

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

Assinaturas polínicas modernas da floresta de igapó do Rio Negro, Amazonas:
contribuição ao entendimento de variações vegetacionais e climáticas durante o
Holoceno

Vitor Araújo de Carvalho
TF-24/55

Trabalho de Formatura (0440500)
Orientador: Prof. Dr. Paulo Eduardo de Oliveira
Coorientadora: Dra. Érika Ferreira Rodrigues

São Paulo
2024

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

Assinaturas polínicas modernas da floresta de igapó do Rio Negro, Amazonas: contribuição
ao entendimento de variações vegetacionais e climáticas durante o Holoceno

Vítor Araújo de Carvalho

Monografia apresentada ao Instituto de
Geociências, curso de Geologia, para obtenção do
título de Bacharel em Geologia.

Orientador: Prof. Dr. Paulo Eduardo de Oliveira

Coorientadora: Dra. Érika Ferreira Rodrigues

SÃO PAULO
2024

AGRADECIMENTOS

Agradeço à família e amigos pelo apoio e presença em todas as etapas do meu desenvolvimento, seja nas atividades acadêmicas ou fora delas, sem vocês eu nunca teria chegado tão longe. Obrigado por me permitirem sonhar e alcançar versões de mim mesmo que eu nem imaginava que eram possíveis.

Ao meu orientador Prof. Dr. Paulo Eduardo de Oliveira e à minha coorientadora Dra. Érika Ferreira Rodrigues por toda ajuda, paciência e ensinamentos.

À Fundação de Amparo à Pesquisa (FAPESP) pela bolsa de Iniciação Científica (Proc. FAPESP nr. 2022/06220-1) e ao Prof. Dr. Cristiano M. Chiessi, pelo acesso às amostras de solo superficial coletadas graças ao financiamento do campo, e pela vinculação desta pesquisa ao seu Projeto “Proc. 2018/15123-4” Proc. FAPESP nr. 2022/06221-8.

Ao Dr. Thomas Kenji Akabane, pela contribuição no processamento químico, fornecimento de dados palinológicos modernos da bacia amazônica para comparações e discussões científicas.

Aos alunos do Laboratório de Micropaleontologia do IGc/USP pelas conversas, opiniões e ajuda em todas as etapas do trabalho, de identificação de grãos de pólen a discussões dos resultados.

Aos colegas de graduação por todos esses anos de aulas e trabalhos em campo, só vocês sabem o quão difícil foi.

RESUMO

Assinaturas polínicas modernas de diferentes fisionomias vegetais e padrões florísticos, preservadas em sedimentos, auxiliam de forma robusta na interpretação de espectros polínicos encontrados em sedimentos quaternários usados para elucidar paisagens vegetacionais e climas do passado. O objetivo deste estudo foi gerar assinaturas palinológicas modernas em solos superficiais de diferentes tipos de florestas de igapó do sistema fluvial de Mariuá, Rio Negro, Amazonas, Brasil, para que esses sinais polínicos fossem comparados com outros registros paleovegetacionais da Amazônia. As assinaturas palinológicas obtidas de solos superficiais em três fisionomias distintas da floresta de igapó, correlacionadas com o grau de drenagem desses compartimentos, mostrou composições florísticas distintas. A distinção palinológica entre essas assinaturas é explicada pelo fato de que igapós baixos, há o predomínio de táxons adaptados a longos períodos de inundação, como por exemplo as árvores abundantes de *Eugenia inundata*. O igapó médio, por outro lado, tem como elemento arbóreo predominante as espécies do gênero *Eschweilera*, adaptados a um regime menor de flutuação do nível d'água. Por fim, o igapó alto, por possuir solos mais bem drenados, é caracterizado por elementos arbóreos emergentes, composto por árvores gigantescas, especialmente do gênero *Sloanea*. A comparação entre os sinais palinológicos obtidos a partir da análise de solos superficiais com espectros polínicos em sedimentos lacustres, datados pelo método do ^{14}C , mostrou que essa técnica tem robustez estatística, de forma que pode fornecer importantes subsídios a uma melhor interpretação da paleovegetação. A análise estatística por Componente Principal (PCA) dos dados obtidos da comparação das assinaturas modernas e fósseis do perfil do Lago do Pacu, permitiu avaliar o impacto das mudanças climáticas, principalmente nos últimos 800 anos cal. AP e na fase do Holoceno Médio. A partir desse estudo, propõe-se para os últimos 800 anos, uma fase vegetacional marcada pela expansão da vegetação de igapó, associada com um aumento generalizado da precipitação nos sistemas de igapó do Alto Rio Negro, conforme apontam vários estudos geoquímicos. O Holoceno Médio, a partir das análises palinológicas fósseis e modernas, é interpretado como uma fase com clima menos úmido e com expansão da Floresta de Terra Firme, adaptada a solos mais bem drenados.

Palavras-chave: Palinologia, Holoceno, Igapó, Amazônia, mudanças vegetacionais, mudanças climáticas.

ABSTRACT

Modern pollen signatures of different plant physiognomies and floristic patterns, preserved in sediments, robustly aid in the interpretation of palynological spectra found in Quaternary sediments used to elucidate past vegetation landscapes and climates. The objective of this study was to generate modern pollen signatures in surface soils from different types of igapó forests in the Mariuá river system, Rio Negro (AM), Brazil, so that these political signals could be compared with other paleovegetation records. The palynological signatures obtained from surface soils in three distinct physiognomies of the igapó forest correlated with the degree of drainage of these compartments and showed distinct floristic compositions. The palynological distinction between these signatures is explained by the fact that in low-lying igapós, there is a predominance of taxa adapted to long periods of flooding, such as the abundant trees of *Eugenia inundata*. The middle igapó, on the other hand, has species of the genus *Eschweilera* as its predominant tree element, adapted to a lower regime of water level fluctuation. Finally, the high igapó, as it has better drained soils, is characterized by emerging arboreal elements, composed of gigantic trees, especially of the genus *Sloanea*. The comparison between palynological signals obtained from the analysis of surface soils with pollen spectra in lake sediments, dated using the ^{14}C method, showed that this technique has statistical robustness, meaning it can provide important support for a better interpretation of paleovegetation. The Principal Component Statistical Analysis (PCA) of the data obtained from the comparison of modern and fossil signatures of the Pacu Lake profile made it possible to evaluate the impact of climate change, mainly in the last 800 cal years. AP and in the Middle Holocene phase. Based on this study, a vegetation phase marked by the expansion of igapó vegetation, associated with a general increase in precipitation in the igapó system of the Upper Rio Negro, is proposed for the last 800 years, as indicated by several geochemical studies. The Middle Holocene, based on fossil and modern palynological analyses, is interpreted as a phase with a less humid climate and expansion of the Terra Firme Forest, adapted to better drained soils.

Keywords: Palynology, Holocene, *Igapó*, Amazon, vegetational changes, climate changes.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	7
2. OBJETIVOS E JUSTIFICATIVA.....	8
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	8
3.1. Aspectos geológicos e geomorfológicos.....	8
3.2. Aspectos climáticos e vegetacionais.....	9
4. MATERIAIS E MÉTODOS.....	10
4.1. Área de estudo.....	10
4.2. Coleta de amostras de solos superficiais.....	12
4.3. Palinologia.....	13
4.4. Análises estatísticas.....	14
5. RESULTADOS.....	14
5.1. Levantamento dos táxons de igapó.....	14
5.2. Palinologia em amostras de solo superficiais do Arquipélago de Mariuá.....	15
5.1.1 Agrupamento Igapó Baixo, amostras 1 a 13.....	16
5.1.2 Agrupamento Igapó Médio, amostras 14 a 23.....	16
5.1.3 Agrupamento Igapó Alto, amostras 24 a 37.....	16
5.3. PCA dos espectros polínicos modernos do igapó baixo, médio e alto.....	19
5.4. Comparação de assinaturas polínicas modernas na Bacia Amazônica.....	20
5.5. Registro paleovegetacional da floresta de igapó, Anavilhanas, Amazonas.....	21
6. INTERPRETAÇÃO E DISCUSSÃO.....	23
7. CONCLUSÕES.....	24
8. REFERÊNCIAS.....	26
PRANCHA 1.....	28
PRANCHA 2.....	29
PRANCHA 3.....	30
PRANCHA 4.....	31
PRANCHA 5.....	32
PRANCHA 6.....	33
PRANCHA 7.....	34
PRANCHA 8.....	35
PRANCHA 9.....	36
PRANCHA 10.....	37
PRANCHA 11.....	38
PRANCHA 12.....	39
MATERIAL COMPLEMENTAR.....	40

1. INTRODUÇÃO

Assinaturas polínicas são sinais emitidos pela vegetação na forma de palinomorfos aprisionados pelas correntes atmosféricas ou transportados para bacias de sedimentação a partir do escoamento superficial. Esses sinais, também chamados de espectros polínicos (Colinvaux *et al.*, 1999) são compostos por uma variedade de tipos morfológicos de táxons terrestres e aquáticos, em concentrações, ou seja, número de grãos por volume de sedimento, e porcentagens representativas de diferentes ecossistemas terrestres (Colinvaux *et al.*, 1999; Montade *et al.*, 2019; Cassino & Ledru, 2021). Em uma amostra paleoecológica são geralmente dominados por uma pequena seleção de táxons pólen-chave, acompanhados por uma variedade muito maior de tipos de pólen para os quais pode haver grãos de pólen únicos — chamados táxons de pólen de tipo raro (Shaw & Whyte, 2020).

Em estudos paleoambientais esses espectros polínicos são indicadores sobre o grau em que o clima e outros fatores ambientais restringem a distribuição das espécies e como elas responderam às mudanças climáticas no passado. A comparação desses sinais modernos com o sinal preservado em sedimentos coletados em testemunhos lacustres e marinhos, datados pelo método de radiocarbono, permite que sejam feitas reconstruções paleoambientais e paleoclimáticas.

Esse entendimento, por sua vez, é fundamental para estudos de modelagem climática e de distribuição de espécies, para a previsão de como a biodiversidade provavelmente reagirá às mudanças climáticas futuras, quais são os maiores riscos e como as contramedidas podem ser direcionadas com mais eficiência. Este trabalho irá produzir pela primeira vez o conhecimento dos diferentes sinais ou espectros polínicos emitidos por diferentes fisionomias de florestas alagadas, ou seja, florestas de igapó em diferentes estágios sucessionais do sistema fluvial do Rio Negro, Amazonas, Brasil.

2. OBJETIVOS E JUSTIFICATIVA

Esta pesquisa preenche uma lacuna em estudos paleoambientais na Amazônia ao gerar pela primeira vez espectros polínicos de fisionomias do sistema de igapó e compará-los com assinaturas modernas da Bacia Amazônica (Akabane et al., 2019) e registros sedimentares do Holoceno, obtidos no sistema fluvial do Baixo Rio Negro, Amazonas, no âmbito projeto FAPESP “Vegetação e Clima do Holoceno no Arquipélago de Anavilhanas - Rio Negro” (Proc: 2022/06221-8).

O objetivo geral foi gerar assinaturas palinológicas modernas em solos superficiais de diferentes tipos de florestas de igapó do sistema fluvial de Mariuá, Rio Negro (AM). Entre os objetivos específicos destacam-se: a). Comparar os sinais polínicos de solos superficiais em florestas de igapó baixo, médio e alto; b). Comparar os espectros palinológicos obtidos com a distribuição de espécies arbóreas determinadas *in situ* para cada tipo de vegetação, realizada por botânicos do Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia, INPA; c). Comparar os sinais obtidos em solos superficiais com os sinais encontrados em estudos palinológicos de sedimentos holocênicos na Bacia Amazônica para determinar sua eficácia na interpretação paleoambiental; d) Comparar os sinais obtidos em solos superficiais com os espectros palinológicos obtidos em sedimentos no arquipélago de Anavilhanas, em região restrita à vegetação de igapó.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1. Aspectos geológicos e geomorfológicos

A área de estudo está inserida geologicamente na Formação Alter do Chão, datada do Cretáceo, possui fácies sedimentares de arenitos, conglomerados e pelitos agrupadas em associações de preenchimento de canal de um sistema fluvial meandrante com barras conglomeráticas ou arenosas, formando a litologia das ilhas (Mendes *et al.*, 2012).

O Arquipélago de Mariuá ganha forma em uma grande planície inundável de rio de água preta, caracterizado por possuir solos pobres em nutrientes (Furch, 1997) com plantas de ocorrência regional adaptadas a estas condições. As ilhas formadas no fluxo do rio representam uma cobertura cenozóica indiscriminada de várzeas, uma cobertura sedimentar de alteração superficial causada pelo alagamento do rio que caracteriza um organossolo com pouco sedimento e muita conservação de restos orgânicos vegetais (Junk, 2020). Este cenário é bem favorável à conservação de registros polínicos, o que faz com que sedimentos superficiais sejam muito ricos em material orgânico com palinomorfos.

