades and taxonomic revision. *Phycologia* 43: 245-270.
- METZELTIN, D. & H. LANGE-BERTALOT. 2007. Tropical diatoms of the South America II: Annotated diatom micrographs. In *Iconographia Diatomologica*. (Lange-Bertalot, H. ed.). v. 18. p. 1-877
- METZELTIN, D. & LANGE-BERTALOT, H. 1998. Tropical Diatoms of South America I. About 700 predominantly rarely know or new taxa representative of the neotropical flora. In *Iconographia Diatomologica*, (Lange-Bertalot, H. ed.). v. 5, p. 1-695.
- METZELTIN, D., LANGE-BERTALOT, H. & GARCIA-RODRÍGUEZ, F. 2005. Diatoms of Uruguay compared with other taxa from South America and elsewhere. In *Iconographia Diatomologica* 15 (H. Lange-Bertalot, ed.), p.1-736.
- MONTOYA-MORENO, Y., AGUIRRE, N. & CANO, M.G. 2013. Estructura del epifiton de diferentes macrófitas acuáticas de un sistema de planos inundables tropicales. *Biodiversidade y Desarrollo*, 32(2): xx-xx.
- MOUTINHO, S.O., GARCIA, M.J. & DE OLIVEIRA, P.E. 2007. Flora Diatomácea do Reservatório Cabuçu, Município de Guarulhos, (sp): Análise Qualitativa. *Revista UnG, Geociências* v.6, n.1, 32-62
- MORALES, E. 2010. *Staurosira construens*. In *Diatoms of North America*.
https://diatoms.org/species/staurosira_construens (last access in 03/04/2018).
- MORALES, E. 2010. *Staurosirella leptostauron* var. *dubia*. In *Diatoms of North America*.
https://diatoms.org/species/staurosirella_leptostauron_var_dubia (last access in 03/04/2018).
- MORALES, E. A. 2002. Sixth NAWQA Taxonomy Workshop on Harmonization of Algal Taxonomy October 2001. The Academy of Natural Sciences. The Patrick Center for Enviromental Research. Report No. 02-10, 20 p.
- MORALES, E.A. & MANOYLOV, K.M. 2006. Morphological studies on selected taxa in the genus *Staurosirella* Williams et Round (Bacillariophyceae) from Rivers in North America. *Diatom Research*, 21:(2), 343-364.
- MORESCO, C., TREMARIN, P.I., LUDWIG, T.A.V. & RODRIGUES, L. 2011. Diatomáceas perifíticas abundantes em três córregos com diferentes ações antrópicas em Maringá, PR, Brasil. *Revista Brasileiro of Botany*, v34, n.3, p. 359-373
- MORO, R.S. & FÜRSTERNBERG, C.B. 1993. Diatomáceas (Bacillariophyceae) da Lagoa Dourada (Parque Estadual de Vila Velha), Paraná, Brasil. *Acta Biológica Paranaense*, v.22, n.1-4, p. 15-30.
- NARDELLI, M.S., BUENO, N.C., LUDWIG, T.A.V., TREMARIN, P.I. & BARTOZEK, E.C.R. 2014. Coscinodiscophyceae and Fragilariophyceae (Diatomeae) in the Iguaçu River, Paraná, Brazil. *Acta Botânica Brasílica*. 28(1):127-140.
- NOVAIS, M.H., JÜTTNER, I., VAN DE VIJVER, B., MORAIS, M.M., HOFFMANN, L. & ECTOR, L. 2015. Morphological variability within the *Achnantheidium minutissimum* species complex (Bacillariophyta): comparison

- between the type material of *Achnanthes minutissima* and related taxa, and new freshwater *Achnanthidium* species from Portugal. *Phytotaxa* 224(2): 101-139.
- OLIVEIRA, B.D., NOGUEIRA, I.S. & SOUZA, MGM. 2012. Eunotiaceae Kützing (Bacillariophyceae) planctônicas do Sistema Lago dos Tigres, Britânia, GO, Brasil. *Hoehnea* 39(2):297-313, 1 tab., 53 fig.
- PATRICK, R. & REIMER, C.W. 1966. The Diatoms of United States. Vol I. The Academy of Natural Sciences of Philadelphia, p. 1–688.
- PAVLOV, A. & LEVKOV, Z. 2013. Diversity and distribution of taxa in the genus *Eunotia* Ehrenberg (Bacillariophyta) in Macedonia. *Phytotaxa* 86 (1): 1-117.
- PEREIRA, A.C., TORGAN, L.C. & MELO, S. 2013. *Pinnularia* Ehrenberg (Bacillariophyceae) de um lago de inundação amazônico (lago Tupé, Amazonas, Brasil). *Iheringia, Sér. Bot. Porto Alegre*, v.68, n.1, p.91-101.
- PEREIRA, A.C., TORGAN, L.C. & MELO, S. 2014. Four new *Pinnularia* Ehrenberg (Bacillariophyta, Pinnulariaceae) species from Amazonian black water (Yupé Lake, Amazonas State, Brazil). *Phytotaxa* 158(2): 154-168.
- PEREIRA, A.C., TORGAN, L.C., BURLIGA, J.P.K., WETZEL, C.E., ECTOR, L. & MELO, S. 2015. *Pinnularia caprichosa* sp. nov.: a diatom from a black water Brazilian Amazon system. *Phytotaxa* 239(3):280-286.
- PEREIRA, A.C., TORGAN, L.C. & MELO, S. 2017. *Pinnularia* (Bacillariophyta, Pinnulariaceae) dos cursos superior e médio do rio Negro e de tributários, Amazonas, Brasil. *Bol. Mus. Para. Emilio Goeldi. Cienc. Nat. Belém*, v.12, n.1, p.49-74.
- PNRH - PLANO NACIONAL DE RECURSOS HÍDRICOS. 2006. Síntese Executiva. Ministério do Meio Ambiente, Secretaria de Recursos Hídricos. Brasília: MMA. 135p.
- POTAPOVA, M. & HAMILTON, P. 2007. Morphological and ecological variation within the *Achnanthidium minutissimum* (Bacillariophyceae) species complex. *Journal of Phycology*. 43: 561–575.
- POTAPOVA, M. 2009. *Achnanthidium minutissimum*. In *Diatoms of North America*.
https://diatoms.org/species/achnanthidium_minutissimum (last access in 03/04/2018).
- POTAPOVA, M. 2010. *Achnanthidium exiguum*. In *Diatoms of North America*.
https://diatoms.org/species/achnanthidium_exiguum (last access in 03/04/2018).
- POTAPOVA, M. 2010. *Aulacoseira pusilla*. In *Diatoms of North America*.
https://diatoms.org/species/aulacoseira_pusilla (last access in 03/04/2018).
- POTAPOVA, M. 2011. *Navicula notha*. In *Diatoms of North America*. https://diatoms.org/species/navicula_notha (last access in 03/04/2018).
- POTAPOVA, M., ENGLISH, J. 2010. *Aulacoseira subarctica*. In *Diatoms of North America*.
https://diatoms.org/species/aulacoseira_subarctica (last access in 08/08/2018).
- REID, M. 2005. Diatom based models for reconstructing past water quality and productivity in New Zealand Lakes. *J. Paleolimnol.* 33 (1):13–38.
- REICHARDT, E. 1995. Die Diatomeen (Bacillariophyceae) in Ehrenberg's material von Cayenne, Guyana Gallica (1843). In: Lange-Bertalot, H. (ed.), *Iconographia Diatomologica. Annotated Diatom Micrographs. Taxonomy*. Koeltz Scientific Books. Königstein. Vol. 1: 7-99.
- RIBEIRO, F.C.P., SENNA, C.S.F. & TORGAN, L.C. 2008. Diatomáceas em sedimentos superficiais na planície de maré da praia de Itupanema, Estado do Pará, Amazônia. *Rodriguésias* 59 (2): 309-324.
- RODRIGUES, L. & FILHO, H.M. 1990. Diatomoflora do rio Tubarão, Santa Catarina, Brasil: I - *Eunotiaceae* Kützing e *Achnanthaceae* Kützing. *Insula Florianópolis*, n. 20, 113-135

