

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DE MARINGÁ
CENTRO DE CIÊNCIAS HUMANAS, LETRAS E ARTES
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA
DOUTORADO EM GEOGRAFIA**

RENAN VALÉRIO EDUVIRGEM

**RECONSTRUÇÃO PALEOBIOGEOGRÁFICA POR INDICADORES
“MULTIPROXIES” NO PARQUE NACIONAL DO IGUAÇU E ESTAÇÃO
ECOLÓGICA MUNICIPAL FRANCISCO PASCHOETO – PARANÁ**

Maringá

2022

RENAN VALÉRIO EDUVIRGEM

**RECONSTRUÇÃO PALEOBIOGEOGRÁFICA POR INDICADORES
“MULTIPROXIES” NO PARQUE NACIONAL DO IGUAÇU E ESTAÇÃO
ECOLÓGICA MUNICIPAL FRANCISCO PASCHOETO – PARANÁ**

Tese de Doutorado apresentada à Universidade Estadual de Maringá, como requisito parcial para obtenção do grau de Doutor em Geografia, área de concentração: Análise Regional e Ambiental, linha de pesquisa Análise Ambiental.

Orientador: Prof. Dr. Mauro Parolin

Maringá

2022

Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP)
(Biblioteca Central - UEM, Maringá - PR, Brasil)

E24r

Eduvirgem, Renan Valério

Reconstrução paleobiogeográfica por indicadores "multiproxies" no Parque Nacional do Iguazu e Estação Ecológica Municipal Francisco Paschoeto – Paraná / Renan Valério Eduvirgem. -- Maringá, PR, 2022.

161 f.: il. color., figs., tabs., maps.

Orientador: Prof. Dr. Mauro Parolin.

Tese (Doutorado) - Universidade Estadual de Maringá, Centro de Ciências Humanas, Letras e Artes, Departamento de Geografia, Programa de Pós-Graduação em Geografia, 2022.

1. Fitólitos - Paraná (Estado) . 2. Espícula de esponja. 3. Paleoambientes - Paraná (Estado) . I. Parolin, Mauro, orient. II. Universidade Estadual de Maringá. Centro de Ciências Humanas, Letras e Artes. Departamento de Geografia. Programa de Pós-Graduação em Geografia. III. Título.

CDD 23.ed. 551.698162

RECONSTRUÇÃO PALEOBIOGEOGRÁFICA POR INDICADORES “MULTIPROXIES” NO
PARQUE NACIONAL DO IGUAÇU E ESTAÇÃO ECOLÓGICA MUNICIPAL FRANCISCO
PASCHOETO – PARANÁ

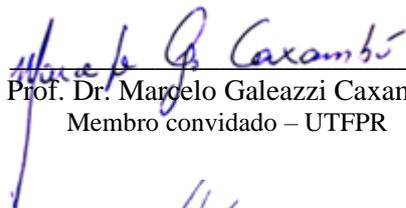
Tese de Doutorado apresentada à Universidade Estadual de
Maringá, como requisito parcial para obtenção do grau de
Doutor em Geografia, área de concentração: Análise Regional
e Ambiental, linha de pesquisa Análise Ambiental.

Aprovada em **11 de julho de 2022**.

BANCA EXAMINADORA



Prof. Dr. Mauro Parolin
Orientador - UNESPAR



Prof. Dr. Marcelo Galeazzi Caxambu
Membro convidado – UTFPR



Prof. Dr. Sidney Kuersten
Membro convidado - UEMS



Prof.^a Dr.^a Marta Luzia de Souza
Membro convidado - UEM



Prof. Dr. Helio Silveira
Membro convidado – UEM

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus por conseguir encerrar mais essa etapa e a minha família por todo apoio, suporte e confiança depositada em mim durante toda a vida e, principalmente, no doutorado.

Ao Dr. Mauro Parolin, pela orientação no doutorado, pela amizade e por me convidar a conhecer a micropaleontologia.

Lefape - Laboratório de Estudos Paleoambientais da Fecilcam, UNESPAR, Campo Mourão PR, em nome de Tainá Pepino, Anne Karolyna de Freitas da Silva, Mayara dos Reis Monteiro, Fernando Henrique Villwock, Tiago Vinicius Athaydes, Eduarda do Couto Adam; e Leandro Domingos Luz pela parceria com a Universidade de Kentucky (EUA).