3.2. Aspectos climáticos e vegetacionais

A área de estudo possui uma designação de campo que divide os pontos de coleta entre igapó alto, médio e baixo. Essa separação é feita devido à altura da coluna d'água em relação ao solo, que muda algumas características na vegetação pelo tipo de contato das raízes com o substrato (Stadtler, 2007) e pode gerar resultados de fisionomia vegetal diferentes nas assinaturas modernas em registros polínicos e levantamentos florísticos. Segundo Junk *et al.*, (2015) existem dois estratos no gradiente de inundação de floresta de igapó: igapó baixo, onde a inundação ultrapassa 3 m, e igapó alto, porção que permanece menos de 3 m inundada.

A vegetação das florestas de várzea e igapó são adaptadas para as condições de inundação, causadas pelo fluxo das marés em regiões de foz e pela cheia anual dos rios principais (Pires, 1995). Oscilações diárias de 30 cm no nível das águas das florestas de igapó do rio Curuá no final da época de estiagem em novembro e uma variação diária da maré bastante reduzida, variando de 17 a 21 cm de altura foram observadas por Hida *et al.* (1997). Segundo Ferreira (2005), ocorre uma variação na ordem de 4 a 6 metros no nível dos rios resultantes da cheia anual, uma forma encontrada pelas espécies vegetais desse sistema para sobreviver nesse meio físico foi o surgimento de adaptações ecológicas, fisiológicas e morfológicas para suportar a baixa concentração de oxigênio (Worbes, 1992). Estudos relatam que algumas espécies arbóreas nas várzeas do estuário do baixo Amazonas possuem mecanismos de regulação osmótica da água, permitindo que suas raízes e seus caules suportem pelo menos 12 horas de inundação a cada dia. (Wittmann *et al.*, 2006).

Em ambientes lacustres do sistema fluvial do Rio Negro, a altura média da água varia de 5,7 a 10,5 metros de altura dependendo das condições topográficas e alterações no talude e nível de base do rio, esse nível na coluna d'água também é resultado de grandes períodos de inundação que variam de 270 a 200 dias por ano. Este habitat é colonizado por poucas espécies, altamente tolerantes ao longo período de inundação, o que resulta em baixa riqueza local. Algumas das espécies dominantes neste habitat não ocorrem ou têm baixa abundância em outros habitats da floresta de igapó, são exceções visíveis localmente (Ferreira, 2005).

Na área de estudo, em levantamento realizado por botânicos do INPA, foram encontradas as seguintes fisionomias vegetais: a). Igapó Baixo: caracterizado por espécies adaptadas a prolongados períodos de inundação, representado por espécies vegetais adaptadas a longos períodos de cheia e tais como pequenos arbustos de *Eugenia inundata* e árvores pequenas e médias principalmente do gênero *Eschweilera*. A biodiversidade vegetal é mais baixa neste estrato quando comparado com o Igapó Médio e Alto (Lobo, 2017); b) Igapó Médio, composto por fisionomia arbórea caracterizada principalmente pelos gêneros *Clathrotropis*, *Diospyros* e *Dicorynia*; c) Igapó Alto, caracterizado por solos bem drenados e

com influências de inundação, com árvores emergentes dominadas pelos táxons *Aldina*, *Sloanea*, *Dycorinia paraensis*, *Haploclathra leiantha* e *Swartzia argentea*. Informações detalhadas da composição florística dessas três fisionomias encontram-se no material complementar.



Figura 1. Arbustiva: à esquerda, *Eugenia inundata* (Família Myrtaceae) em igapó baixo e à direita *Eschweilera tenuifolia* (Família Lecythidaceae) e Myrtaceae em igapó médio. Fotos: P. E. De Oliveira.

4. MATERIAIS E MÉTODOS

4.1. Área de estudo

A área de estudo está localizada no Arquipélago de Mariuá, um dos maiores arquipélagos fluviais do mundo localizado no curso médio Rio Negro (Junk *et al.*, 2011). Situa-se no Município de Barcelos, (AM) próxima à divisa com o estado de Roraima (Fig. 2). A região é uma grande planície alagada pelo Rio Negro que forma intercalações entre ilhas e lagos onde ocorrem diferentes fisionomias de floresta de igapó, definida como floresta alagável em rios de água preta (Junk, 2020; Junk *et al.*, 2015).

Desde as campanhas de campo, já vinha sendo observado de forma preliminar que os tipos de vegetação pareciam ter mudanças significativas de acordo com o gradiente de inundação da área. Gradiente de inundação é a composição de todos os diferentes níveis de inundação a que estão sujeitas as áreas alagáveis, pode ser desde muitos metros de alagamento em uma determinada área, até menos de um metro de alagamento em outro lugar não muito distante (Lopes & Piedade, 2015). Esse parâmetro de inundação foi o que levou os botânicos do INPA a dividir as áreas do arquipélago entre Igapó Alto, Igapó Médio e Igapó Baixo.

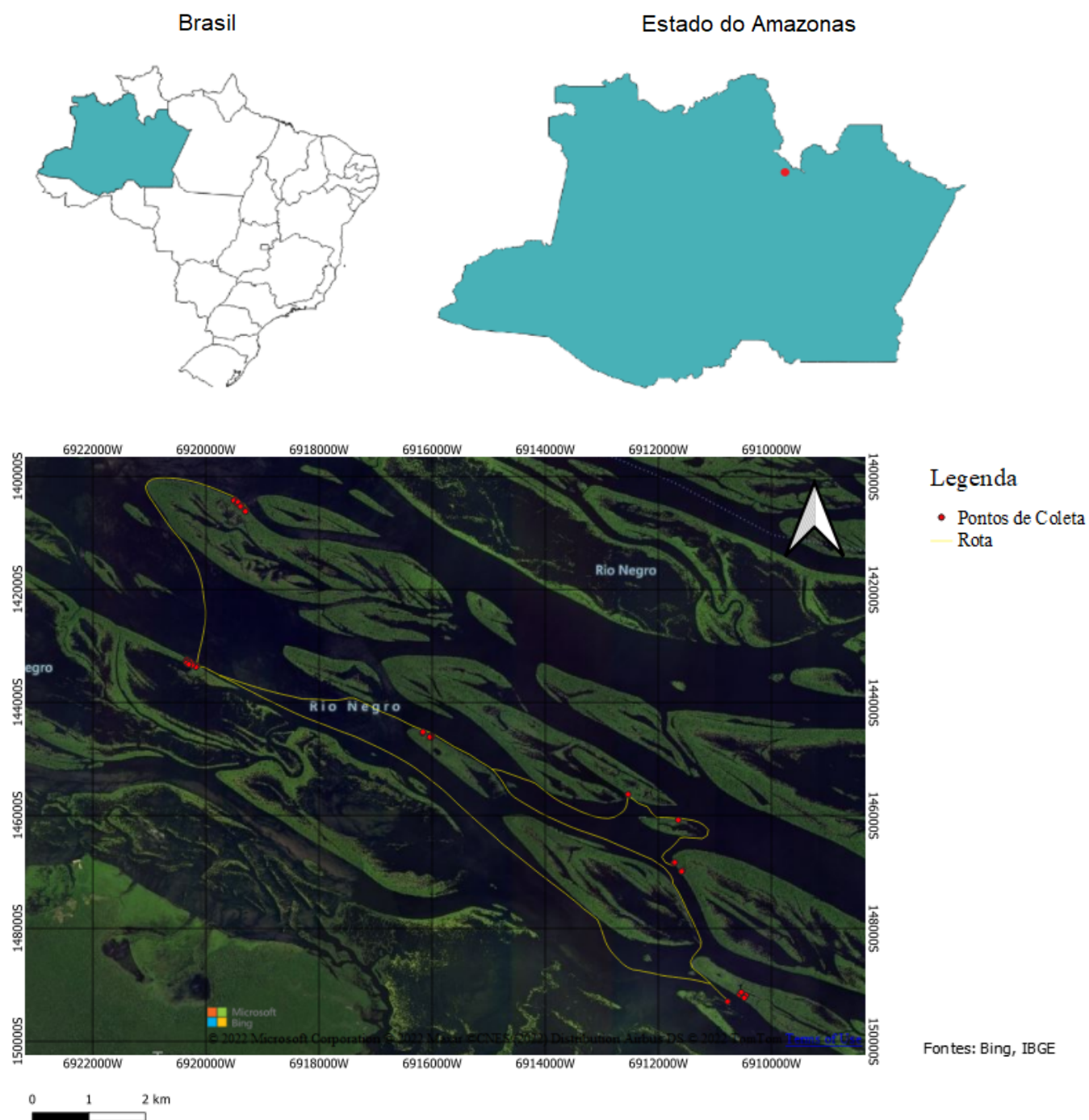


Figura 2. Mapa da localização da área de estudo no estado do Amazonas, Brasil e dos pontos de coleta de amostras de solo (círculos vermelhos) em áreas de florestas de igapó, dentro do sistema fluvial do médio Rio Negro.

4.2. Coleta de amostras de solos superficiais

A coleta de amostras de cerca de 500 gramas de solo superficial pelo prof. Paulo Eduardo de Oliveira, do Instituto de Geociências da USP (Fig. 3)., foi realizada na campanha de campo de novembro de 2021, do projeto FAPESP Proc. 2018/15123-4, intitulado “Perspectivas pretéritas sobre limiares críticos do sistema climático: a Floresta Amazônica e a célula de revolvimento meridional do Atlântico (PPTEAM)“, coordenado pelo professor Cristiano M. Chiessi (EACH/USP). A obtenção das amostras foi direcionada pela equipe de fitossociologia do Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia (INPA) em cada uma das diferentes fisionomias da floresta de igapó, ou seja, igapó baixo, médio e alto. Cada área de estudo (Igapós alto, médio e baixo) foi dividida em 8 parcelas de 25m x 25m para cada altura do rio para estudos fitossociológicos. As amostras de solo foram obtidas em 5 pontos diferentes de cada parcela, totalizando 500 gramas (Fig.4).



Figura 3. Coleta de amostras de solo superficial à esquerda. À direita, árvore emergente da espécie *Sloanea brachytepala* (Elaeocarpaceae) em igapó alto, em solos drenados e com menor influência das cheias.



Figura 4. As amostras de solo foram transportadas até o Laboratório de Micropaleontologia do IGc/USP para tratamento químico de extração polínica.

4.3. Palinologia

Foram utilizadas 37 amostras de solo superficial, divididas em 12 amostras de igapó alto, 13 amostras de igapó médio e mais 12 amostras de igapó baixo. As amostras de solo superficial de cada parcela fitossociológica foram homogeneizadas e sub amostradas com amostrador de 1 cm³. Em seguida, essas amostras foram transferidas para tubos de 15 ml e tratadas quimicamente conforme Colinvaux *et al.* (1999): a) adição de 1 pastilha do marcador exótico *Lycopodium clavatum* (Stockmarr, 1971) com concentração conhecida; b) remoção de carbonato dessas pastilhas com HCl 10%- (ácido clorídrico); c) dissolução de silicatos com HF (ácido fluorídrico 40%); d) eliminação de ácidos húmicos por KOH (hidróxido de potássio 5%) com aquecimento em banho-maria por 5 minutos, agitando-as constantemente; e) reação de acetólise (9 partes de anidrido acético:1 parte de ácido sulfúrico), em banho-maria por 5 minutos, que elimina o conteúdo orgânico dos palinomorfos, o que permite uma visualização de suas morfologias externas; f) interrupção da reação com ácido acético glacial concentrado, seguido de lavagem com água destilada e álcool absoluto e, finalmente, g) dispersão do resíduo final em glicerina.

Posteriormente as amostras foram colocadas em estufa por 8h a 45°C para a evaporação total do álcool. Para a montagem das lâminas foi utilizado uma gota de glicerina com o resíduo final sobre lâmina microscópica. Esta foi recoberta por lamínula, cujas bordas foram preenchidas com parafina líquida quente. As etapas de identificação, descrição e contagem dos grãos de pólen e esporos foram feitas em microscópio óptico Zeiss AxioLab com sistema de captura de imagens digitalizadas. As análises foram feitas sob aumentos de 63x e 100x (imersão em óleo). Para a identificação dos tipos polínicos foi utilizada a palinoteca

de referência do Laboratório de Micropaleontologia do Departamento de Geologia Sedimentar e Ambiental do IGc/USP. Essa palinoteca, uma das mais completas do Brasil em termos de representação polínica de elementos da flora brasileira, possui mais de 7.000 táxons polínicos dos mais variados ecossistemas brasileiros.