- ROUND, F.E., CRAWFORD, R.M. & MANN, D.G. 1990. The diatoms. Biology and morphology of the genera. Cambridge University Press, New York.
- ROUND, F. E. & BUKHTIYAROVA, L. 1996. Four new genera based on *Achnanthes* (*Achnanthidium*) together with a re-definition of *Achnanthidium*. *Diatom Research*. 11: 345–361.
- RUWER, D.T. & RODRIGUES, L. 2018. Abundance of *Diadsmis confervacea* Kützinger and *Eunotia camelus* Ehrenberg indicates the historical water level variation in a marsh. *Brazilian Journal of Botany*.
- SALOMONI, S.E. & TORGAN, L.C. 2008. Epilithic diatoms as organic contamination degree indicators in Guaíba Lake, Southern Brazil. *Acta Limnologica Brasiliensia* 20(4): 313-324.
- SANTOS, E.M., TREMARIN, P.I. & LUDWIG, T.A.V. 2011. Diatomáceas perifíticas em *Potamogeton polygonus* Cham. & Schltdl.: citações pioneiras para o estado do Paraná. *Biota Neotropica* 11(3) <http://www.biotaneotropica.org.br/v11n3/pt/abstract?inventory+bn01611032011> (last access 08/08/2018).
- SANTOS, K.R.S., ROCHA, A.C.R. & SANT'ANNA, C.L. 2012. Diatoms from shallow lakes in the Pantanal of Nhicolândia, Brazilian Wetland. *Oecologia Australis* 16(4): 756-769.
- SUGUIO, K. 1999. Geologia do Quaternário e mudanças ambientais: passado+ presente= futuro?. São Paulo: Paulos comunicação e Artes Gráficas. 366p.
- SAWAKUCHI, A. O.; HARTMANN, G. A.; SAWAKUCHI, H. O.; PUPIM, F. N.; BERTASSOLI, D. J.; PARRA, M.; ANTINAO, J.L.; SOUSA, L.M.; PÉREZA SABAJ, M.H.; OLIVEIRA, P.E.; SANTOS, R.A.; SAVIAN, J.F.; GROHMANN, C.H.; MEDEIROS, V.B.; MCGLUE, M.M.; BICUDO, D.C. & FAUSTINO, S.B. 2015. The Volta Grande do Xingu: reconstruction of past environments and forecasting of future scenarios of a unique Amazonian fluvial landscape - Scientific Drilling. 3, 1–12.
- SCHNECK, F., TORGAN, L.C. & SCHWARZBOLD, A. 2007. Epilithic diatom community in a high altitude stream impacted by fish farming in southern Brazil. *Acta Limnologica Brasilica*, 19(3):341-355
- SENA, B.A., COSTA, V.B., NAKAYAMA, L. & ROCHA, R.M. 2015. Composition of microphytoplankton of an estuarine Amazon River, Pará, Brazil. *Biota Amazônia* 5(2): 1-9.
- SILVA, A.M., LUDWIG, T.A.V., TREMARIN, P.I & VERCELLINO, I.S. 2010. Diatomáceas Perifíticas em um Sistema Eutrófico Brasileiro (Reservatório do Iraí, Estado do Paraná). *Acta Botanica Brasilica* 24: 997-1016.
- SILVA, J.F., SALOMONI, S.E., OLIVEIRA, M.A. & MACHADO, S.L.O. 2017. Diatomáceas epilíticas de sistemas lóticos na sub-bacia hidrográfica do Arroio Grande, Rio Grande do Sul, Brasil. *Iheringia. Série Botânica*, Porto Alegre, 72(2):201-219. ISSN 2446-8231
- SMOL, J.P. 2008. Pollution of lakes and rivers: a paleoenvironmental perspective. 2 ed. 383p.
- SMOL, J.P. 2002. Pollution of lakes and rivers. A paleolimnological perspective. Arnold, London, pp. 280.
- SOUZA, M.G.M. & OLIVEIRA, R.I.R. 2007. Levantamento da diatomoflórula epilítica da bacia do rio Paraná, Goiás, Brasil. In: Martins-Silva, M. J. (Org). Inventário da biota aquática com vistas a conservação e utilização sustentável do bioma Cerrado (Serra e Vale do rio Paraná). Brasília: MMA. v.1, p. 72-92.
- SOUZA, M.G.M. & SENNA, P.A.C. 2009. Diatomáceas epilíticas da subordem Sellaphorineae do rio do Monjolinho, São Carlos, SP, Brasil. *Acta Botanica Brasilica* 23: 618-629.
- SOUZA-MOSIMANN, R.M., TAVARES, A.S., FREITAS, V.P. 1997. Contribuição ao conhecimento da diatomoflórula do conteúdo estomal de algumas espécies de peixes da Amazônia, I- *Myleus* sp. (Pacu) do lago do Prato, Am., Brasil. *Acta Amazonica* 27(1): 9-26.

- SOUZA, D.R.G., BUENO, N.C., NARDELLI, M.S., TREMARIN, P.I., LUDWIG, T.A.V. & BAUMGARTNER, G. 2015. *Eunotia* Ehrenberg (Bacillariophyceae) in the Hercílio River, Santa Catarina, Southern Brazil. *Brazilian Journal of Botany*.
- STEPANEK, J. & KOCIOLEK, P. 2011. *Amphora copulata*. In *Diatoms of North America*.
https://diatoms.org/species/amphora_copulata (last access in 08/08/2018).
- STRAUBE, A., TREMARIN, P.I. & LUDWIG, T.A.V. 2017. Species of *Luticola* D.G. Mann (Bacillariophyceae) in the Atlantic Forest rivers from southern Brazil, *Diatom Research*.
- TREMARIN, P.I., MOREIRA-FILHO, H. & LUDWIG, T.A.V. 2010. Pinnulariaceae (Bacillariophyceae) do rio Guaraguaçu, bacia hidrográfica litorânea paranaense, Brasil. *Acta Botânica Brasiliensi* 24(2): 335-353
- TREMARIN P.I.; LUDWIG T.A.V., & TORGAN L.C. (2014a). Four new *Aulacoseira* species (Coscinodiscophyceae) from Matogrossense Pantanal, Brazil. *Diatom Research* 29(2): 183–199. *Aquatic Ecology* 28: 117–133.
- TYREE, M. & VACCARINO, M. 2016. *Gomphonema pseudosphaerophorum*. In *Diatoms of North America*.
https://diatoms.org/species/gomphonema_pseudosphaerophorum (last access in 08/08/2018).
- VAN DE VIJVER, B. & MATALONI, G. 2008. New and interesting species in the genus *Luticola* D.G. Mann (Bacillariophyta) from Deception Island (South Shetland Islands). *Phycologia* 47(5): 451-467, 104 figs, 1 table.
- VAN DE VIJVER, B., ECTOR, L., BELTRAMI, M.E., DE HAAN, M., FALASCO, E., HLÚBIKOVÁ, D., JARLMAN, A., KELLY, M., NOVAIS, M. H. & WOJTAL, A.Z. 2011a. A critical analysis of the type material of *Achnantheidium lineare* W. Sm. (Bacillariophyceae). *Algological Studies* 136/137: 167–191
- WALKERS, J.D. & GEISSMAN, J.W. 2009. GSA geologic time scale. *GSA Today* 19, 60–61
- WENGRAT, S., PADIAL, A.A., JEPPESEN, E., DAVIDSON, T.A., FONTANA, L., COSTA-BÖDDEKER, S. & BICUDO, D.C. 2018. Paleolimnological records reveal biotic homogenization driven by eutrophication in tropical reservoirs. *Journal of Paleolimnology*.
- WERUM, M. & LANGE-BERTALOT, H. 2004. Diatoms in springs from Central Europe and elsewhere under the influence of hydrogeology and anthropogenic impacts. In *Iconographia Diatomologica* 13 (H. Lange-Bertalot, ed.), p.1–480.
- WETZEL, C.E. & ECTOR, L. 2014. Taxonomy, distribution and autecology of *Planothidium bagualensis* sp. nov. (Bacillariophyta) a common monoraphid species from southern Brazilian rivers. *Phytotaxa* 156(4):201–210.
- WETZEL, C.E.; ECTOR, L.; HOFFMANN, L. & BICUDO, D.C. 2010. Colonial planktonic *Eunotia* (Bacillariophyceae) from Brazilian Amazon: Taxonomy and biogeographical considerations on the *E. asterionelloides* species complex. *Nova Hedwigia* 91: 49-86
- WETZEL, C.E.; ECTOR, L.; HOFFMANN, L.; LANGE-BERTALOT, H. & BICUDO, D.C. 2011. Two new periphytic *Eunotia* species from the neotropical Amazonian ‘black waters’, with a type analysis of *E. braunii*. *Diatom Research* 26: 135-146.
- WETZEL, C.E.; LANGE-BERTALOT, H.; MORALES, E.A.; BICUDO, D.C.; HOFFMANN, L. & ECTOR, L. 2012. *Bicudoa amazonica* gen. nov. et sp. nov. (Bacillariophyta) – a new freshwater diatom from the Amazon basin with a complete raphe loss in the *Eunotioid* lineage. *Phytotaxa* 75: 1–18.
- WETZEL, C.E.; ECTOR, L.; VAN DE VIJVER, B.; COMPÈRE, P. & MANN, D.G. 2015. Morphology, typification and critical analysis of some ecologically important small naviculoid species (Bacillariophyta). *Fottea* 15(2): 203-234.