Ao herbário HCF - Herbário da Universidade Tecnológica Federal do Paraná Campus Campo Mourão, pela identificação da vegetação, pela parceria em me levar às saídas de campo para o Parque Nacional do Iguaçu e Estação Ecológica Municipal Francisco Paschoeto. Nesses campos, ganhei um grande amigo, Edemilson Luiz Siqueira – Dimi –, muitos dias juntos, sempre identificando plantas, coletando, contando histórias no trajeto e sempre rindo. Agradeço também ao Dr. Marcelo Galeazzi Caxambu por ter me autorizado a participar dos campos, e me mostrado o quanto é importante a atenção com as plantas, pois um pequeno detalhe pode configurar uma espécie diferente.

Os melhores agradecimentos ao Gema - Grupo de Estudos Multidisciplinares do Ambiente em nome de Vanderlei Grzegorzczuk, Laine Milene Caraminan, Vitor Hugo Rosa Biffi e Jean de Paula Sousa pela ajuda na granulometria; ao Matheus Vinícius dos Santos, por todo companheirismo. Ao Dr. Nelson Vicente Lovatto Gasparetto pelas contribuições na banca de qualificação dessa tese.

Aos membros da banca de defesa – Dr. Hélio Silveira, Dr. Marcelo Galeazzi Caxambú, Dr. Sidney Kuerten e Dr^a. Marta Luzia de Souza – pelas contribuições.

A toda equipe do Programa de Pós-Graduação em Geografia (PGE-UEM) e, em especial, a Josi e Miriam que sempre me deram apoio. A todo o corpo docente e demais pessoas/setores da UEM, que contribuíram direta ou indiretamente.

Aos demais amigos dos corredores das universidades e de fora do meio acadêmico. Agradecimentos também ao ICMBio – 58606. À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pelo período que fui bolsista no doutorado, e à Tilia Graph® que me forneceu a versão de estudante por 36 meses. Obrigado!

Dedico

Em memória ao meu pai João Batista Eduvirgem e avós Severina, Aristides, Alcides e Mirian
que tanto me incentivaram.

A minha mãe Maria Rosa dos Santos Eduvirgem e irmãos Ruan Wallace Eduvirgem e Ramon
Rogério Eduvirgem, por todo apoio.

LISTA DE ABREVIATURAS

AP – Anos antes do presente
Bi - Índice de Estresse Hídrico
D/P - Índice de cobertura arbórea
EEMFP - Estação Ecológica Municipal Francisco Paschoeto
EGL - Estepe Gramíneo Lenhosa
EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
FES – Floresta Estacional Semidecidual
FOM – Floresta Ombrófila Mista
IAP - Instituto Ambiental do Paraná
IAT - Instituto Água e Terra
IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
Ic - Índice Climático
Iph - Índice de adaptação à aridez
ITCG - Instituto de Terras, Cartografia e Geologia do Paraná
Lepafe - Laboratório de Estudos Paleoambientais da Fecilcam
LJ - Lagoa do Jacaré
MDE - Modelo Digital de Elevação
MEV - Microscópio Eletrônico de Varredura
MMA - Ministério do Meio Ambiente
MODIS - Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer
MOS - Matéria orgânica do solo
P1 - Ponto 1 (essa sigla ocorre do P1 ao P9)
PNI - Parque Nacional do Iguaçu
RPS - Represa Rio São João
SRTM - Missão Topográfica Radar Shuttle
T1 – Tubo 1
TFSA - Terra fina seca ao ar
TFT – Totais fitolíticos
UC - Unidades de Conservação
USGS - United States Geological Survey

APÊNDICE

Apêndice 01 – Taxonomia das esponjas de água doce da Lagoa do Jacaré (Poço Preto) – Foz do Iguaçu, Paraná.....	161
---	-----