A identificação dos tipos polínicos também foi apoiada por consultas à literatura especializada tais como Salgado-Labouriau, (1973); Roubik & Moreno, (1991); Colinvaux *et al.* (1999); De Oliveira (1992), Lorente *et al.* (2017) entre outros. Foram contados no mínimo 300 grãos de pólen arbóreo por amostra. O espectro total de cada amostra foi quantificado em ervas terrestres e aquáticas, pólen arbóreo, herbáceo e lianas, assim como esporos de samambaias e algas.

4.4. Análises estatísticas

Os dados foram tratados estatisticamente através dos programas específicos Tilia, TiliaGraph (Grimm & Troostheide, 1994) e CONISS (Grimm, 1987) que geram valores percentuais e de concentração (número de grãos/cm³ de amostra) para cada táxon polínico. O subprograma CONISS permite através de análises estatísticas a delimitação de zonas paleoecológicas, referentes a mudanças ambientais locais.

Funções do programa Tilia/TiliaGraph também permitem através de análises estatísticas a delimitação de zonas paleoecológicas, referentes a mudanças ambientais locais. Os mesmos dados foram examinados pelo programa Past 4.03, onde foi feita a PCA (*Principal Component Analysis*) comparando diversas amostras dos diferentes estudos apresentados anteriormente, que agrupa os diferentes espectros polínicos com relação à sua composição florística e numérica e usa dados quantitativos e medidas de dissimilaridade de distância euclidiana.

5. RESULTADOS

5.1. Levantamento dos táxons de igapó

A etapa de revisão taxonômica, preliminar, foi feita utilizando a palinoteca de referência do Laboratório de Micropaleontologia do Departamento de Geologia Sedimentar e Ambiental do IGc/USP, que conta com mais de 7000 táxons polínicos dos mais variados ecossistemas brasileiros, além do apoio por consultas à literatura especializada tais como Roubik & Moreno, (1991); Colinvaux *et al.* (1999); De Oliveira (1992), Lorente *et al.* (2017) e também o banco de dados palinológicos do *Florida Institute of Technology* (FIT), disponível digitalmente com acesso no Laboratório de Micropaleontologia.

Durante a etapa de identificação dos palinomorfos, vários táxons encontrados no levantamento florístico (material complementar) foram reconhecidos, alguns com concentração significativa e outros um pouco menos expressivos. Além destes, dezenas de

outros tipos foram identificados e fotografados na microscopia óptica através do programa ZEN 3.5 (*Blue edition*), onde foi realizado todo o tratamento de imagem para as múltiplas checagens de identificações e comparações de pranchas polínicas disponíveis na palinoteca, em bancos de dados e na bibliografia.

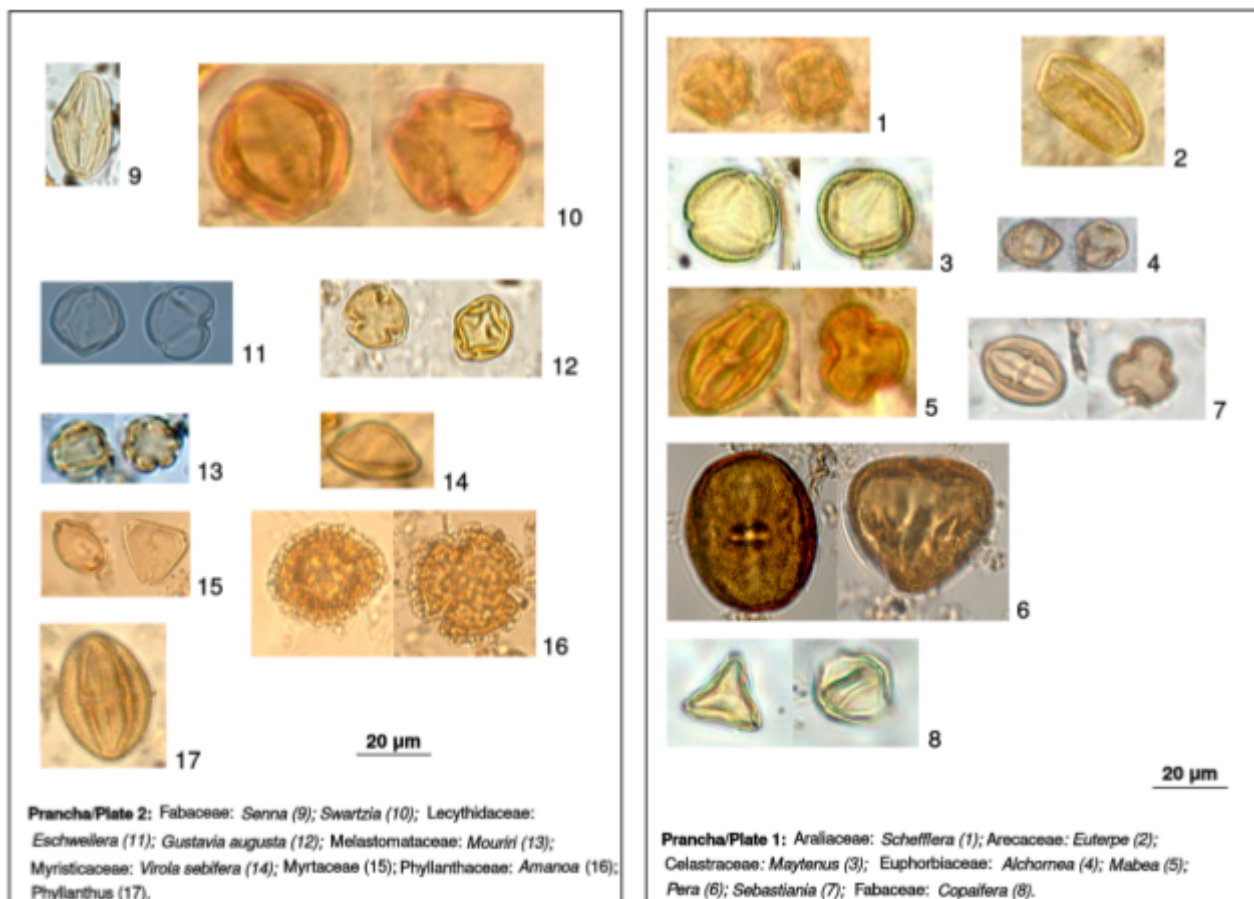


Figura 5. Tipos polínicos principais, encontrados no levantamento taxonômico preliminar das amostras de solo superficial do Arquipélago de Mariuá.

Observou-se que alguns táxons polínicos têm boa representação percentual nos três tipos de igapó, tais como *Alchornea*, *Sebastiania*, *Eschweilera*, *Melastomataceae*, Fabaceae, *Pera*, Moraceae/Urticaceae, *Pouteria* e *Swartzia*.

5.2. Palinologia em amostras de solo superficiais do Arquipélago de Mariuá

A análise palinológica das 37 amostras de solo superficial dos três tipos de igapó revelou a presença de 68 táxons polínicos, dos quais 61 refletem elementos arbóreos, 4 representam palmeiras e 3 são de ervas de igapó. O diagrama polínico de porcentagem de todos os táxons encontrados nas 37 amostras é apresentado na Fig. 6. Nele com destaque aos agrupamentos das categorias de hábito tais como árvores e arbustos, palmeiras e herbáceas estão apresentados: amostras de 1 a 12 representam solo superficial de igapó baixo, 13 a 24, igapó médio e de 25 a 37, igapó alto.

5.1.1 Agrupamento Igapó Baixo, amostras 1 a 13

O registro polínico neste agrupamento mostra que o grupo arbóreo é predominante (96%) quando comparado com palmeiras (2%) e ervas (2%). O seu registro palinológico mostra que o componente arbóreo compreende predominantemente *Sebastiania* (6- 21%), *Amanoa* (0 - 20%), *Mabea* (1 - 15%), *Alchornea* (4 - 12%), Euphorbiaceae (0 - 9%), Melastomataceae (2 - 10%), *Eugenia/Myrcia* (1 - 10%), possivelmente oriundos de *Eugenia inundata*, *Ilex* (2 - 7%) e (0 - 6%), com algumas *Dicorynia* (0 - 6%), *Swartzia* (0 - 5%), *Phyllanthus* (0 - 4%) e poucas *Virola* (0 - 3%), Sapotaceae (0 - 3%). O grupo das palmeiras é dominado por *Mauritia*, *Euterpe*, *Geonoma* e outros táxons da família da Arecaceae, enquanto o grupo herbáceo é caracterizado por Poaceae, Cyperaceae e *Sagittaria* com suas concentrações gerais mais baixas que 1%. Este agrupamento contém ~2% de esporos de samambaia (Fig. 6). Destaca-se a ausência de *Senna*, *Heterostemon*, gêneros de Rutaceae, *Sapium* e *Schefflera*, que com um levantamento bibliográfico minucioso pode revelar informações importantes sobre os tipos de sucessionais que não estão associados à vegetação do igapó baixo. Em relação às plantas aquáticas, nota-se a presença exclusiva de *Sagittaria* nas amostras deste nível mais inundado da floresta, que pode ser explicada pela presença de maior área submersa, colonizada por arbustos de *Eugenia inundata* e que pode excluir a ocorrência de gramíneas que, por sua vez, não aparecem nas contagens. A predominância de *Amanoa* nas amostras de igapó baixo é explicada pelo fato que este táxon é tolerante a longos períodos de inundação (Junk *et al.*, 1989).

5.1.2 Agrupamento Igapó Médio, amostras 14 a 23

As amostras de Igapó Médio revelam conjuntos de pólen caracterizados por ca. 80% de táxons florestais de igapó, 12% de táxons herbáceos e 3% de esporos de samambaias <2% de palmeiras, com variações consideráveis na abundância relativa entre os táxons florestais e herbáceos. Os táxons mais representativos são *Sebastiania* e *Alchornea* (9 e 10%, respectivamente), com algumas Myrtaceae (1 - 8%), *Sapium* sp. (3 - 6%), Melastomataceae (1 - 8%), *Pouteria* (1 - 7%), *Amanoa* sp. (1 - 6%), *Trema* sp. (0 - 5%), Euphorbiaceae (0 - 5%), Fabaceae (1 - 4%), *Phyllanthus* (1 - 4%), *Eugenia inundata* (0 - 4%), *Cupania* (0 - 4%), *Acalypha* (0 - 3%), *Campsiandra* (0 - 3%), *Heterostemon* (0 - 3%) e *Celtis* (0 - 3%), *Eschweilera* (0 - 2%), *Apeiba* (0 - 2%), Moraceae (0 - 2%), *Byrsonima* (0 - 2%), *Virola* sp. (0 - 2%), *Schefflera* (0 - 2%), Sapotaceae (0 - 2%) e *Protium* (0 - 2%). O hábito herbáceo é dominado por Poaceae (3 - 36%), com táxons aquáticos como *Cyperus* (2 - 8%), Cyperaceae (1 - 4%) e *Sagittaria* (0 - 4%) (Fig. 6).

5.1.3 Agrupamento Igapó Alto, amostras 24 a 37

As amostras de Igapó Alto revelam conjuntos de pólen caracterizados por ca. 95 % de táxons florestais de igapó, 1 % de táxons herbáceos e 2 % de esporos de samambaias <2% de palmeira. Entre os táxons arbóreos mais representativos são *Eschweilera* (7 - 10%), *Sebastiania* (5 - 13%), *Sloanea* (4 - 10%), Fabaceae (5 - 9%), Euphorbiaceae (4 - 10%),

Alchornea (3 - 8%), *Melastomataceae* (0 - 10 %), *Mabea* (0 - 10%), *Swartzia* (0 - 5%) e *Phyllanthus* (0 - 4%). O grupo das palmeiras é dominado por *Mauritia*, *Euterpe*, *Geonoma* e outros táxons da família da *Arecaceae*., enquanto o grupo herbáceo é caracterizado pelos táxons aquáticos *Sagittaria*, *Poaceae* e *Cyperaceae* e com suas concentrações gerais mais baixas que 1%.

Nos espectros palinológicos das amostras do igapó alto destaca-se a presença praticamente exclusiva de *Copaifera*, táxon sucessional tardio (Wittmann *et al.*, 2010), em concordância com o observado em campo e descrito no inventário florístico. A palmeira *Euterpe* também é um táxon com mais exclusividade no igapó alto, possivelmente explicado pelo fato que é um gênero de palmeiras encontrado mais comumente em solos bem drenados, e outros táxons com maior representação neste tipo de igapó são *Heterostemon* e *Senna*, que também ocorrem no igapó médio.

Em resumo, as amostras de igapó alto possuem mais semelhanças com as amostras de igapó médio, com elementos arbóreos de sucessões mais tardias e sinais polínicos de diversos táxons simpátricos.