WOJTAL, A.Z., ECTOR, L., VAN DE VIJVER, B., MORALES, E.A., BLANCO, S., PIATEK, J. & SMIEJA, A. 2011.
The *Achnantheidium minutissimum* complex (Bacillariophyceae) in southern Poland. *Algological Studies* 136/137:
211-238.

Table 1. Dimensions, frequency in samples, distribution in samples (cal. yr. BP), herbarium access number for diatoms of the Brazilian Amazon well distributed in Brazil. D: diameter; L: length; M: mantle height; W: width; L/W: length/width ratio; A: areolae; F: fibulae; S: striae.

Táxon	Dimension (µm) and striae (in 10 µm)	Frequency in core samples	Maximum abundance in core samples	Distribution in core samples	Herbarium access number (SP)
AULACOSEIRACEAE					
<i>Aulacoseira ambigua</i> (Grunow) Simonsen (Figs. 2-4)	M: 8.6-10.0; D: 5.3-6.0; S: 11-14; A: 10-11	89%	14.2%	Since the end of the Mid-Holocene, from~6,000 cal. yr. BP up to the core top	470331 to 470340; 470342; 470344 to 470367; 470371 to 470392
<i>Aulacoseira granulata</i> (Ehrenberg) Simonsen (Figs. 5-7)	M: 10-13; D: 6.6- 7.3; S: 9-10; A: 7-8	100%	82.8%	Since the end of the Mid-Holocene, from~6,000 cal. yr. BP up to the core top	470331 to 470392
<i>Aulacoseira granulata</i> (Ehrenberg) Simonsen var. angustissima (Müller) Simonsen (Fig. 8)	M: 12.6; D: 3.3; S: 14; A: 10	8%	5.6%	Since the end of the Mid-Holocene, from~6,000 cal. yr. BP up to the core top	470331; 470351; 470356; 470376; 470392
<i>Aulacoeira brasiliensis</i> Tremarin, Torgan & Ludwig (Fig. 9)	M: 6.0; D: 16.0; S: 12; A: 14	98%	29%	Since the end of the Mid-Holocene, from~6,000 cal. yr. BP up to the core top	470331; 470332; 470334 to 470392
<i>Aulacoseira gessneri</i> (Husted) Simonsen (Fig. 10)	M: 4.6; D: 16.0; S: 10; A: 20	45%	7.6%	In the early Late Holocene, since 1,757 cal. yr. BP	470332 to 470333; 470342 to 470356; 470358 to 47365; 470378; 470390
<i>Aulacoseira herzogii</i> (Lemmerman) Simonsen (Figs. 11-13)	M: 6.0-6.6; D: 15.0-16.0; A: 16- 17	77%	9.6%	Since the end of the Mid-Holocene, from~6,000 cal. yr. BP up to the core top	470332; 470334 to 470337; 470339; 470341 to 470365; 470375 to 470390; 470392

Table 1. Continuation

Taxon	Dimension (μm) and striae (in 10 μm)	Frequency in core samples	Maximum abundance in core samples	Distribution in core samples	Herbarium access number (SP)
<i>Aulacoseira italica</i> Simonsen (Fig. 14)	M: 11.3; D: 6.6; S: 15; A: 17	3%	1%	In the Late Holocene, since ~408 cal. yr. BP	470334; 470335
STEPHANODISCACEAE					
<i>Cyclotella meneghiniana</i> Kützing (Fig. 17)	D: 19.3; S: 10	26%	4%	Since the end of the Mid-Holocene, from ~6,000 cal. yr. BP up to the core top	470331 to 470333; 470338; 470351; 470366 to 470371; 470381; 470382; 470384; 470385; 470392
<i>Discostella stelligera</i> (Cleve and Grunow) Houk & Klee (Figs. 18-19)	D: 8.6-12.0; S: 12-15	39%	3.6%	Since the end of the Mid-Holocene, from ~6,000 cal. yr. BP up to the core top	470331 to 470341; 470350 to 470352; 470355; 470360 to 470362; 470371; 470379; 470382; 470383; 470387; 470391
FRAGILARIACEAE					
<i>Fragilariforma telum</i> (Carter & Denny) Almeida, Wetzel & Morales (Figs. 20-22)	L: 42.0-96.0; W: 4.0-4.6; S: 21-22	15%	2.6%	Since the end of the Mid-Holocene, from 3,774 cal. yr. BP up to the top core	470346; 470350; 470352; 470354; 470355; 470357; 470359; 470360; 470389
<i>Staurosirella crassa</i> (Metzeltin & Lange-Bertalot) Ribeiro & Torgan (Figs. 29-30)	L: 37.0-44.0; W: 7.0-9.0; S: 5-6	26%	9%	Since the end of the Mid-Holocene, from 4,345 cal. yr. BP up to the top core	470333 to 470335; 470337; 470338; 470342; 470343; 470346; 470352; 470357; 470358; 470362; 470367; 470375; 470376; 470381
<i>Staurosirella pinnata</i> (Ehrenberg) Williams and Round (Figs. 33-34)	L: 6.0-6.6; W: 3.3-4.0; S: 5-6	47%	7%	Since the end of the Mid-Holocene, from 5,760 cal. yr. BP up to the top core	470332; 470334; 470335; 470337 to 470343; 470346; 470353; 470365 to 470367; 470371 to 470380; 470382; 470386; 470390; 470391
EUNOTIACEAE					
<i>Eunotia bidens</i> Ehrenberg (Figs. 37-38)	L: 42.0-47.0; W: 7.0-8.0; S: 13	2%	1%	In the Late Holocene, since 514 cal. yr. BP	47345
<i>Eunotia formica</i> Ehrenberg (Fig. 43)	L: 86.0-96.0; W: 10.0-11.0; S: 8-9	3%	1.5%	In the early Late Holocene, since 1,147 cal. yr. BP	470355; 470356