LISTA DE FIGURAS

Figura 01 – Mapa de localização do Parque Nacional do Iguaçu (PNI).....	22
Figura 02 – Perfil da Floresta Ombrófila Mista.....	24
Figura 03 – Perfil da Floresta Estacional Semidecidual.....	25
Figura 04 – Mapa fitogeográfico do Parque Nacional do Iguaçu (PNI).....	25
Figura 05 – Mapa de solos do Parque Nacional do Iguaçu (PNI).....	26
Figura 06 – Mapa altimétrico do Parque Nacional do Iguaçu (PNI).....	27
Figura 07 – Mapa de declividade do Parque Nacional do Iguaçu (PNI).....	27
Figura 08 – Mapa de localização da Estação Ecológica Municipal Francisco Paschoeto, Reserva do Iguaçu, Paraná.....	28
Figura 09 - Mapa fitogeográfico da Estação Ecológica Municipal Francisco Paschoeto, Reserva do Iguaçu, Paraná.....	29
Figura 10 – Mapa de solos da Estação Ecológica Municipal Francisco Paschoeto, Reserva do Iguaçu, Paraná.....	30
Figura 11 – Mapa hipsométrico da Estação Ecológica Municipal Francisco Paschoeto, Reserva do Iguaçu, Paraná.....	30
Figura 12 – Mapa de declividade da Estação Ecológica Municipal Francisco Paschoeto, Reserva do Iguaçu, Paraná.....	31
Figura 13 – Nome, táxon e ilustração das principais morfologias fitolíticas.....	40
Figura 14 – Localização das coletas no Parque Nacional do Iguaçu.....	53
Figura 14.1 – Localização da coleta na Estação Ecológica Municipal Francisco Paschoeto em Reserva do Iguaçu, Paraná.....	54
Figura 15 – Ponto de coleta do testemunho Fazenda Salinet no Parque Nacional do Iguaçu, destacando a área em recuperação florestal.....	55
Figura 16 – Procedimentos para extração de fitólitos.....	58
Figura 17 – Procedimentos para extração de espículas de esponjas.....	59
Figura 18 – Procedimentos para extração de fitólitos de plantas e serapilheira.....	60
Figura 19 – Quantitativo absoluto de fitólitos em serapilheira no Parque Nacional do Iguaçu.....	65
Figura 20 – Morfologias fitolíticas encontradas em serapilheira e nos testemunhos no Parque Nacional do Iguaçu.....	66
Figura 21 – Morfologias identificadas em serapilheira nos pontos amostrados.....	67

Figura 22 – Principais morfologias observadas nas plantas analisadas. A1, “Globular echinate” em <i>Alsophila setosa</i> Kaulf. (Cyatheaceae); A2, “Globular echinate” em <i>Euterpe edulis</i> Mart. (Arecaceae); B1-B2, “Bulliform paralelepipedal echinate” em <i>Chusquea</i> sp. (Poaceae); C, “Bilobate Chusquea” (Poaceae); D, “Rondel” em <i>Pharus lappulaceus</i> Aubl. (Poaceae); E, “Polilobate” em Poaceae; F, “Cross” em Poaceae; G, “Bilobate” em Poaceae; H, “Bulliform paralelepipedal” em <i>Piper</i> sp. (Piperaceae); I1-I2, “Tabular” em <i>Piper</i> sp. (Piperaceae); J, “Hair” em <i>Piper</i> sp. (Piperaceae); K1-K2, Morfologias encontradas em Euphorbiaceae.....	68
Figura 23 – Número de morfologias fitolíticas identificadas na coleta botânica do Parque Nacional do Iguaçu.....	69
Figura 24 – Quantitativo de fitólitos identificados na coleta botânica do Parque Nacional do Iguaçu.....	69
Figura 25 – Diagrama de caixa demonstrando os valores da matéria orgânica do solo dos pontos amostrados no Parque Nacional do Iguaçu.....	76
Figura 26 – Trincheira aberta no Parque Nacional do Iguaçu com 2,10 metros.....	77
Figura 27 – Composição granulométrica da trincheira.....	78
Figura 28 – Diagrama das assembleias recuperadas nas amostras de solos coletadas no Parque Nacional do Iguaçu, Paraná.....	79
Figura 29 – Diagrama da assembleia recuperada nas amostras do Ponto 1 coletada no Parque Nacional do Iguaçu, Paraná.....	80
Figura 30 – Fotomicrografias dos fitólitos. A1-A2, “Block”; B, “Bulliform paralelepipedal”; C1-C2, “Bulliform paralelepipedal echinate”; D1-D2, “Bulliform cuneiform”; E, “Brachiform”; F, “Bilobate”; G, “Saddle”; H1- H3, “Rondel”; I, “Globular psilate”; J1-J2, “Globular granulate”; K, “Globular echinate”; L1-L2, “Elongate psilate”; M, Pinaceae; N1-N2, “Tree”; O, “Tracheid”; P, “Trapeziform”	81
Figura 31 – Diagrama da assembleia recuperada nas amostras do Ponto 2 coletada no Parque Nacional do Iguaçu, Paraná.....	83
Figura 32 – Diagrama da assembleia recuperada nas amostras do Ponto 3 coletada no Parque Nacional do Iguaçu, Paraná.....	85
Figura 33 – Diagrama da assembleia recuperada nas amostras do Ponto 4 coletada no Parque Nacional do Iguaçu, Paraná.....	87
Figura 34 – Diagrama da assembleia recuperada na trincheira, Ponto 5, coletada no Parque Nacional do Iguaçu, Paraná.....	90