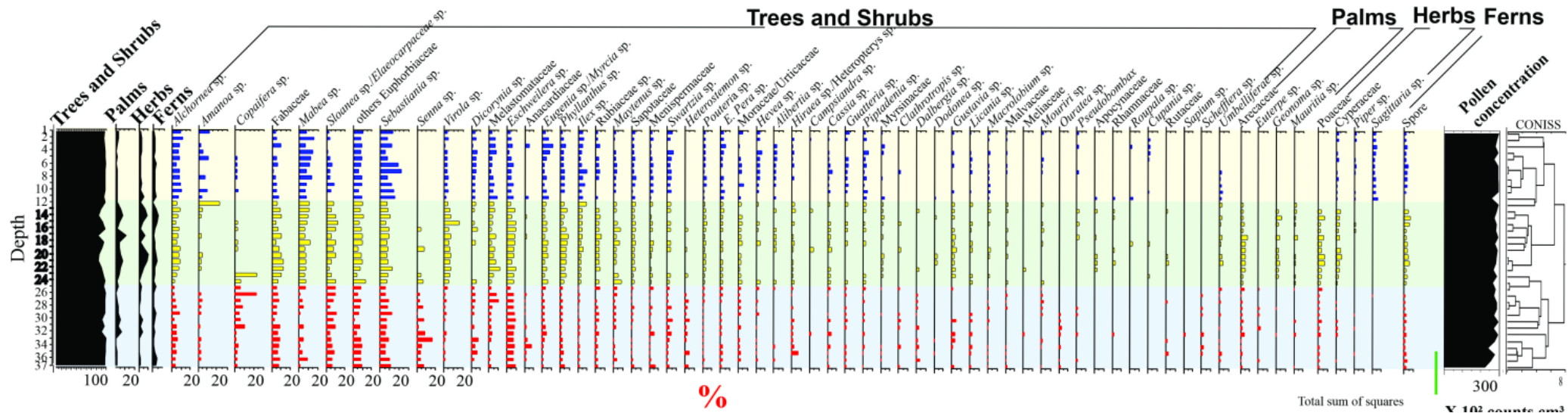


Figura 6. Diagrama polínico completo com diferenciação entre os três tipos de Igapó: igapó baixo, em amarelo, amostras de 1 a 12; igapó médio, em verde, amostras 13 a 24; igapó alto, em azul, amostras 25 a 37. As concentrações de todos os táxons polínicos reconhecidos são apresentados em porcentagem. Ao lado direito, o dendrograma gerado pelo subprograma CONISS.

5.3. PCA dos espectros polínicos modernos do igapó baixo, médio e alto

A PCA dos sinais palinológicos modernos dos três tipos de igapó indicam a separação dos espectros em três clusters, apresentados na Fig. 7. Nota-se uma clara delimitação do sinal palinológico em três agrupamentos principais, com alguns outliers e pouca superposição. A maior superposição de amostras dos igapós médio e alto no diagrama de dispersão é explicada pelo maior número de táxons que ocorrem em ambos os tipos de vegetação, fenômeno observado anteriormente na Figura 7.

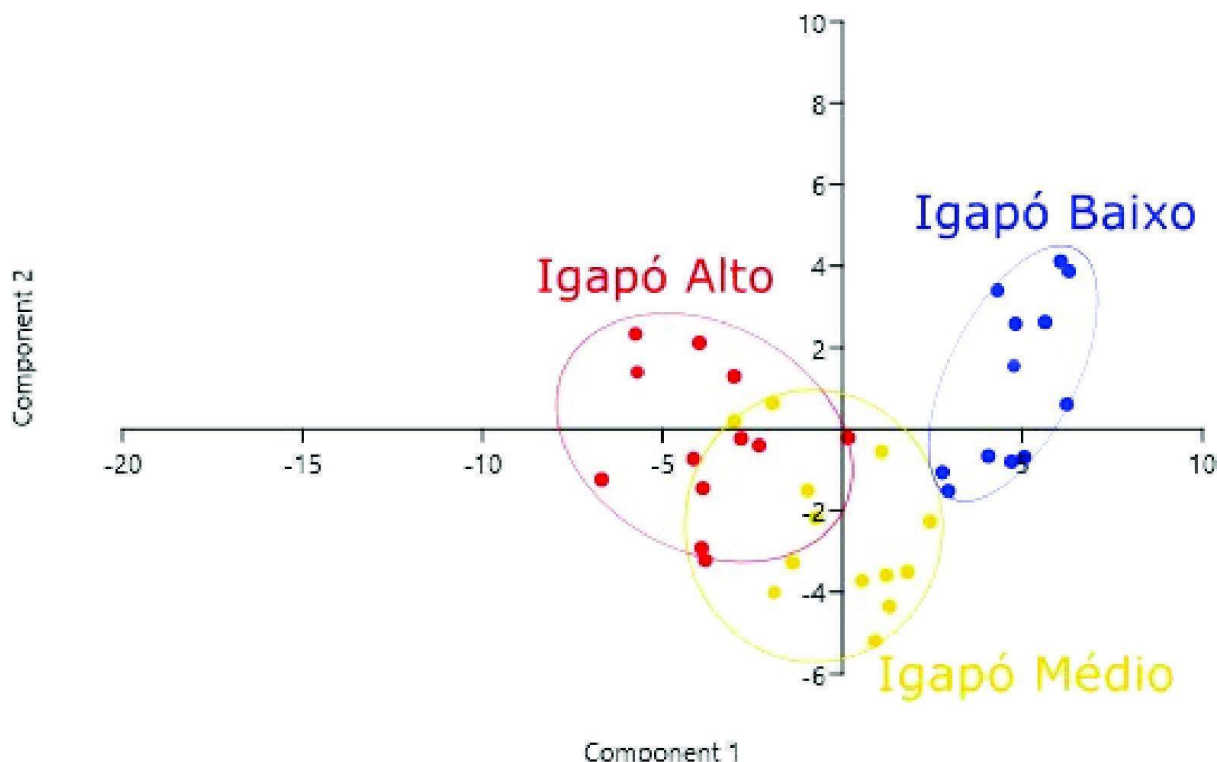


Figura 7. PCA dos sinais palinológicos modernos encontrados em amostras de solo superficial dos três tipos de igapó do Arquipélago de Mariuá, Amazonas. Nota-se um isolamento florístico/espacial entre os três tipos de fisionomia de igapó.

A separação em agrupamentos dos táxons é explicada principalmente pela contribuição de *Alchornea*, *Amanoa*, *Eugenia*, *Hevea*, *Ilex*, *Mabea*, *Sebastiania*, que definem espectros do igapó baixo (valores positivos), em contraste com os tipos polínicos *Copaifera*, *Eschweilera*, *Fabaceae*, *Sloanea* e *Senna* (valores negativos), que tendenciam os dados para valores mais negativos e revelam, portanto, quais táxons são mais decisivos para diferenciar principalmente o igapó alto do igapó baixo (Figura 8). Na Amazônia central, o gênero *Eschweilera* é abundante se estabelecendo acima de um nível médio de inundação de 3 m, porém devido às fases terrestres relativamente longas, regeneram durante a maior parte do ano, resultando em um sub-bosque caracteristicamente denso (Wittmann *et al.*, 2011).

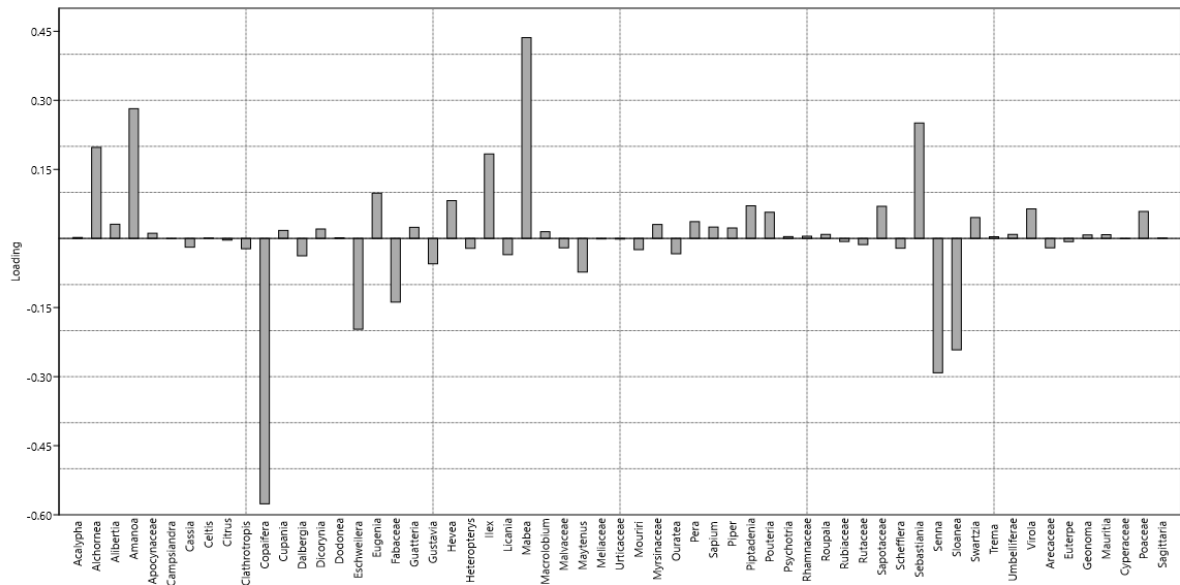


Figura 8. Diagrama do PCA com os táxons mais representativos de valores negativos (Influenciados pelo igapó alto) e positivos (com influência do igapó baixo).

5.4. Comparação de assinaturas polínicas modernas na Bacia Amazônica

As assinaturas polínicas obtidas por Akabane et al. (2020) em sedimentos de vários sistemas fluviais da Amazônia e sua comparação com espectros modernos da floresta de igapó do Arquipélago de Mariuá são apresentadas no diagrama de dispersão da Figura 9. Nele, as amostras superficiais coletadas no Rio Negro (pontos em preto) estão próximas aos sinais dos três tipos de igapó (pontos amarelos, vermelhos e azuis), enquanto outras amostras coletadas ao longo da a bacia Amazônica (pontos em roxo), apresentam maior espalhamento dos dados como reflexo das altas variações florísticas em cada rio.

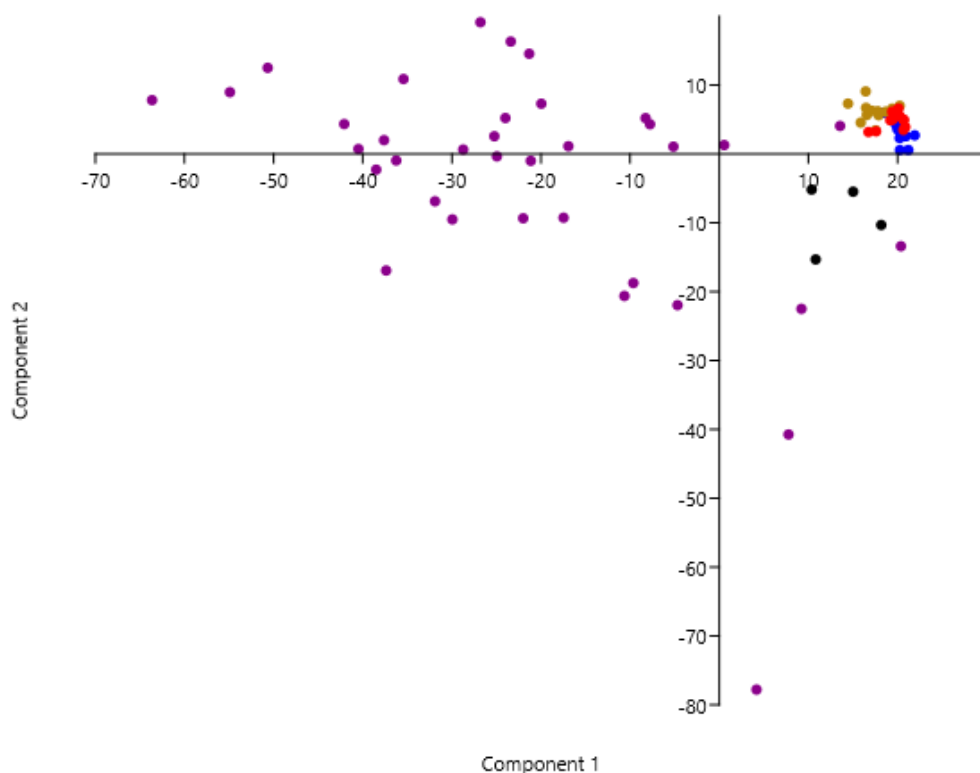


Figura 9. PCA de sinais palinológicos modernos no arquipélago fluvial de Mariuá, em comparativo com sinais espalhados ao longo da bacia amazônica, em roxo. Os pontos destacados em preto são de amostras do Rio Negro (Akabane et al., 2019), enquanto os pontos em azul, amarelo e vermelho referem-se, respectivamente, aos igapós baixo, médio e alto.