Table 1. Continuation

Taxon	Dimension (µm) and striae (in 10 µm)	Frequency in core samples	Maximum abundance in core samples	Distribution in core samples	Herbarium access number (SP)
<i>Eunotia intricans</i> Lange-Bertalot & Metzeltin (Figs. 40-41)	L: 38.0-44.0; W: 4.0-6.0; S: 12-13	2%	1%	In the early Late Holocene, since 973 cal. yr. BP	470354
<i>Eunotia pseudoserra</i> De Oliveira & Steinitz-Kannan (Fig. 49)	L: 80.0; W: 13.0; S: 12	2%	1%	In the early Late Holocene, since 811 cal. yr. BP	470353
<i>Eunotia zygodon</i> Ehrenberg (Fig. 51)	L: 80.0; W: 16.0; S: 12	5%	2%	In the end of the Mid-Holocene, since 3,774 cal. yr. BP	470351; 470359; 470377
CYMBELLACEAE					
<i>Encyonema silesiacum</i> (Bleisch) Mann (Fig. 55)	L: 31.0-44.0; W: 9.0-10.0; S: 11-12	31%	7%	Since the end of the Mid-Holocene, from ~6,000 cal. yr. BP up to the core top	470340; 470343; 470348; 470350 to 470360; 470375; 470378; 470380; 470381; 470392
<i>Placoneis centropunctata</i> (Hustedt) Metzeltin & Lange-Bertalot (Fig. 56)	L: 64.0-98.0; W: 26.0-35.0; S: 13-14	6%	2.6%	In the Late Holocene, since ~408 cal. yr. BP	470356; 470362; 470380; 470391
GOMPHONEMATACEAE					
<i>Gomphonema lagenula</i> Kützing (Fig. 66)	L: 24.0; W: 6.0; S: 14	10%	3%	Since the end of the Mid-Holocene, from 4,345 cal. yr. BP up to the core top	470332; 470333; 470343; 470355; 470365; 470381
<i>Gomphonema gibberum</i> Hustedt (Figs. 64-65)	L: 16.0-21.3; W: 6.0-6.6; S: 16	26%	3%	Since the end of the Mid-Holocene, from 5,479 cal. yr. BP up to the core top	470334 to 470341; 470345; 470347; 470349; 470357 to 470359; 470382; 470388
<i>Gomphonema truncatum</i> Ehrenberg (Fig. 69)	L: 45.0; W: 12.0; S: 10	8%	3.2%	In the early Late Holocene, since 1,757 cal. yr. BP	470354; 470355; 470359; 470360; 470363

Table 1. Continuation

Taxon	Dimension (µm) and striae (in 10 µm)	Frequency in core samples	Maximum abundance in core samples	Distribution in core samples	Herbarium access number (SP)
ACHNANTHIDIACEAE					
<i>Planothidium heteromorphum</i> (Grunow) Lange-Bertalot (Figs. 75-76)	L: 26.0-42.0; W: 13.0-16.0; S: 9-12	6%	2.2%	In the early Late Holocene, since 1,322 cal. yr. BP	470344; 470347; 470353; 470358
PINNULARIACEAE					
<i>Pinnularia brauniana</i> (Grunow) Studnick (Figs. 93-94)	L: 40.0-51.0; W: 9.0-8.0; S: 10-12	55%	4%	Since the end of the Mid-Holocene, from ~6,000 cal. yr. BP up to the core top	470331; 470332; 470334 to 470336; 470339 to 470359; 470362; 470364; 470365; 470381; 470387; 470390; 470391
<i>Pinnularia instabiliformis</i> Krammer & Metzeltin (Figs. 95-96)	L: 32.0-42.0; W: 8.0-9.0; S: 11-12	63%	1.9%	Since the end of the Mid-Holocene, from 5,760 cal. yr. BP up to the top core	470332; 470334; 470335; 470337 to 470342; 470344 to 470360; 470362; 470363; 470365; 470375; 470376; 470378 to 470381; 470386; 470388; 470389; 470391
<i>Pinnularia instabilis</i> (A. Schmidt) Metzeltin (Figs. 97-98)	L: 53.0-77.0; W: 22.0-22.6; S: 10	66%	2%	Since the end of the Mid-Holocene, from ~6,000 cal. yr. BP up to the core top	470332; 470331 to 470348; 470350 to 470360; 470362 to 470367; 470376 to 470378; 470381; 470389; 470391; 470392
<i>Pinnularia perumbrosa</i> Metzeltin & Lange-Bertalot (Fig. 100)	L: 132.0; W: 16.0; S: 10	5%	1.8%	In the early Late Holocene, since 1,757 cal. yr. BP	470334; 470342; 470362
<i>Pinnularia procera</i> Metzeltin & Krammer (Fig. 101)	L: 68.0; W: 8.0; S: 12	10%	2.2%	Since the end of the Mid-Holocene, from 4,345 cal. yr. BP up to the top core	470349; 470352; 470361; 470363; 470365; 470380
<i>Pinnularia rostratissima</i> var. <i>ventricosa</i> Metzeltin & Lange-Bertalot (Fig. 102)	L: 76.0; W: 16.0; S: 11	55%	5.6%	Since the end of the Mid-Holocene, from ~6,000 cal. yr. BP up to the core top	470331; 470332; 470334 to 470337; 470341; 470344 to 470350; 470352 to 470358; 470360 to 470365; 470372; 470376; 470379; 470382; 470388; 470389; 470392
SURIPELLACEAE					
<i>Surirella guatemalensis</i> Ehrenberg (Fig. 120)	L: 158.0; W: 72.0; F: 2	3%	1%	In the Late Holocene, since ~408 cal. yr. BP	470336; 470357

Figure 1. Map showing the location of the sampling site. a) Amazon basin, showing Xingu river basin b) Xingu river (white star – Core sample), c) Location of the floodplain lake on Arapujá island. Source: Universidade de São Paulo, Instituto de Geociências.

Figures. 2-122. Diatoms of Xingu core. 2-4. *Aulacoseira ambigua* (Grunow) Simonsen. 5-7. *Aulacoseira granulata* (Ehrenberg) Simonsen. 8. *Aulacoseira granulata* (Ehrenberg) Simonsen var. *angustissima* (Müller) Simonsen. 9. *Aulacoseira brasiliensis* Tremarin, Torgan & Ludwig. 10. *Aulacoseira gessneri* (Hustedt) Simonsen. 11-13. *Aulacoseira herzogii* (Lemmerman) Simonsen. 14. *Aulacoseira italica* Simonsen. 15. *Aulacoseira pusilla* (Meister) Tuji & Houk. 16. *Orthoseira roeseana* (Rabenhorst) Pfitzer. 17. *Cyclotella meneghiniana* Kützing. 18-19. *Discostella stelligera* (Cleve and Grunow) Houk & Klee. 20-22. *Fragilariforma telum* (Carter & Denny) Almeida, Wetzel & Morales. 23-24. *Staurosira construens* Ehrenberg. 25-26. *Staurosirella acidophila* Almeida, Wetzel, Morales, Ector & Bicudo. 27-28. *Staurosirella* cf. *acutirostrata* (Metzeltin & Lange-Bertalot) Almeida & Wetzel. 29-30. *Staurosirella crassa* (Metzeltin & Lange-Bertalot) Ribeiro & Torgan. 31-32. *Staurosirella leptostauron* var. *dubia* (Grunow) Edlund. 33-34. *Staurosirella pinnata* (Ehrenberg) Williams and Round. 35-36. *Staurosirella subcapitata* (Frenguelli) Morales. Scale bar = 10 µm.

Figures. 37-54. Diatoms of Xingu core. 37-38. *Eunotia bidens* Ehrenberg. 39. *Eunotia camelus* Ehrenberg. 40-41. *Eunotia intricans* Lange-Bertalot & Metzeltin. 42. *Eunotia longicamelus* Costa, Wetzel, Lange-Bertalot, Ector & Bicudo. 43. *Eunotia formica* Ehrenberg. 44. *Eunotia papilio* (Ehrenberg) Grunow. 45. *Eunotia pileus* (Ehrenberg) Reichardt. 46. *Eunotia pseudosudetica* Metzeltin, Lange-Bertalot & García-Rodríguez. 47-48. *Eunotia rabenhorstii* var. *monodon* Cleve & Grunow. 49. *Eunotia pseudoserra* De Oliveira & Steinitz-Kannan. 50. *Eunotia superbidens* Lange-Bertalot. 51. *Eunotia zygodon* Ehrenberg. 52-53. *Eunotia* sp.1. 54. *Cymboplectura acuta* (A. Schmidt) Krammer. Scale bar = 10 µm.

Figures. 55-78. Diatoms of Xingu core. 55. *Encyonema silesiacum* (Bleisch) Mann. 56. *Placoneis centropunctata* (Hustedt) Metzeltin & Lange-Bertalot. 57. *Placoneis exigua* (W. Gregory) Mereschkovsky. 58-59. *Gomphonema auritum* Braun ex Kützing. 60. *Gomphonema acuminatum* Ehrenberg. 61-62. *Gomphonema brasiliensoides* Metzeltin, Lange-Bertalot & García-Rodríguez. 63. *Gomphonema curvipedatum* Kobayasi ex Osada. 64-65. *Gomphonema gibberum* Hustedt. 66. *Gomphonema lagenula* Kützing. 67-68. *Gomphonema pseudosphaerophorum* Kobayasi. 69. *Gomphonema truncatum* Ehrenberg. 70-71. *Gomphonema* sp.1. 72-73. *Achnanthidium exiguum* (Grunow) Czarnecki. 74. *Achnanthidium minutissimum* (Kützing) Czarnecki. 75-76. *Planothidium heteromorphum* (Grunow) Lange-Bertalot. 77-78. *Planothidium pulcherrimum* (Hustedt) Coste. Scale bar = 10 µm.