Figura 35 – Diagrama da assembleia recuperada nas amostras do Ponto 6 coletada no Parque Nacional do Iguaçu, Paraná.....	92
Figura 36 – Diagrama da assembleia recuperada nas amostras do Ponto 7 coletada no Parque Nacional do Iguaçu, Paraná.....	94
Figura 37 – Diagrama da assembleia recuperada nas amostras do Ponto 8 coletada no Parque Nacional do Iguaçu, Paraná.....	96
Figura 38 – Diagrama da assembleia recuperada nas amostras do Ponto 9 coletada no Parque Nacional do Iguaçu, Paraná.....	98
Figura 39 – Diagrama da assembleia recuperada nas amostras do Tubo 1 coletado no Parque Nacional do Iguaçu, Paraná.....	100
Figura 40 – Diagrama da assembleia recuperada nas amostras da Represa Rio São João coletada no Parque Nacional do Iguaçu, Paraná.....	102
Figura 41 – Diagrama da assembleia recuperada nas amostras da Fazenda Salinet coletada no Parque Nacional do Iguaçu, Paraná.....	105
Figura 42 – Lagoa do Jacaré. A e B correspondem às vistas distintas da lagoa, Foz do Iguaçu, Paraná.....	107
Figura 43 – Transecto do interflúvio ao rio Iguaçu, Foz do Iguaçu, Paraná.....	108
Figura 44 – Diagrama da assembleia da Lagoa do Jacaré no Parque Nacional do Iguaçu, Foz do Iguaçu, Paraná, Brasil.....	109
Figura 45 – Fotomicrografias dos fitólitos, frústula de diatomácea e espículas de esponjas de água doce da Lagoa do Jacaré, Foz do Iguaçu, Paraná. A, “Bilobate”; B, “Saddle”; C, Podostemaceae; D, “Bulliform cuneiform”; E, “Elongate psilate”; F, Frústula de diatomácea, G, Gemosclera de <i>Tubella repens</i> Hinde, 1888; H, Gemosclera de <i>Oncosclera navicella</i> Carter, 1881; I, Gemosclera de <i>Oncosclera schubarti</i> Bonetto e Ezcurra de Drago, 1967; J, espícula fragmentada; K, Megasclera (provavelmente <i>Corvospongilla seckti</i> Bonetto & Ezcurra de Drago, 1966).....	110
Figura 46 A – Análise do Componente Principal dos pontos P1, P2, P3, P4, P5, P6.....	116
Figura 46 B – Análise do Componente Principal dos pontos P7, P8, P9, T1, Fazenda Salinet, RPS e Lagoa do Jacaré.....	117
Figura 47 – A) Testemunho de coleta na borda da Lagoa dos Peixes na Estação Ecológica Municipal Francisco Paschoeto em Reserva do Iguaçu, Paraná. B) Lagoa dos Peixes. C) Entorno da lagoa.....	127