5.5. Registro paleovegetacional da floresta de igapó, Anavilhanas, Amazonas

O registro sedimentar da Lagoa do Pacú (testemunho NGR07), analisado pela Dra. Érika Rodrigues, com espessura de 6,80 metros, foi depositado ao longo dos últimos 10.000 anos (Fig. 10). Os resultados dessa análise foram disponibilizados para uma comparação estatística de similaridade.



Figura 10. A coleta do perfil sedimentar do Lago do Pacú, de 7 metros de espessura (catalogado sob o código NGR07), foi realizada pelos professores Paulo E. De Oliveira e Cristiano Chiessi com o emprego do amostrador de Livingstone modificado por Colinvaux & Vohnout (Colinvaux et al., 1999). À direita, seção do perfil sedimentar, cuja base foi datada em ca. de 10.000 anos AP (Rodrigues, comunicação pessoal). Fotos: Paulo E. De Oliveira.

Os espectros palinológicos provenientes das amostras de solo superficial das parcelas de igapó foram comparados estatisticamente com as assinaturas polínicas encontradas ao longo dos últimos 10.000 anos dados em revisão para publicação. Os resultados da Análise por Componente Principal entre esses dois conjuntos de assinaturas polínicas são apresentados na Figura 11.

O diagrama de dispersão resultante e a divisão dos seus agrupamentos revela que diferentes intervalos de profundidade do testemunho, sem nenhuma sobreposição, possuem características de vegetação restritas entre si. As amostras das profundidades iniciais (0 - 110 cm) praticamente se sobrepõem às amostras do igapó baixo, mostrando alta semelhança entre os sedimentos mais recentes com essa fisionomia da floresta. O intervalo de profundidade entre 480 e 600 cm, por outro lado, se distancia bastante do restante do testemunho e das amostras superficiais, nas duas componentes principais da análise.

Isso sugere uma quebra no padrão florístico de Anavilhanas a partir da profundidade de 110 cm, onde o sedimento passa a ter menor semelhança com as amostras superficiais, e também um padrão florístico diferente entre as profundidades de 480 e 600 cm que aparenta ter uma correlação menor ainda até mesmo com as amostras do próprio testemunho. Essas

variações também vêm sendo observadas em outras áreas do Rio Negro onde baseados na pesquisa da Dra. Érika Rodrigues utilizando pólen, diatomáceas e dados estratigráficos em sedimentos do Arquipélago de Anavilhanas - baixo Rio Negro foi possível observar oscilações em escala centenária nos níveis dos lagos sugerindo variações climáticas/hidrológicas significativas nos últimos 6000 anos.

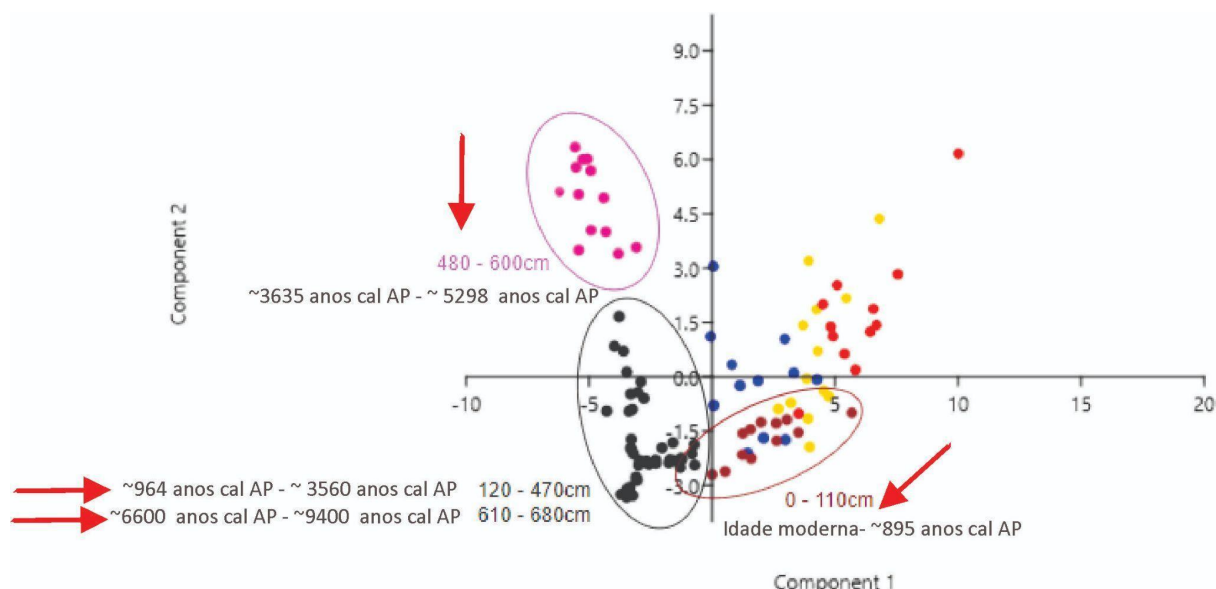


Figura 11. Divisão em *clusters* dos sinais obtidos no testemunho NGR07, com suas respectivas profundidades, modelo de idade-profundidade e correlação com as amostras de igapó alto, médio e baixo (vermelho, amarelo e azul, respectivamente). O modelo idade-profundidade (NGR07) foi desenvolvido com o script R BACON versão 2.2 (Blaauw & Christen, 2011) e a curva de calibração IntCal13 (Reimer *et al.*, 2013) com uma idade de correção do reservatório de ± 30 anos (erro 1σ).

6. INTERPRETAÇÃO E DISCUSSÃO

As análises de sedimentos superficiais em diferentes sistemas fluviais da Bacia Amazônica, realizadas por (Akabane *et al.*, 2020) mostram uma alta variabilidade palinoflorística que reflete os grandes compartimentos geomorfológicos em escala continental. Os dados palinológicos mostram que os espectros do Rio Negro delimitam um tipo de vegetação muito característica e diagnóstica, com uma restrição e especialização. Isso é explicado pelas estratégias ecológicas de espécies desenvolvidas para viver, em alguns casos, completamente submersas. Sob essa perspectiva, percebe-se que nos últimos 800 anos, a vegetação do Rio Negro assemelha-se mais com as assinaturas modernas das diferentes fisionomias modernas do igapó do arquipélago de Mariuá, como mostra as análises de PCA (Fig. 11). Segundo Soares *et al.* (2022), os últimos 750 anos da história do arquipélago de Anavilhanas é caracterizado por um dos períodos mais úmidos do de praticamente todo o Holoceno, o que favoreceu o desenvolvimento florestal graças à maior absorção de Carbono em fases mais úmidas (Gatti *et al.*, 2014, 2021). Esta fase,

claramente visualizada no *scattergram* do PCA da fig. 11, portanto, pode ser interpretada como uma época de aumento da produtividade biológica e expansão da vegetação de igapó dentro, com as variadas fisionomias de igapó baixo, médio e alto, dentro do sistema fluvial do Rio Negro. Por outro lado, durante o Holoceno Médio, representado por dois *clusters* de amostras (pontos escuros e pontos rosas) nota-se um quadro paleoambiental muito diferente do obtido nos últimos 800 anos. O isolamento dos espectros modernos e seu distanciamento das assinaturas polínicas dos sedimentos do Lago do Pacú, revelado pelos *clusters* de idade 3600-5300 e 6600 anos cal. AP, sugere uma paisagem florestal com outra composição florística, mais parecida com a de florestas de terra-firme durante o Médio Holoceno. Para et al. (2019), o período entre 3.500 e 6.500 anos cal. AP, é definido como uma ampla fase com clima mais seco e níveis mais baixos da coluna de água fluvial. Dessa forma, ao considerar o registro palinológico que indica a presença predominante de táxons de terra firme no perfil sedimentar do Lago do Pacu (dados ainda não publicados), pode-se sugerir um avanço da floresta de terra firme em detrimento da vegetação de igapó. Segundo Cordeiro et al. (2023) essa fase é caracterizada por aumento no sinal de plantas C4, que é facilmente aqui interpretado sob a luz de alterações sucessionais no vale fluvial do Rio Negro, com a ocupação oportunista de gramíneas C4, durante essa fase de substituição de floresta de igapó por terra firme.

7. CONCLUSÕES

A análise de sinais palinológicos de solos superficiais do sistema de igapó do Rio Negro, Amazonas, empregado como proxy para fisionomias vegetacionais pretéritas, mostrou-se como um instrumento bioindicador robusto em análises paleoambientais, lançando luz sobre possíveis respostas às mudanças nos ecossistemas aquáticos e terrestres da Amazônia central. Abaixo são apresentadas as mais importantes conclusões deste estudo:

A) As assinaturas palinológicas obtidas de solos superficiais em três fisionomias distintas da floresta de igapó, correlacionadas com o grau de drenagem desses compartimentos, mostrou composições florísticas diferenciadas,

B) A distinção palinológica entre essas assinaturas é explicada pelo fato de que nos igapós baixos, há o predomínio de táxons adaptados a longos períodos de inundação, como por exemplo as árvores abundantes de *Eugenia inundata*. O igapó médio, por outro lado, tem como elemento arbóreo predominante as espécies do gênero *Eschweilera*, adaptados a um regime menor de flutuação do nível d'água. Por fim, o igapó alto, por possuir solos mais bem drenados, é caracterizado por elementos arbóreos emergentes, composto por árvores gigantescas, especialmente do gênero *Sloanea*,

C) A comparação entre os sinais palinológicos obtidos a partir da análise de solos superficiais com espectros polínicos em sedimentos lacustres, datados pelo método do ^{14}C , mostrou que essa técnica tem robustez estatística, de forma que pode fornecer importantes subsídios a uma melhor interpretação da paleovegetação,

D) A análise estatística por Componente Principal (PCA) dos dados obtidos da comparação das assinaturas modernas e fósseis do perfil do Lago do Pacú, permitiu avaliar o impacto das mudanças climáticas, principalmente nos últimos 800 anos cal. AP e na fase do Holoceno Médio,

E) A partir desse estudo, propõe-se para os últimos 800 anos, uma fase vegetacional marcada pela expansão da vegetação de igapó, associada com um aumento generalizado da precipitação nos sistemas de igapó do Alto Rio Negro, conforme apontam vários estudos geoquímicos,

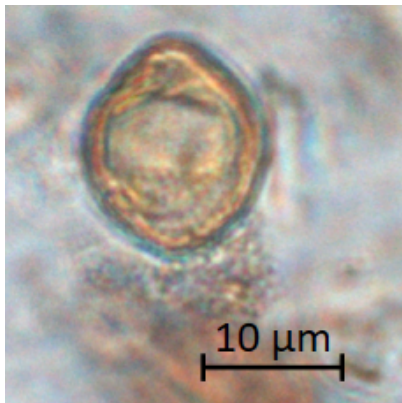
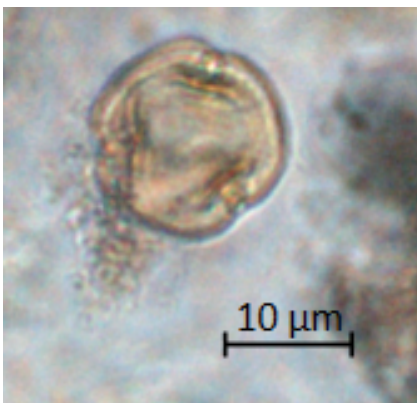
F) O Holoceno Médio, a partir das análises palinológicas fósseis e modernas, é interpretado como uma fase com clima menos úmido e com expansão da Floresta de Terra Firme, adaptada a solos mais bem drenados.