Figures. 79-98. Diatoms of Xingu core. 79-80. *Achnanthes inflata* (Kützing) Grunow. 81-82. *Luticola beyensii* Van de Vijver, Ledeganck, & Lebourvier. 83. *Brachysira brebissonii* Ross. 84-85. *Sellaphora emilia* Metzeltin & Lange-Bertalot. 86-87. *Sellaphora rectangularis* (Gregory) Lange-Bertalot & Metzeltin. 88-89. *Sellaphora renata* Metzeltin & Lange-Bertalot. 90-91. *Sellaphora sassiana* (D. Metzeltin & H. Lange-Bertalot) C.E. Wetzel. 92. *Sellaphora ventraloconfusa* (Lange-Bertalot) Metzeltin & Lange-Bertalot. 93-94. *Pinnularia brauniana* (Grunow) Studnick. 95-96. *Pinnularia instabiliformis* Krammer & Metzeltin. 97-98. *Pinnularia instabilis* (A. Schmidt) Metzeltin Scale bar = 10 µm.

Figures. 99-111. Diatoms of Xingu core. 99. *Pinnularia* cf. *liyanlingae* Metzeltin & Lange-Bertalot. 100. *Pinnularia perumbrosa* Metzeltin & Lange-Bertalot. 101. *Pinnularia procera* Metzeltin & Krammer. 102. *Pinnularia rostratissima* var. *ventricosa* Metzeltin & Lange-Bertalot. 103-104. *Caloneis* cf. *bacillum* (Grunow) Cleve. 105-106. *Caloneis kateri* Metzeltin, Lange-Bertalot & García-Rodríguez. 107-108. *Caloneis* cf. *wardii* Cleve. 109. *Diploneis ovalis* (Hilse) Cleve. 110. *Navicula notha* Wallace. 111. *Stauroneis acidoclinata* Lange-Bertalot & Werum. Scale bar = 10 µm.

Figures. 112-122. Diatoms of Xingu core. 112-113. *Stauroneis* cf. *anceps* Ehrenberg. 114-116. *Stauroneis* sp.1. 117. *Craticula ambigua* (Ehrenberg) D.G. Mann. 118. *Amphora copulata* (Kützing) Schoeman & R.E.M. Archibald. 119. *Nitzschia palea* (Kützing) W. Smith. 120. *Surirella guatimalensis* Ehrenberg. 121-122. *Surirella* sp.1 Scale bar = 10 µm.

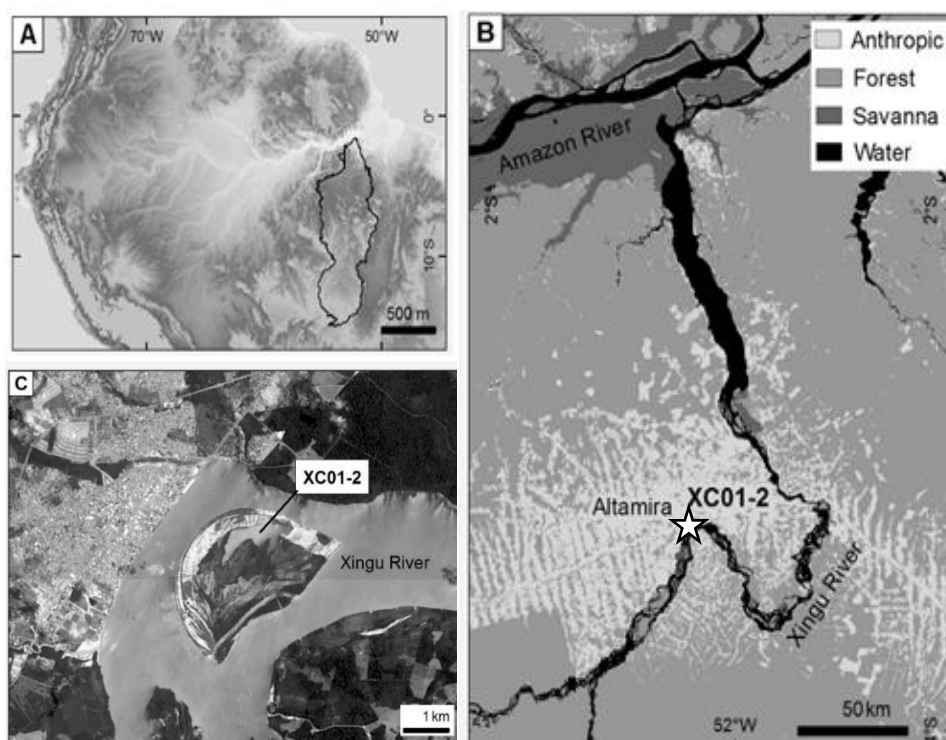
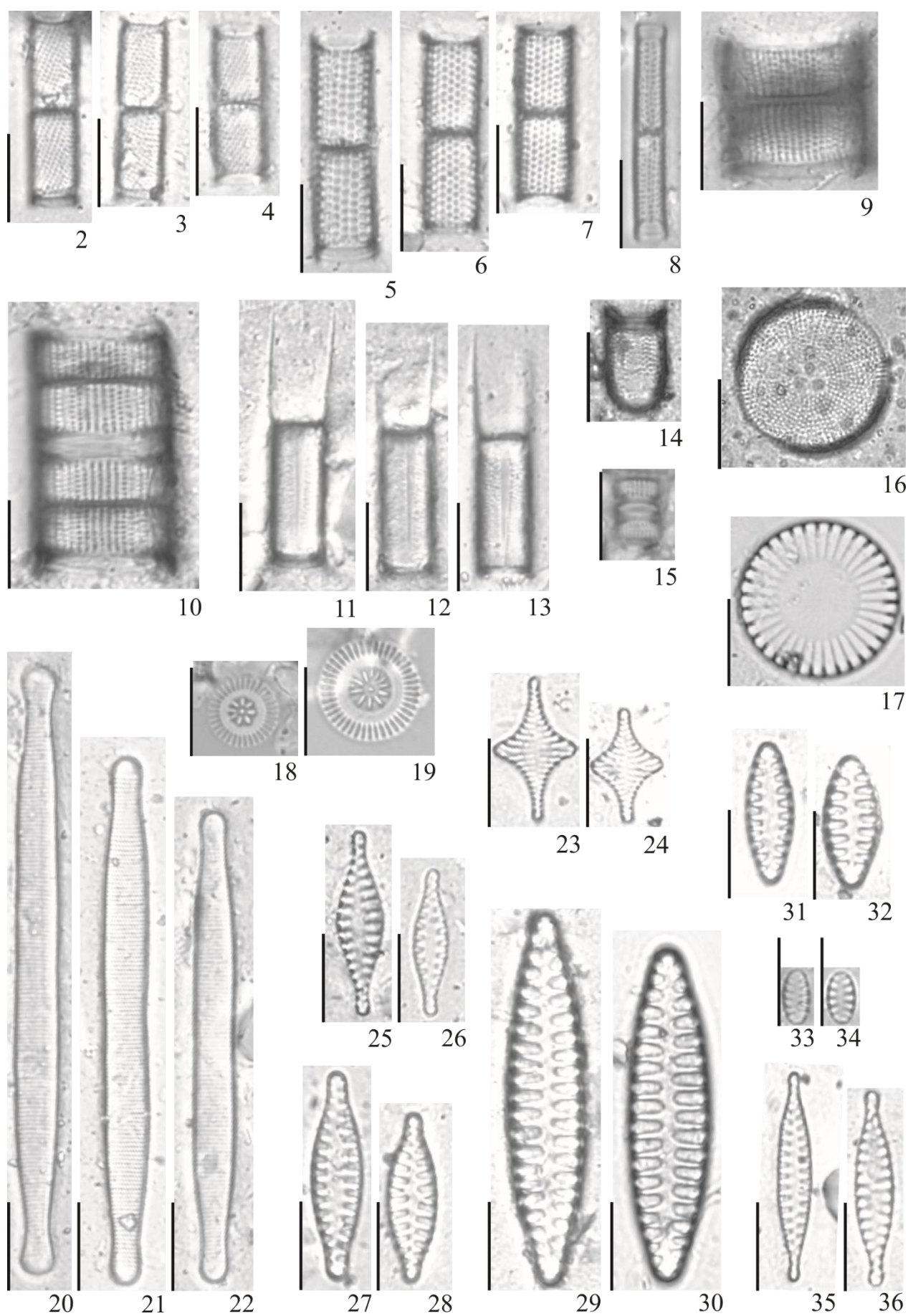
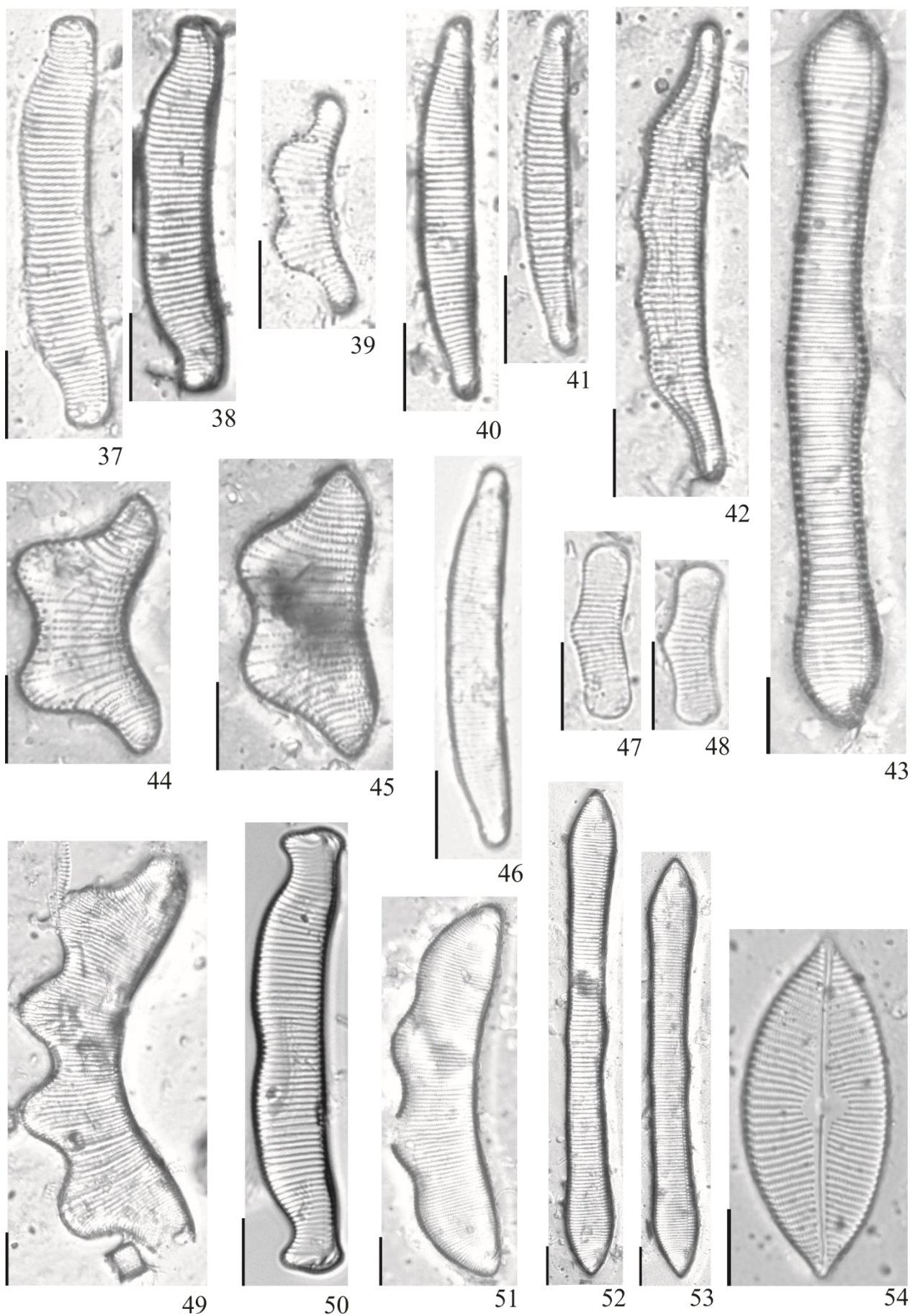