Figura 48 – Matéria orgânica obtida do testemunho coletado na Lagoa dos Peixes na Estação Ecológica Municipal Francisco Paschoeto em Reserva do Iguaçu, Paraná.....	128
Figura 49 A – Principais microfósseis recuperados no testemunho coletado na Lagoa dos Peixes da Estação Ecológica Municipal Francisco Paschoeto em Reserva do Iguaçu, Paraná. A, “Polilobate”; B1-B3, “Bilobate”; C, “Saddle”; D1-D3, “Rondel”; E1-E2, “Elongate psilate”; F1-F2, Elongate echinate”; G1-G2, “Tracheid”; H, “Globular echinate”; I, “Globular psilate”.....	129
Figura 49 B – Principais microfósseis recuperados no testemunho coletado na Lagoa dos Peixes da Estação Ecológica Municipal Francisco Paschoeto em Reserva do Iguaçu, Paraná. A, “Tree”; B, “Bulliform parallelepipedal echinate”; C, “Bulliform parallelepipedal”; D, “Block”; E1-E4, “Bulliform cuneiform”; F, “Cross”; G, “Trapeziform”; H1-H2, “Cone-shape”; I1-I4, Frústulas de diatomáceas.....	130
Figura 50 – Diagrama da assembleia recuperada no testemunho coletado na Lagoa dos Peixes da Estação Ecológica Municipal Francisco Paschoeto em Reserva do Iguaçu, Paraná.....	131

LISTA DE TABELAS

Tabela 01 – Índices fitolíticos da Lagoa do Jacaré no Parque Nacional do Iguaçu, Foz do Iguaçu, Paraná, Brasil.....	111
Tabela 02 – Coeficiente de correlação de Spearman das variáveis: matéria orgânica do solo, profundidade e totais fitolíticos.....	113
Tabela 03 – Resultados isotópicos de $\delta^{13}\text{C}$ e $\delta^{15}\text{N}$	114
Tabela 04 – Componentes Principais dos pontos amostrados.....	114

LISTA DE QUADROS

Quadro 01 - Descrição das profundidades dos testemunhos, forma de coleta e município.....	56
Quadro 02 - Espécies amostradas e estimativa de produção fitolítica em folhas de cada família/espécie.....	70
Quadro 03 - Morfologias de fitólitos e suas frequências de ocorrências por família/espécie....	71

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	19
2 LOCALIZAÇÃO E DESCRIÇÃO DAS ÁREAS DE ESTUDO	22
2.1 PARQUE NACIONAL DO IGUAÇU.....	22
2.2 ESTAÇÃO ECOLÓGICA MUNICIPAL FRANCISCO PASCHOETO.....	28
3 ANÁLISES MICROPALÉONTOLÓGICAS E ISOTÓPICAS	32
3.1 FITÓLITOS: HISTÓRICO E APLICAÇÕES.....	32
3.1.1 Classificação dos fitólitos	39
3.2 ESPONJAS CONTINENTAIS E ESPÍCULAS.....	41
3.3 ANÁLISES ISOTÓPICAS.....	45
3.4 RECONSTRUÇÃO PALEOBIOGEOGRÁFICA E PALEOCLIMAS NO PERÍODO GEOLÓGICO MAIS RECENTE DA TERRA.....	46
4 MATERIAIS E MÉTODOS	52
4.1 PROCEDIMENTOS DE CAMPO.....	52
4.2 PROCEDIMENTOS LABORATORIAIS.....	57
4.2.1 Extração dos microfósseis	57
4.2.1.1 Extração de Fitólitos.....	57
4.2.1.2 Extração de Espículas de Esponjas.....	58
4.2.1.3 Extração de frústulas de diatomáceas.....	59
4.2.2 Extração de fitólitos de plantas e serapilheira	59
4.2.3 Produtos cartográficos, gráficos e tabelas	60
4.2.4 Cálculos para os índices de fitólitos	61
4.2.4.1 Índice de cobertura arbórea (D/P).....	61
4.2.4.2 Índice de adaptação à aridez (Iph).....	62
4.2.4.3 Índice Climático (Ic).....	62
4.2.4.4 Índice de Estresse Hídrico (Bi).....	62
4.2.4.5 Quantificação dos fitólitos presentes na coleção de referência moderna.....	62
4.2.5 Análise dos solos e sedimentos	63
4.2.5.1 Granulometria.....	63
4.2.5.2 pH do solo.....	64
4.2.5.3 Análises isotópicas.....	64
4.2.5.4 Determinação da matéria orgânica.....	64