8. REFERÊNCIAS

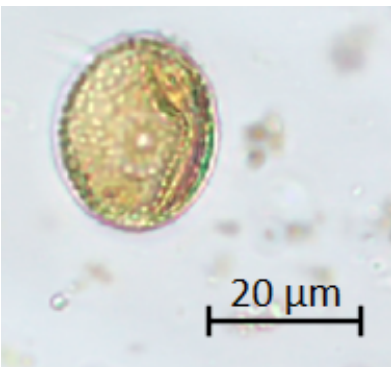
- Akabane, T.K., 2019, Modern pollen signatures of the Amazon River and major tributaries [Dissertação de Mestrado]: Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo.
- Akabane, T. K. et al., 2020, Modern pollen signatures of Amazonian rivers and new insights for environmental reconstructions. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, v. 554, no. 109802. doi: <https://doi.org/10.1016/j.palaeo.2020.109802>.
- Blaauw, M., Christen, J.A., (2011). Flexible paleoclimate age-depth models using an autoregressive gamma process. *Bayesian Anal.* 6, 457e474. doi: <https://doi.org/doi:10.1214/11-BA618>.
- Cassino, R.F., Ledru, M.P., 2021, Quantitative reconstruction of vegetation cover from modern pollen rain in the Cerrado biome of Brazil. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 574. 101462. doi: <https://doi.org/10.1016/j.palaeo.2021.110462>.
- Colinvaux, P., De Oliveira, P.E., Patiño, J.E.M., 1999, Amazon Pollen Manual and Atlas. Hardwood Academic Press, New York. 332 p.
- Cordeiro, R. C., Maia, C. R., Moreira, L. S., Turcq, B., Moreira-Turcq, P., Aniceto, K. C. P., & Sanders, C. (2023). Paleoenvironmental Changes in a Lower Rio Negro Amazon Floodplain Lake (Anavilhanas Archipelago) Over the Last 4500 Years. Available at SSRN 4605495 doi: <http://dx.doi.org/10.2139/ssrn.4605495>.
- De Oliveira, P.E., 1992, A palynological record of Late Quaternary vegetational and climatic change in southeastern Brazil [Tese de Doutorado]: The Ohio State University, Columbus, Ohio, EUA.
- Ferreira, L.V., 1997, Effects of the duration of flooding on species richness and floristic composition in three hectares in the Jaú National Park in floodplain forests in central Amazonia. *Biodiversity & Conservation*, v. 6, p. 1353-1363.
- Ferreira, L. V., Almeida, S. S., Amaral, D. D., Parolin, P., 2005, Riqueza e composição de espécies da floresta de igapó e várzea da Estação Científica Ferreira Penna: subsídios para o plano de manejo da Floresta Nacional de Caxiuanã. *Pesquisas, Sér Bot*, v. 56, p. 103-116.
- Furch, K., 1997, Chemistry of várzea and igapó soils and nutrient inventory of their floodplain forests. In: *The central amazon floodplain*. Springer, Berlin, Heidelberg, p. 47-67.
- Gatti, L. V., Basso, L. S., Miller, J. B., Gloor, M., Gatti Domingues, L., Cassol, H. L., & Neves, R. A. (2021). Amazonia as a carbon source linked to deforestation and climate change. *Nature*, 595(7867), 388-393. doi: <https://doi.org/doi:10.1038/s41586-021-03629-6>.
- Gatti, L. V., Gloor, M., Miller, J. B., Doughty, C. E., Malhi, Y., Domingues, L. G., & Lloyd, J. (2014). Drought sensitivity of Amazonian carbon balance revealed by atmospheric measurements. *Nature*, 506(7486), 76-80. doi: <https://doi.org/doi:10.1038/nature12957>.
- Grimm, E.C., 1987b, CONISS: Textbook of Polen Analyses: New York, Ed. Wiley.
- Grimm, E.C., Troostheide, C. D., 1994, Tilia 2.00, program for plotting palynological diagrams. Springfield: Illinois State Museum.
- Hida, N., 1997, Notes on Annual and Daily Water Level Changes at Breves and Caxiuanã, Amazon Estuary. pp: 97-103. *Os Sedimentos de Fundo da Baía de Caxiuanã*. Em Caxiuanã; Ed: Pedro L.B. Lisboa. Museu Paraense Emílio Goeldi. 442p.
- Junk, W.J., 1989, Flood tolerance and tree distribution in central Amazonian floodplains, *in Tropical Forests*, Elsevier, v. 44, p. 47-64. doi: <https://doi.org/doi:10.1016/B978-0-12-353550-4.50012-5>.
- Junk, W.J., Piedade, M.T.F., Schöngart, J., Cohn-Haft, M., Adeney, J.M., and Wittmann, F., 2011, A classification of major naturally-occurring amazonian lowland wetlands: *Wetlands*, v. 31, p. 623-640. doi: <https://doi.org/doi:10.1007/s13157-011-0190-7>.
- Junk, W. J., Wittmann, F., Schöngart, J., & Piedade, M. T. (2015). A classification of the major habitats of Amazonian black-water river floodplains and a comparison with their white-water counterparts. *Wetlands Ecology and Management*, 23, 677-693. doi: <https://doi.org/doi: 10.1007/s11273-015-9412-8>.
- Junk, W. J., Piedade, M. T. F., Wittmann, F., & Schöngart, J., 2020, Várzeas Amazônicas: Desafios para um Manejo Sustentável.

- Lobo, G. D. S. (2017). A alteração do regime hidrológico afeta a composição florística e estrutura de florestas de igapó? Um estudo comparativo entre um rio regulado e outro prístino na Reserva de Desenvolvimento Sustentável do Uatumã, Amazônia Central.
- Lopes, A., Piedade, M. T. F., 2015, Conhecendo as áreas úmidas amazônicas: uma viagem pelas várzeas e igapós. Editora INPA.
- Lorente, F.L., Buso Junior, A.A., de Oliveira, P.E., and Pessenda, L.C.R., 2017, Atlas Palinológico: FEALQ, 333 p. doi: <http://fealq.org.br/produto/atlas-palinologico/>.
- Mendes, A. C., Truckenbrodt, W. H. W., & Nogueira, A. C. R., 2012, Análise faciológica da Formação Alter do Chão (Cretáceo, Bacia do Amazonas), próximo à cidade de Óbidos, Pará, Brasil. *Revista Brasileira de Geociências*, v.42, n.1. doi: <https://doi.org/10.25249/0375-7536.20124213957>.
- Montade, V., Ledru, M.P., Giesecke, T., Flantua, S.G.A., Behling, H., Peyron, O., 2019, A new modern pollen dataset describing the Brazilian Atlantic Forest. *The Holocene* 29(8) 1253–1262. <https://doi.org/10.1177/0959683619846>
- Nascimento, M. N., Martins, G. S., Cordeiro, R. C., Turcq, B., Moreira, L. S., & Bush, M. B. (2019). Vegetation has been responding to climatic changes in western Amazonia over the last 7,600 years. *Journal of Biogeography*, 46(11), 2389-2406. doi: <https://doi.org/doi:10.1111/jbi.13704>.
- Pires, M. J.; O' Brien, C. M., 1995, Ecologia e modelamento de florestas tropicais FCAP. Serviço de Documentação e Informação. 400p.
- Reimer, P. J., Bard, E., Bayliss, A., Beck, J. W., Blackwell, P. G., Ramsey, C. B., & Van Der Plicht, J. (2013). IntCal13 and Marine13 radiocarbon age calibration curves 0–50,000 years cal BP. *radiocarbon*, 55(4), 1869-1887. https://doi.org/10.2458/azu_js_rc.55.16947
- Roubik, D. W. et al., 1991, Pollen and spores of Barro Colorado Island [Panama]. Pollen and spores of Barro Colorado Island [Panama], v. 36.
- Salgado-Labouriau, M.L., 1973, Contribuição à palinologia dos cerrados: Rio de Janeiro, Academia Brasileira de Ciências, 291 p.
- Soares, J. H., Moreira, L. S., Turcq, B., Moreira-Turcq, P., Sifeddine, A., Dornellas, N., & Cordeiro, R. C., 2022, Development of lacustrine primary productivity in the Amazon Basin during the Holocene. *The Holocene*, 32(7), 639-649. doi: <https://doi.org/doi:10.1177/09596836221088233>.
- Stadtler, E. W. C., 2007, Estimativas de biomassa lenhosa, estoque e seqüestro de carbono acima do solo ao longo do gradiente de inundação em uma floresta de igapó alagada por água preta na Amazônia Central.
- Scudeller, V.V., and Vegas-Vilarrúbia, T., 2018, Distribution and β -diversity of tree species in igapó forests (Negro River basin, Brazilian Amazon) (M. De Cáceres, Ed.): *Journal of Vegetation Science*, p. 0–2, doi: <https://doi.org/doi:10.1111/jvs.12680>.
- Shaw, H., & Whyte, I. (2020). Interpretation of the herbaceous pollen spectra in paleoecological reconstructions: A spatial extension of Indices of Association and determination of individual pollen source areas from binary data. *Review of palaeobotany and palynology*, 279, 104238. doi: <https://doi.org/10.1016/j.revpalbo.2020.104238>.
- Stockmarr, J. (1971). Tables with spores used in absolute pollen analysis. *Pollen et spores*, 13, 615-621.
- Wittmann, F., Schöngart, J., and Junk, W.J., 2011, Amazonian Floodplain Forests: v. 210, doi: <https://doi.org/10.1007/978-90-481-8725-6>.
- Wittmann, F.; Schöngart, J.; Junk, W.J. 2010. Phytogeography, species diversity, community structure and dynamics of Central Amazonia Floodplain forests, in Junk, W.J.; Piedade, M.T.F.; Wittmann, F.; Schöngart, J. & Parolin, P. (Eds.). Amazonian Floodplain Forests: Ecophysiology, Biodiversity and Sustainable Management. Ecological Studies, Springer Dordrecht, Heidelberg, London, New York. 62-101pp.
- Wittmann, F., Schöngart, J., Montero, J.C., Motzer, T., Junk, W.J., Piedade, M.T.F., Queiroz, H.L., and Worbes, M., 2006, Tree species composition and diversity gradients in white-water forests across the Amazon Basin: *Journal of Biogeography*, v. 33, p. 1334–1347, doi: <https://doi.org/10.1111/j.1365-2699.2006.01495.x>
- Worbes, M., Klinge, H., Revilla, J.D., and Martius, C., 1992, On the dynamics, floristic subdivision and geographical distribution of várzea forests in Central Amazonia: *Journal of Vegetation Science*, v. 3, p. 553–564. doi: <https://doi.org/doi:10.2307/3235812>.

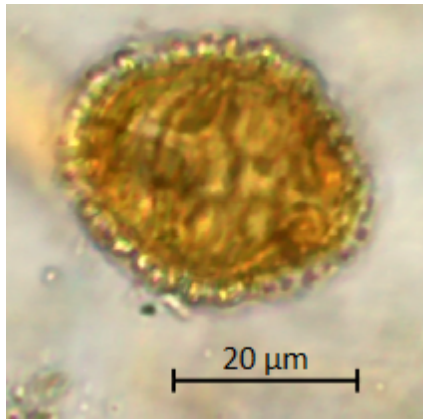
PRANCHA 1



Alchornea



Alibertia

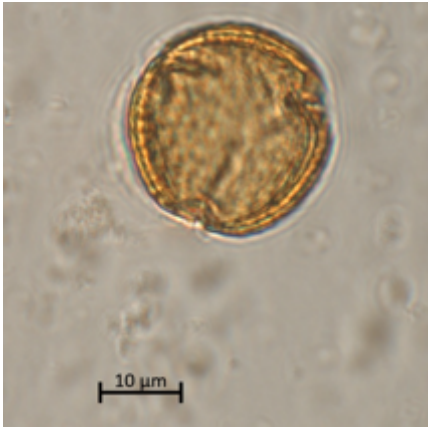


Amanoa

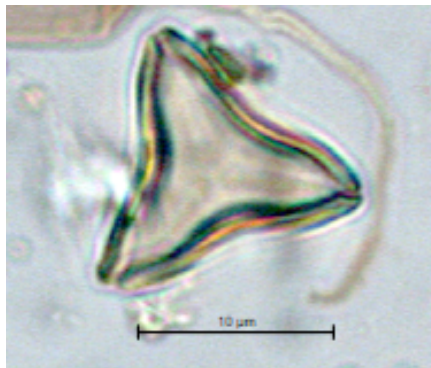
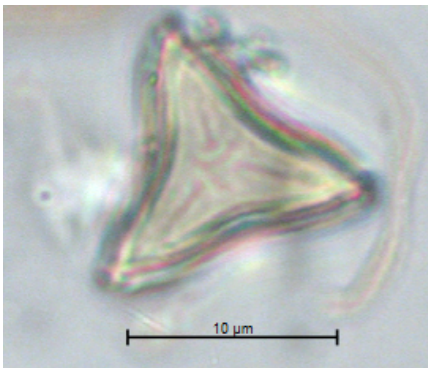