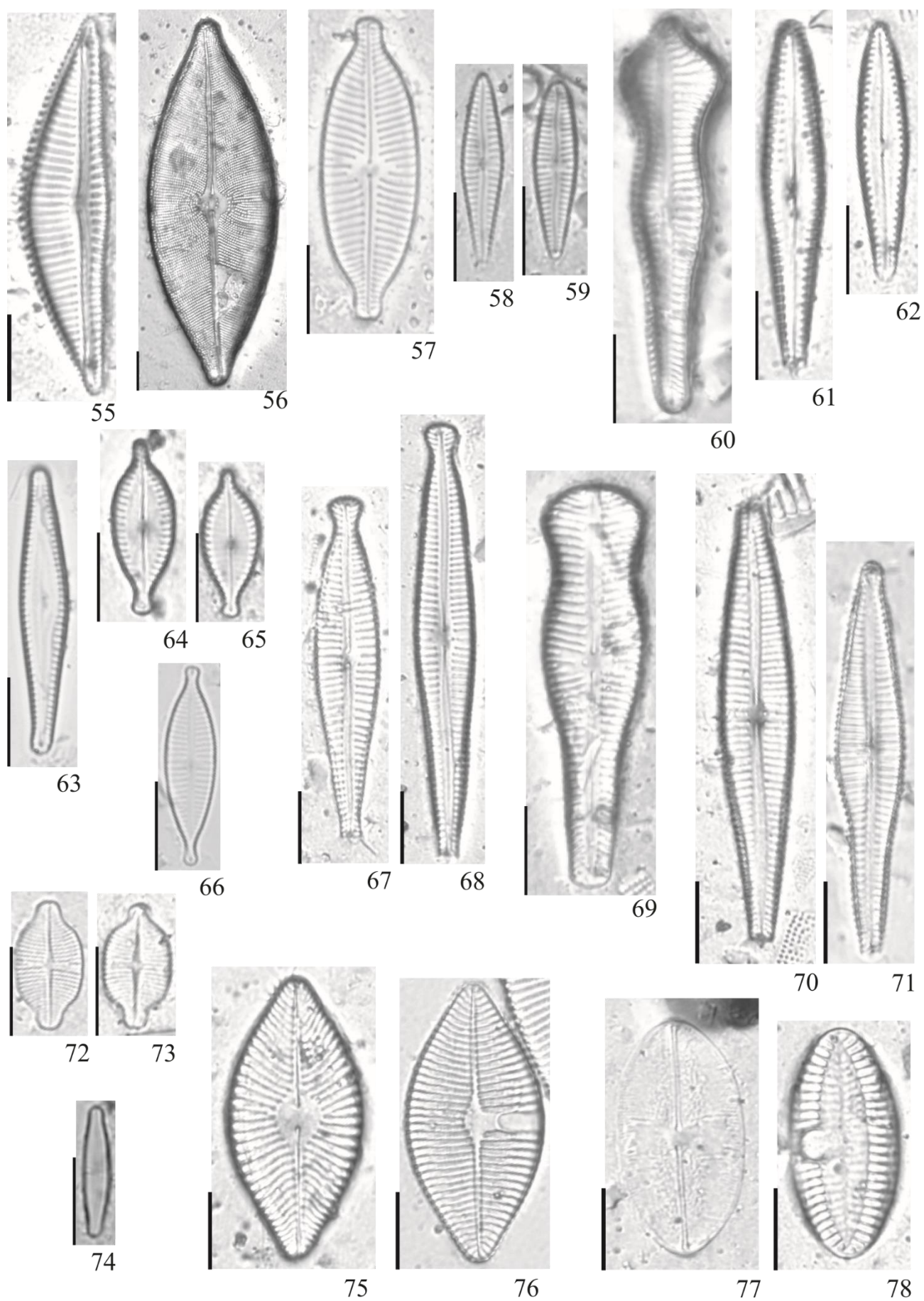
Figure 1.