5 FITÓLITOS PRESENTES EM SERAPILHEIRA E COLEÇÃO DE REFERÊNCIA A PARTIR DE PLANTAS ATUAIS.....	65
5.1 RESULTADOS.....	65
5.1.1 Fitólitos presentes em serapilheira e comparativo quantitativo com os testemunhos.....	65
5.1.2 Coleção de referência de fitólitos.....	68
5.2 DISCUSSÃO.....	73
5.3 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	74
6 PRESERVAÇÃO DOS FITÓLITOS NO PARQUE NACIONAL DO IGUAÇU.....	75
6.1 RESULTADOS.....	75
6.1.1 Matéria Orgânica do Solo presente nos pontos amostrados.....	75
6.1.2 Granulometria das amostras da trincheira aberta no Parque Nacional do Iguaçu.....	77
6.1.3 Análise dos microfósseis nos testemunhos coletados.....	78
6.1.3.1 Céu Azul - Ponto 1.....	78
6.1.3.2 Céu Azul - Ponto 2.....	82
6.1.3.3 Céu Azul - Ponto 3.....	84
6.1.3.4 Céu Azul - Ponto 4.....	86
6.1.3.5 Céu Azul - Ponto 5.....	88
6.1.3.6 Céu Azul - Ponto 6.....	91
6.1.3.7 Céu Azul - Ponto 7.....	93
6.1.3.8 Céu Azul - Ponto 8.....	95
6.1.3.9 Foz do Iguaçu - Ponto 9.....	97
6.1.3.10 Céu Azul - Tubo 1.....	99
6.1.3.11 Foz do Iguaçu - Represa Rio São João.....	101
6.1.3.12 Foz do Iguaçu - Fazenda Salinet.....	103
6.1.3.13 Foz do Iguaçu - Lagoa do Jacaré.....	106
6.1.4 Análises complementares.....	113
6.1.4.1 Coeficiente de correlação empregado à matéria orgânica do solo, profundidade e totais fitolíticos.....	113
6.1.4.2 Análises isotópicas.....	113
6.1.4.3 Análise do Componente Principal.....	114
6.2 DISCUSSÃO.....	118

6.3 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	125
7 RECONSTRUÇÃO PALEOBIOGEOGRÁFICA NA LAGOA DOS PEIXES DA ESTAÇÃO ECOLÓGICA MUNICIPAL FRANCISCO PASCHOETO EM RESERVA DO IGUAÇU, PARANÁ.....	127
7.1 RESULTADOS.....	127
7.1.1 Descrição geral da lagoa, matéria orgânica e “proxies” encontrados.....	127
7.2 DISCUSSÃO.....	132
7.3 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	134
8 CONCLUSÕES.....	135
REFERÊNCIAS.....	136

RESUMO

Os paleoambientes, pelo caráter abrangente e multidisciplinar de seu estudo, ainda são desconhecidos em diversas localidades da Terra. A reconstrução paleobiogeográfica faz-se fundamental para compreender os climas, a vegetação e a fauna de tempos pretéritos. Esse estudo tem o objetivo de promover a reconstrução paleobiogeográfica do Parque Nacional do Iguaçu (PNI) – que inclui distintos solos e sedimentos da Lagoa do Jacaré (LJ) – e da Lagoa dos Peixes localizada na Estação Ecológica Municipal Francisco Paschoeto (EEMFP), em Reserva do Iguaçu, Paraná; essas Unidades de Conservação (UC) estão distantes em mais de 200 km uma da outra. Os “proxies” utilizados foram os fitólitos, espículas de esponjas, frústulas de diatomáceas e análises isotópicas ($\delta^{13}\text{C}$ e $\delta^{15}\text{N}$). Os materiais e métodos foram pautados em procedimentos de campo (tradagens, abertura de trincheira e coleta de material botânico) e procedimentos laboratoriais (extração de microfósseis, identificação microscópica, análises isotópicas, elaboração de mapas, análise granulométrica, determinação do pH do solo e determinação de matéria orgânica). Extraíu-se fitólitos de plantas atuais para servir de coleção de referência moderna, sendo processados 19 exemplares correspondentes a 16 espécies de 15 famílias. Nos resultados denotou-se que nem sempre a melhor conservação fitolítica ocorre no primeiro intervalo de solo, com diminuição em direção à base, uma vez que os picos fitolíticos podem ocorrer nos intervalos próximos à base, ou mesmo no centro do testemunho; os picos nessas situações podem ser influenciadores na correlação. Desse modo, os valores com forte correlação (negativa) ocorreram para os testemunhos com conservação (fitolítica) superior no topo e diminuição em direção à base. Mediante a densidade de dados trabalhados, tornou-se possível determinar que na Floresta Ombrófila Mista (FOM) 77,78% das amostras apresentaram variações significativas da vegetação; e na Floresta Estacional (FES) em 100% das amostras analisadas. Levando-se em consideração a variação conforme os grupos de solos, todos apresentaram variações significativas da vegetação. Não obstante, em duas amostras não foram identificadas variações significativas, sendo o Tubo 1 (FOM/solo mal drenado) e o Ponto 3 (FOM/solo bem drenado). Foi possível concluir que no PNI os estratos herbáceo e arbóreo coabitaram, sendo prevalente o arbóreo, com excessão da LJ que as famílias arbóreas estiveram e estão presentes em seu entorno. Na Lagoa dos Peixes da EEMFP, a vegetação prevalente foi herbácea e os fitólitos de eudicotiledôneas lenhosas são oriundos da vegetação florestal dos arredores da lagoa. Para ambas as UC, inferiram-se oscilações climáticas com base na paleovegetação e espículas de esponjas – atreladas à permanência d’água no paleoambiente. Essa tese apresentou contribuições inéditas tanto para o PNI, quanto para a EEMFP, utilizando fitólitos, frústulas de diatomáceas, espículas de esponjas, e análises isotópicas $\delta^{13}\text{C}$ e $\delta^{15}\text{N}$.