Cassia

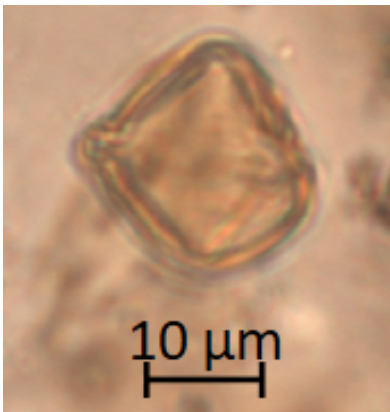
PRANCHA 2



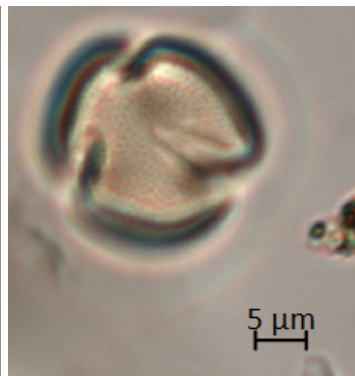
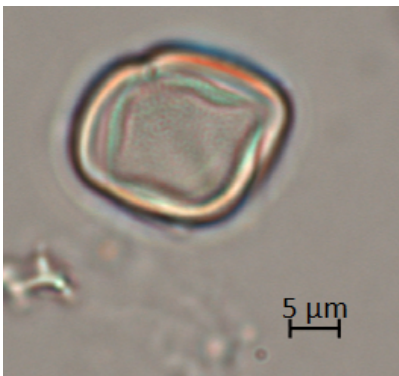
Clathrotropis



Copaifera



Dalbergia



Eschweilera

PRANCHA 3



Guatteria

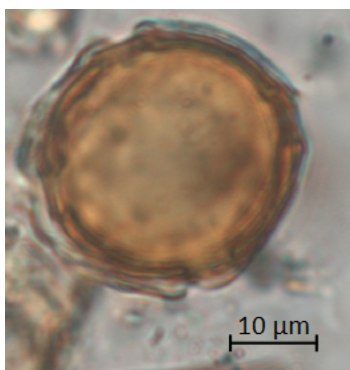


Heterostemon



Hevea

PRANCHA 4



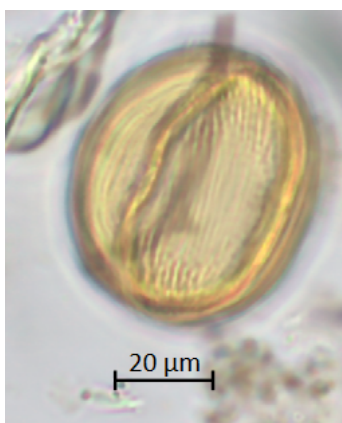
Hiraea/Heteropterys



Ilex

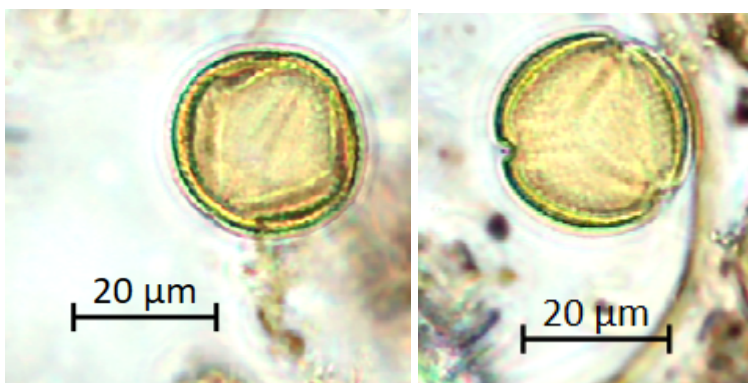


Mabea

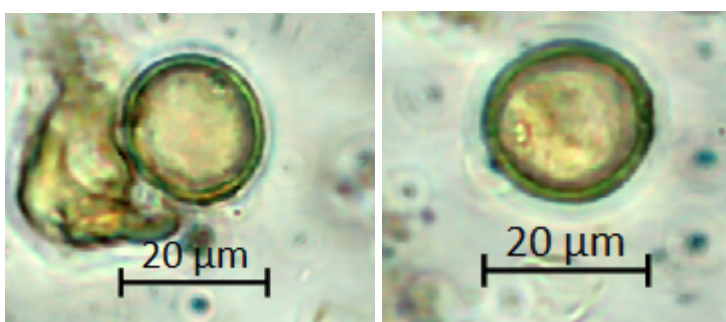


Macrolobium

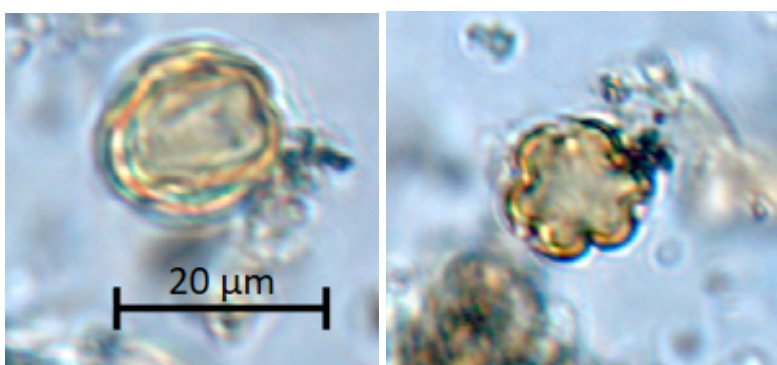
PRANCHA 5



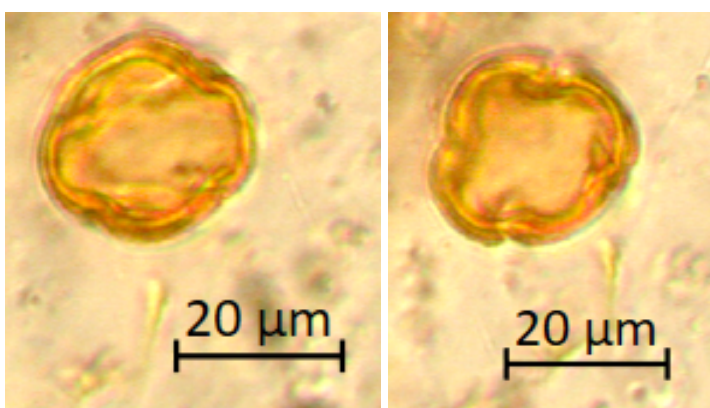
Maytenus



Moraceae/Urticaceae



Mouriri



Myrsinaceae

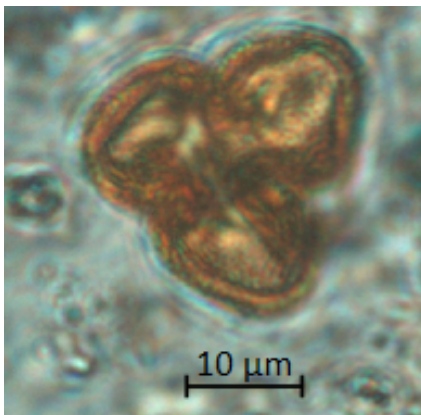
PRANCHA 6



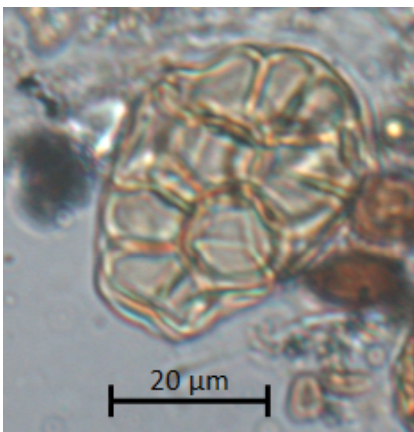
Ouratea



Pera

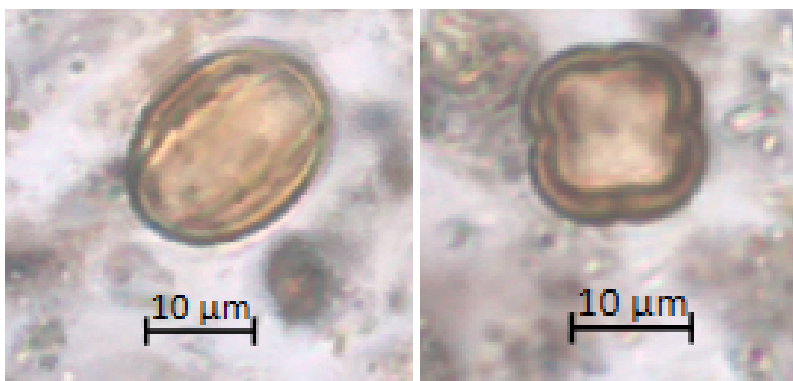


Phyllanthus/Sapium



Piptadenia

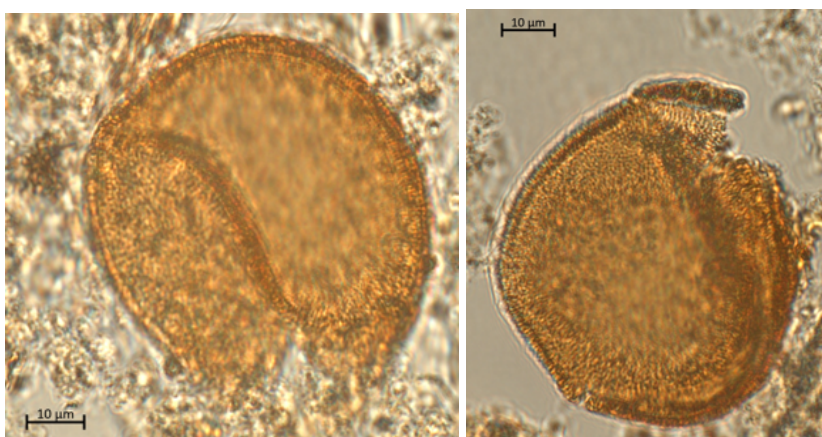
PRANCHA 7



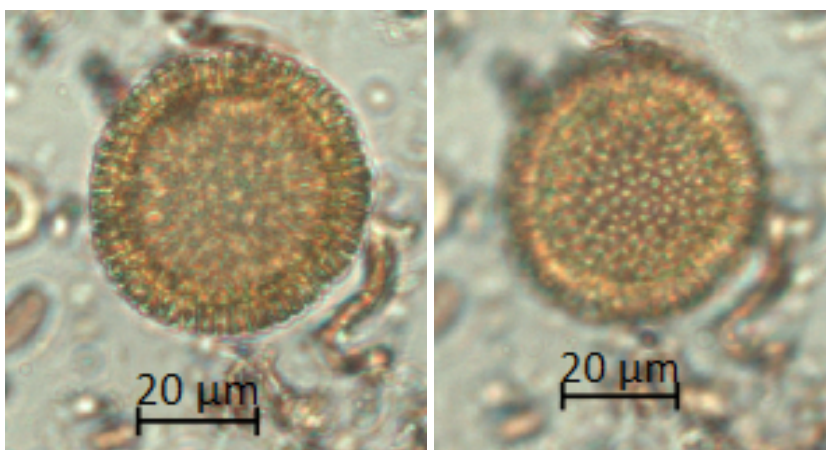
Pouteria



Pseudobombax

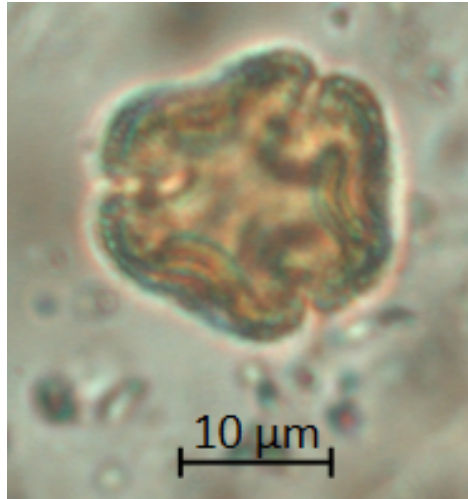
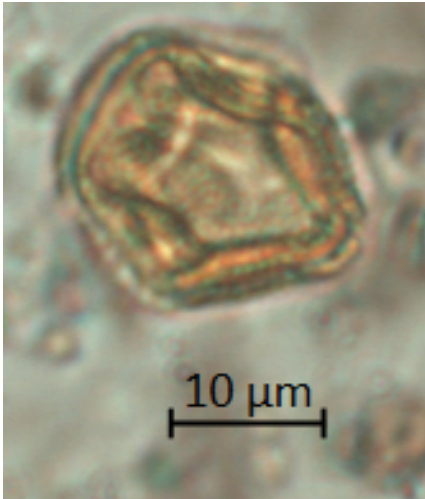