Figures. 2-36. Diatoms of Xingu core.

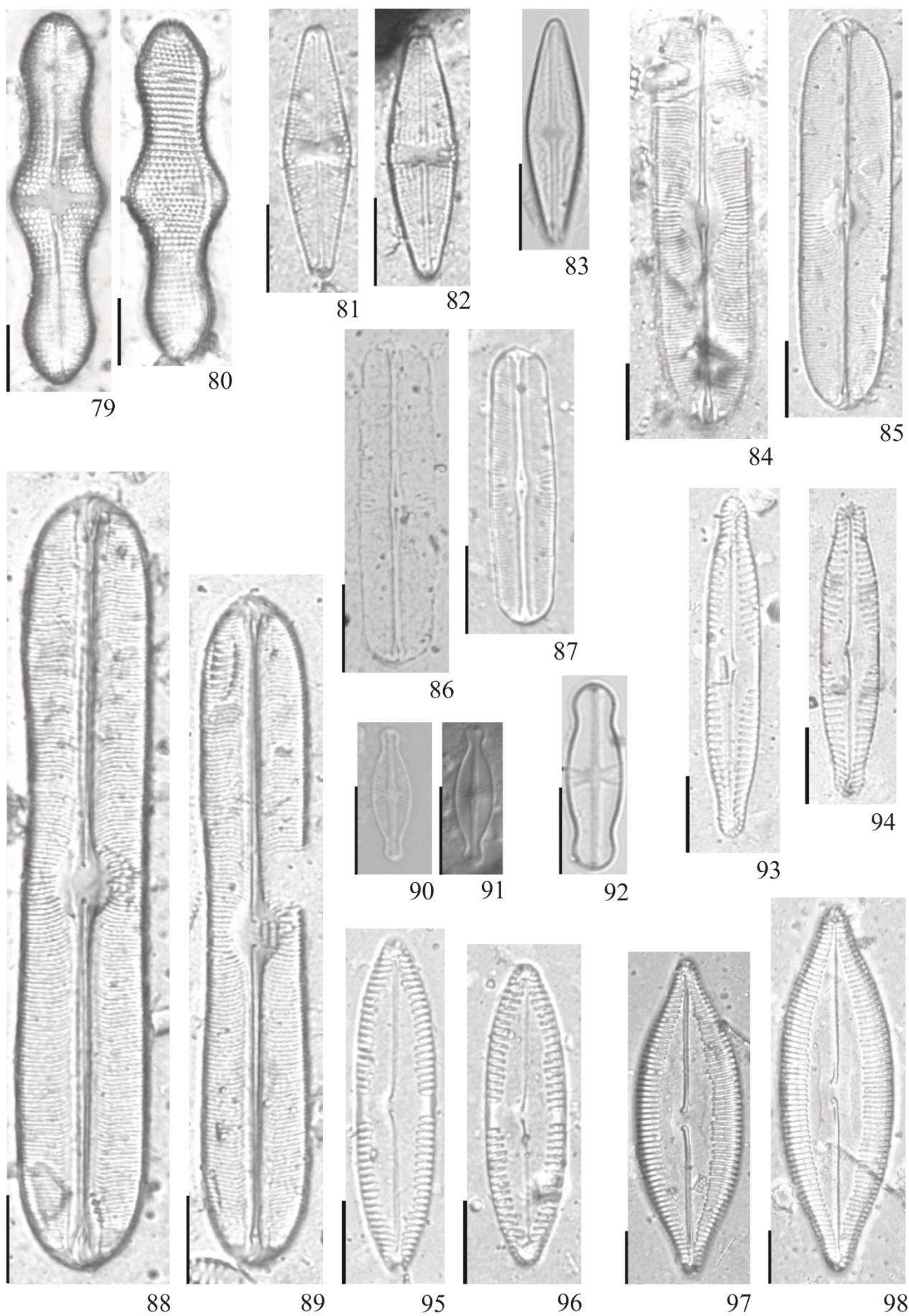


Figures. 37-54. Diatoms of Xingu core

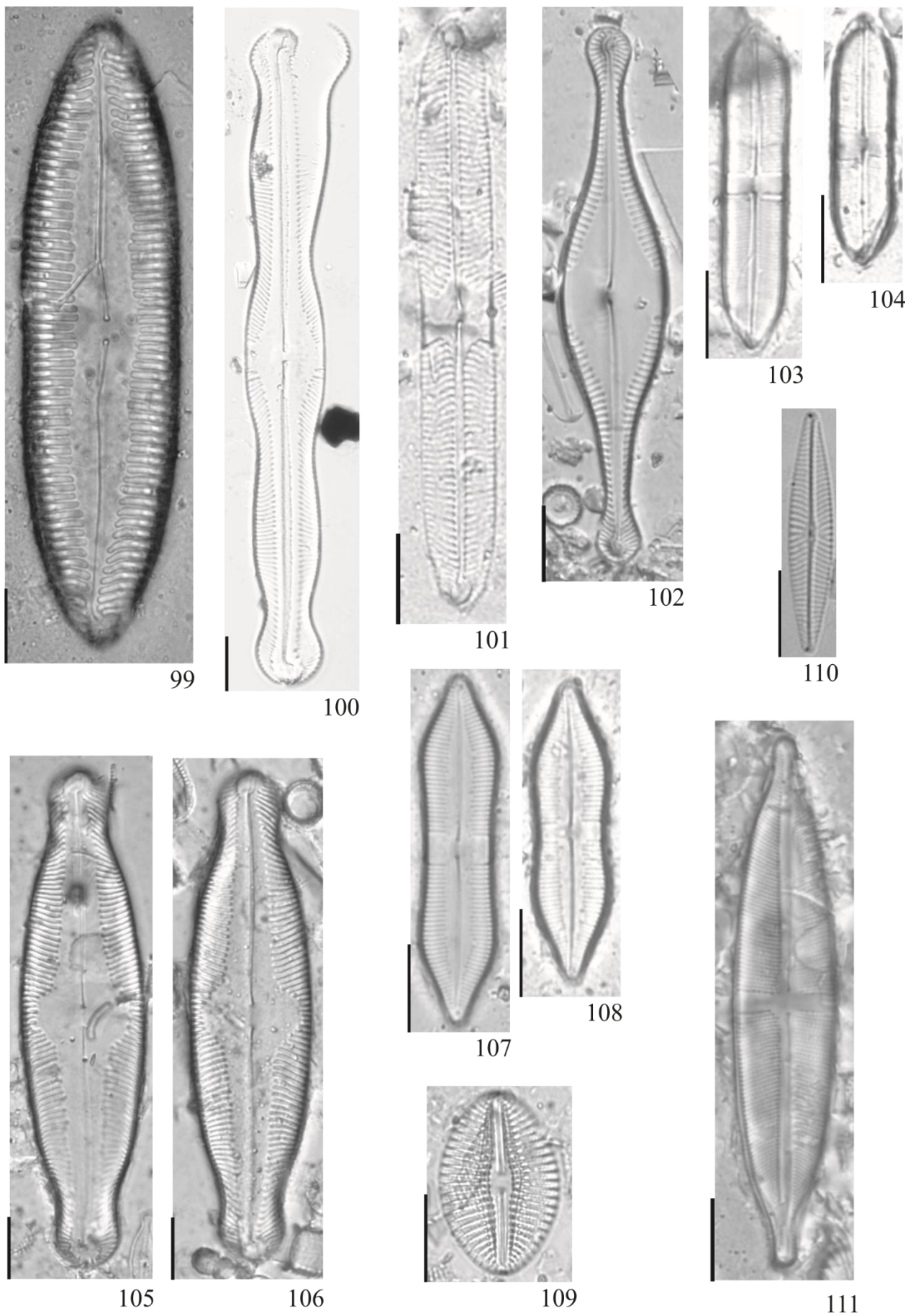


Figures. 55-78. Diatoms of Xingu core

Figures. 79-98. Diatoms of Xingu core



Figures. 99-111. Diatoms of Xingu core



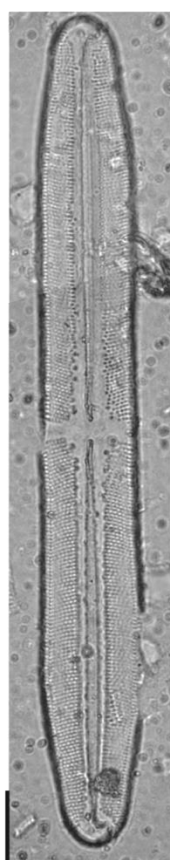
Figures. 112-122. Diatoms of Xingu core



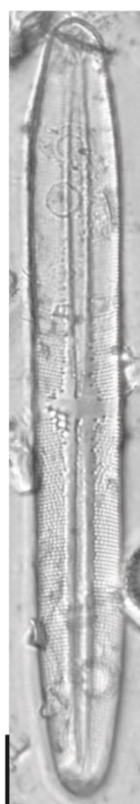
112



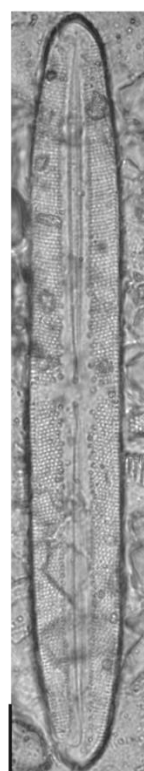
113



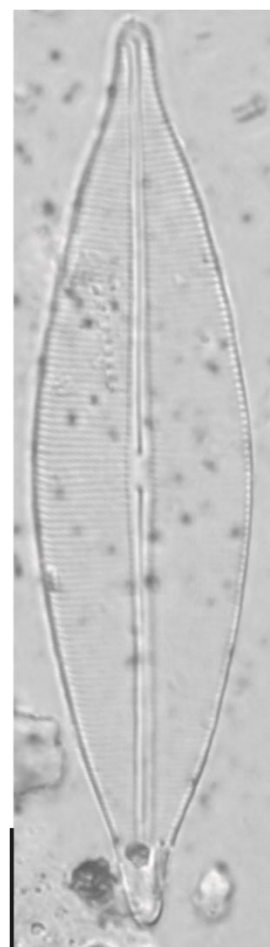
114



115



116



117



118



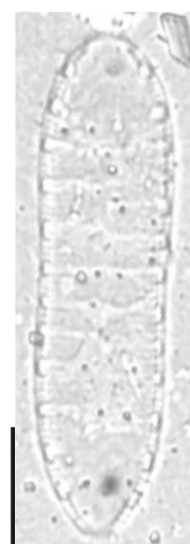
119



120



121



122

Conclusões e Considerações Finais

Este estudo visou expandir o entendimento das mudanças ambientais e climáticas na Amazônia Oriental durante o Holoceno a partir da abordagem multitraçadores ambientais (diatomáceas, litologia, geoquímica orgânica e dados isotópicos). Baseou-se na análise de testemunho sedimentar retirado em um lago de inundação conectado ao rio Xingu, Pará (Amazônia Oriental) e que abrangeu ~6.000 anos BP.

A área de estudo é de grande relevância visto que o rio Xingu é um dos maiores afluentes do rio Amazonas e que ainda contém trechos preservados. Particularmente a região do estudo, trecho do Volta Grande do Xingu (Ilha do Arujá), é considerada um ambiente único para a biodiversidade amazônica, berçário ecológico, além de conter os últimos fragmentos de vegetação natural para a região, tornando-se, assim, um local de referência para a biodiversidade local e regional.

A reconstrução paleoambiental permitiu as seguintes conclusões e considerações:

- ✓ Identificação de três zonas paleoambientais.
- ✓ No período final do Holoceno Médio (~5.760-2.040 anos BP, zona 1), as evidências indicaram um sistema mais conectado ao rio, águas com maior profundidade, elevado fluxo hidrológico e predominância de diatomáceas planctônicas adaptadas a ambientes turbulentos. Nesta fase a partir de ~2.900 anos BP, há indícios de formação do lago de inundação, conforme inferido pela geoquímica que evidenciou aumento de matéria orgânica de origem alóctone.
- ✓ No início do Holoceno Tardio (~2.040-625 anos BP, zona 2), o ambiente permaneceu com características de águas turbulentas, porém com menor fluxo hidrológico, suave aumento de produtividade e, ainda, com predominância de espécies planctônicas adaptadas a condições turbulentas.
- ✓ No período do Holoceno Tardio (~625 anos até o presente, zona 3), o lago de inundação apresentou características mais lacustres, águas mais rasas, menos conectadas ao rio, levemente enriquecidas com predominância de espécies de diatomáceas bentônicas.
- ✓ Apesar do leve aumento da produtividade autóctone, os indicadores biológicos (diatomáceas) e geoquímicos (razão C/N e $\delta^{15}\text{N}$) permitiram inferir que o lago de inundação permaneceu oligotrófico com leve enriquecimento no Holoceno Tardio por processos naturais e não antropogênicos.