Palavras-chave: Fitólitos, Espícula de esponja, Paleoambiente.

ABSTRACT

Paleoenvironments, due to the overarching and multidisciplinary of their study, are still unknown in several locations on Earth. Paleobiogeographic reconstruction is essential to understand the climates, vegetation and fauna of past times. This study aims to promote the paleobiogeographic reconstruction of the Iguaçu National Park (INP) - which includes different soils and sediments from Lagoa do Jacaré (LJ) -, and from Lagoa dos Peixes located at the Francisco Paschoeto Municipal Ecological Station (FPMES), in Reserva do Iguaçu, Paraná; these Conservation Units (CU) are more than 200 km away from each other. The proxies used were phytoliths, sponge spicules, diatom frustules, isotopic analyzes ($\delta^{13}\text{C}$ and $\delta^{15}\text{N}$). The materials and methods were based on field procedures (auger hole, trench and collection of botanical material) and laboratory procedures (microfossil extraction, microscopic identification, isotopic analysis, mapping, granulometric analysis and determination of soil pH and organic matter). Phytoliths were extracted from current plants to serve as a modern reference collection, being processed 19 specimens that corresponds to 16 species from 15 families. The results showed that the best phytolithic conservation does not always occur in the first soil interval, with a decrease towards the base, considering the phytolithic peaks can occur in intervals close to the base, or even in the center of the core; the peaks in these situations can influence the correlation. Thus, values with strong correlation (negative) occurred for cores with higher conservation (phytolithic) at the top and decrease towards the base. Through the density of data worked, it became possible to determine that in the Mixed Ombrophilous Forest (MOF) 77.78% of the samples showed significant variations in vegetation; and in the Seasonal Forest (SF) in 100% of the samples analyzed. Considering the variation according to the soil groups, all showed significant variations in vegetation. However, in 2 samples no significant variations were identified, being Tube 1 (MOF/poorly drained soil) and Point 3 (MOF/well drained soil). It was possible to conclude that in the INP the herbaceous and arboreal strata cohabited, with the arboreal being prevalent, with the exception of the LJ that the arboreal families were and are present in its surroundings. In the Lagoa dos Peixes of the EEMFP, the prevailing vegetation was herbaceous, with the phytoliths of woody Eudicotyledons coming from the forest vegetation around the lake. For both CU, climatic oscillations were inferred based on paleovegetation and sponge spicules – linked to the permanence of water in the paleoenvironment. This thesis presented unprecedented contributions to both the INP and the FPMES, using phytoliths, diatom frustules, sponge spicules, and $\delta^{13}\text{C}$ and $\delta^{15}\text{N}$ isotopic analyses.