Psychotria

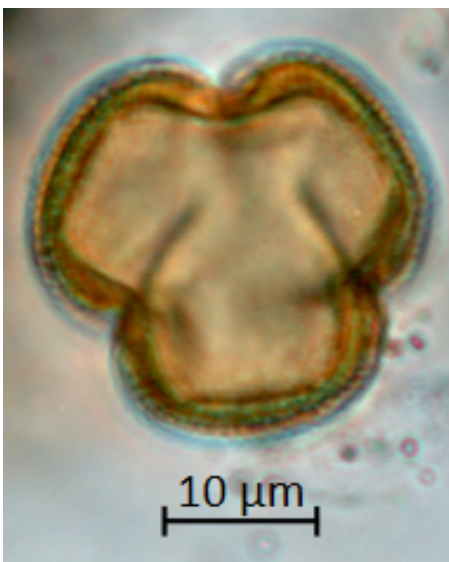
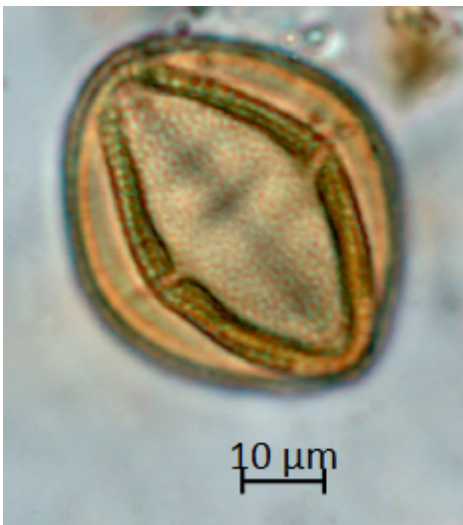


Rubiaceae

PRANCHA 8

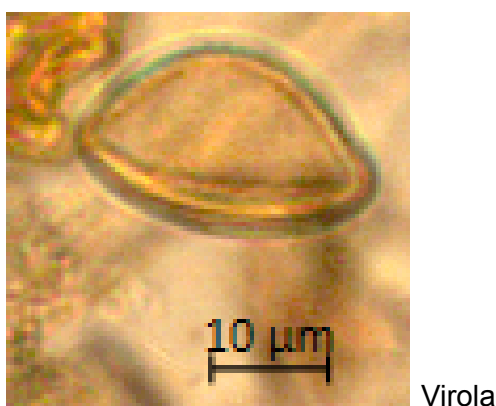
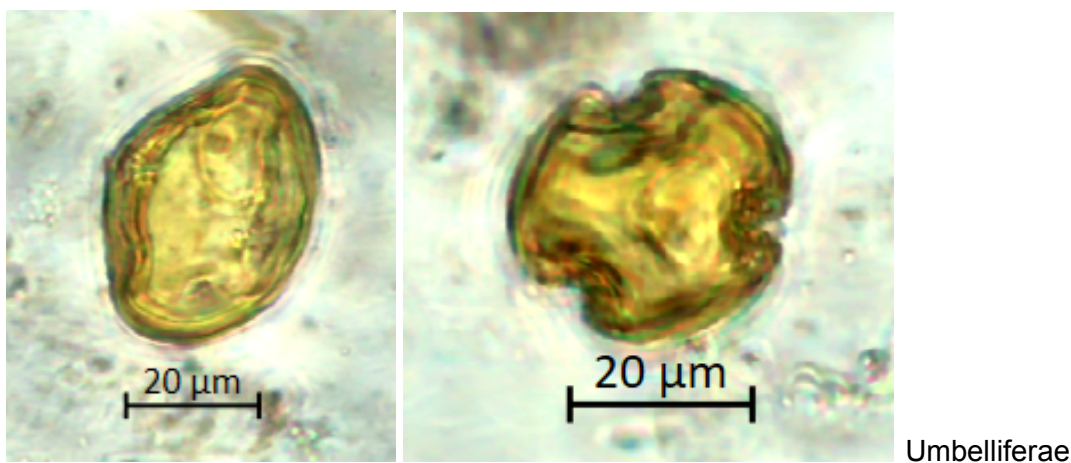
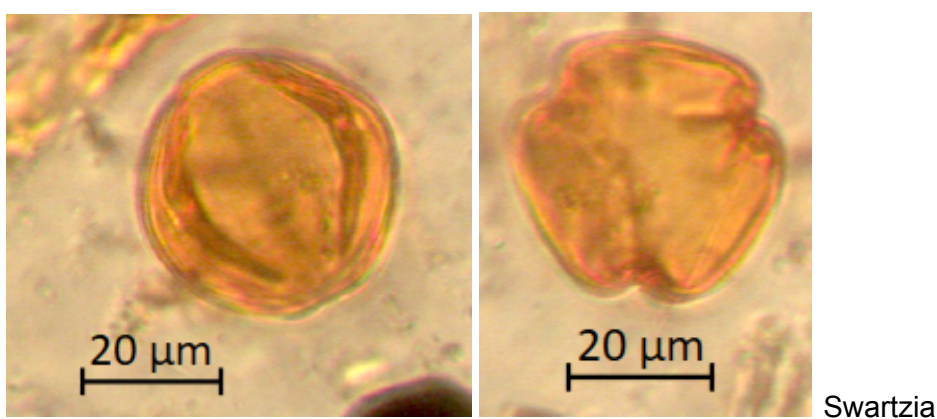
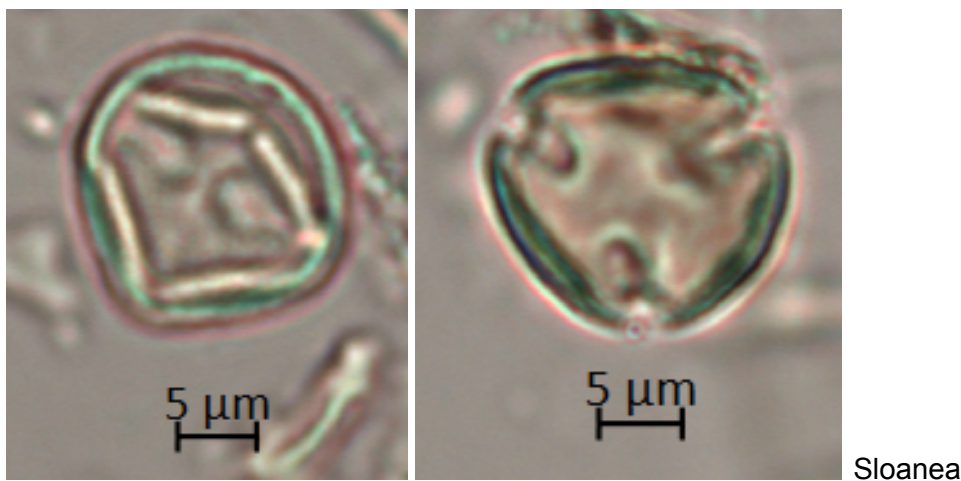


Schefflera

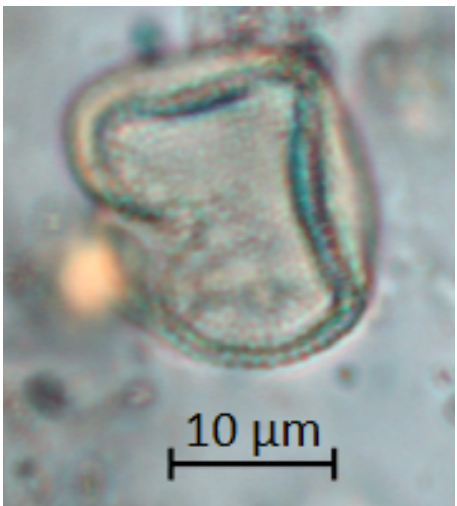
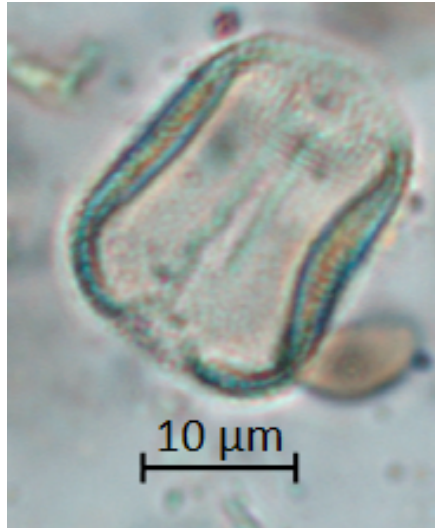
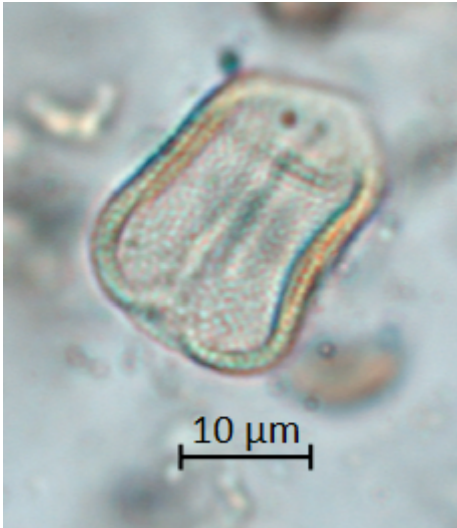


Sebastiania/Euphorbia

PRANCHA 9



PRANCHA 10



Euterpe

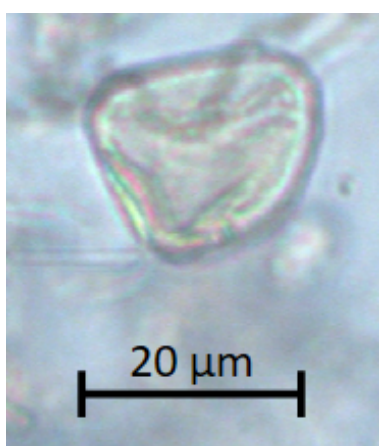


Geonoma

PRANCHA 11



Mauritia

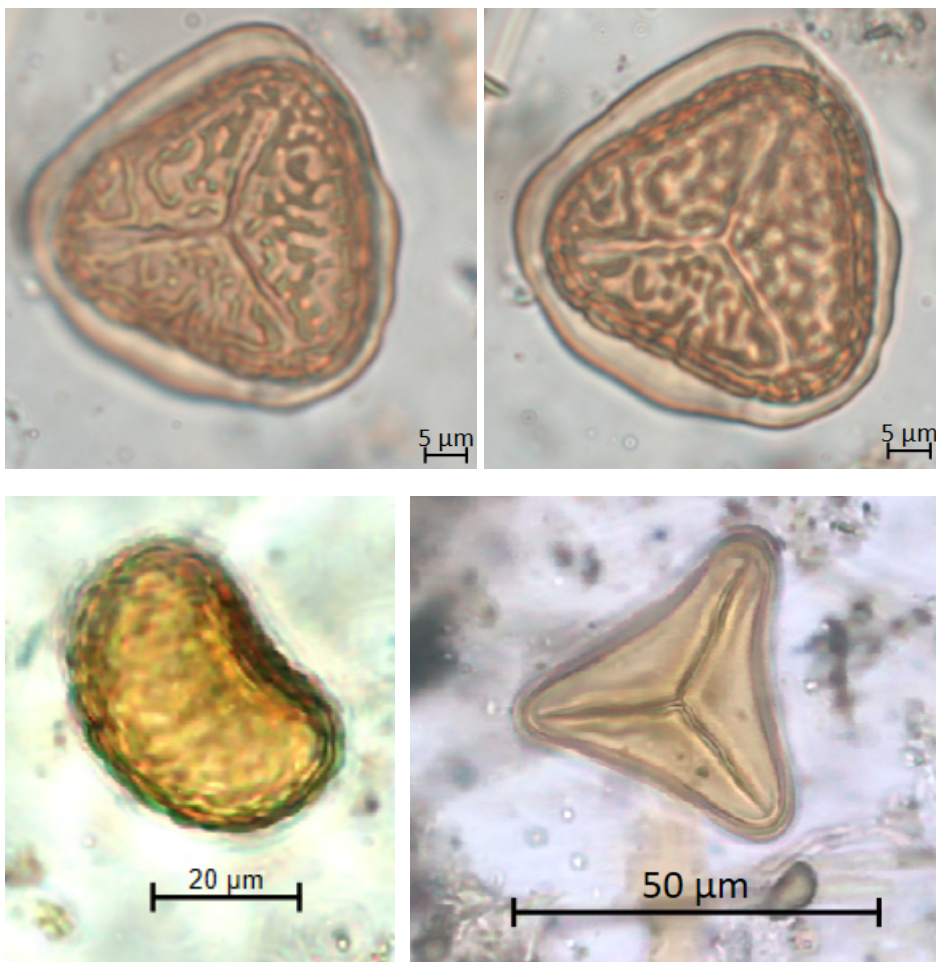


Cyperaceae



Poaceae

PRANCHA 12



Esporos

MATERIAL COMPLEMENTAR

Link para tabela de dados florísticos: [Levantamento Florístico](#).