- ✓ As condições de conservação ecológica do lago de inundação permitiram que o sinais de alterações hidrológicas do sistema, inferidas principalmente pelas diatomáceas, predominassem nos últimos ~6.000 anos. Assim, as alterações do regime hidrológico

associadas a dados secundários do isótopo de oxigênio ($\delta^{18}\text{O}$), obtidos de espeleotemas da caverna Paraíso, bem como de insolação para a Amazônia Oriental permitiram inferências sobre a alteração climática regional. Desta forma, um período de clima mais úmido e chuvoso foi evidenciado no fim do Holoceno Médio (~ 4.000 anos BP), passando para um período mais seco, de menor pluviosidade a partir do Holoceno Tardio (~625 anos BP), corroborando com estudos anteriores para região amazônica baseados em outros em outros indicadores.

- ✓ Em relação ao levantamento das diatomáceas, 77 táxons distribuídos em 27 gêneros foram registrados, dos quais cinco novas ocorrências para o Brasil e 35 para Amazônia brasileira.
- ✓ Os três gêneros mais representados em número de espécies foram *Eunotia* Ehrenberg (13 espécies), *Gomphonema* Ehrenberg (nove espécies) e *Aulacoseira* Thwaites (oito espécies). Entretanto, *Aulacoseira* foi o gênero mais proeminente em distribuição e abundância em todo o testemunho.
- ✓ Três espécies de *Aulacoseira* apresentaram distribuição destacada: *A. granutala* (100% distribuição; 82,3% abundância máxima), *A. brasiliensis* (98% distribuição; 29% abundância máxima) e *A. ambigua* (89% distribuição; 14,2% abundância máxima). Em contraste, a maioria das espécies foi rara, apresentando abundância máxima abaixo de 5% (58) ou ainda menor do que 2% (20).
- ✓ Dentre os novos registros para o Brasil, duas espécies (*Caloneis katerii* e *Caloneis* cf. *wardii*) foram encontradas exclusivamente no fim do Holoceno Médio (~6.000-2.040 anos BP), duas (*Sellaphora emilia* e *S. renata*) no início do Holoceno Tardio (~2.040-625 anos BP) e uma (*Gomphonema pseudosphaerophorum*) ocorreu exclusivamente no Holoceno Tardio (~625 anos BP – até o presente).
- ✓ A adição de 52% novos registros para a Amazônia brasileira demonstra que esta região permanece pouco conhecida e a avaliação da biodiversidade, subestimada.
- ✓ Tais resultados reforçam o papel da paleolimnologia, em muitos casos, como a única ferramenta para avaliar a biodiversidade antes dos impactos humanos e em condições pristinas, ou seja, em condições de referência.
- ✓ Por fim, este estudo destaca que as alterações hidrológicas do lago de inundação do Rio Xingu permitiram inferir sobre o Paleoclima, demonstrando o uso potencial da abordagem paleohidrológica para expandir a compreensão das alterações climáticas em outras escalas temporais e geográficas.