Key words: Phytoliths, Sponge Spicule, Paleoenvironment.

1 INTRODUÇÃO

Ensaio sobre as variações do clima e da vegetação ocorridas em tempos pretéritos são fundamentais para compreensão da evolução ambiental. Quando se remete aos estudos da evolução de paleoambientes, utiliza-se o tempo geológico. Em se tratando de eras geológicas, a Era Cenozóica apresenta maior frequência de pesquisas, principalmente no Período Quaternário, Épocas do Holoceno e Pleistoceno, fato que pode estar aliado à facilidade de acesso aos registros quando comparado com outras eras.

A reconstrução de paleoambientes visa compreender os sistemas da Terra que são fundamentais para a vida (biosfera, atmosfera e hidrosfera) com a participação ou não dos seres humanos, todavia, a compreensão das mudanças dos ambientes pretéritos é importante para o planejamento das atividades humanas (MONTEIRO, 2015).

O Quaternário é o período geológico que apresenta elevada quantidade de informações paleoambientais, devido à diversidade de “proxies” (palinórfos, espículas de esponjas, fitólitos, diatomáceas, entre outros) disponíveis com boas condições de preservação. Como exemplos dentre tantos estudos já realizados, estão os trabalhos de Parolin e Stevaux (2001); Parolin (2006); Rasbold (2016); Santos et al. (2016); Fonseca-Silva (2017); Santos et al. (2017); Parolin et al. (2017) e Costa (2018). Esse período é marcado por variações climáticas, com fases glaciais e interglaciais (RABASSA; PONCE, 2013). As durações dessas variações em média foram de 100.000 anos para as glaciações e 20.000 anos para os períodos interglaciais (SALGADO-LABOURIAU, 1994; RABASSA; PONCE, 2013; OLIVER et al., 2018).

Um seguimento para o estudo das alterações na vegetação e climas pretéritos ocorre por meio da análise de “proxies” representada, por exemplo, pela matéria orgânica, palinórfos, fitólitos, espículas de esponjas e minerais presentes nos solos e sedimentos (SAIA, 2006; HORÁK, 2009, SILVA et al., 2016; SANTOS et al., 2016; RANULPHO, 2016). As espículas de esponjas frequentemente são utilizadas para inferir tempo de residência de água, além de ambientes aquáticos lóticos e lênticos. Os fitólitos são elencados para a caracterização paleoambiental de solos e depósitos sedimentares, como exemplo de áreas florestais, vegetação aberta e campos. Os palinórfos podem ser encontrados em ambiente de acumulação de sedimentos e turfa, os quais são anóxicos. No entanto, é fundamental que a matéria orgânica do solo (MOS) seja elevada.

Para estabelecer a cronologia, a utilização do ^{14}C é uma das técnicas de datação absoluta mais utilizada. Outros “proxies” que podem ser citados como auxílio na compreensão da

questão ambiental pretérita são: as análises de isótopos estáveis $\delta^{13}\text{C}$ e $\delta^{15}\text{N}$. Desse modo, evidencia-se que esses indicadores, somados aos “proxies” de fitólitos, espículas de esponjas de água doce, grãos de pólen e esporos são interessantes para reconstrução paleobiogeográfica, pois possibilitam correlações.

Diante das diversas possibilidades de promover estudos paleobiogeográficos denotados, ressalta-se que há inúmeras localidades no Brasil ainda não estudadas. Luz et al. (2015) e Aguiar et al. (2019) realizaram mapeamentos que comprovam essa afirmativa, mostrando por exemplo que áreas como centro-norte e centro-nordeste carecem de mais estudos. Ainda segundo os autores, mesmo as áreas em que os estudos estão presentes, ainda há diversas lacunas a serem preenchidas.

O problema da pesquisa que é apresentada nesta tese consiste justamente na falta de dados e informações correspondentes ao Quaternário, tanto no Pleistoceno como no Holoceno, a respeito da vegetação, clima e paleofauna de esponjas de água doce que habitaram o Parque Nacional do Iguaçu (PNI). Assim, tem-se como hipótese que, no PNI, ocorreram vegetação e climas distintos dos atuais, podendo ter sucedido períodos mais secos e úmidos em momentos distintos. Outra inquietação que se coloca como hipótese consiste na possível ocorrência do filo Porifera, uma vez que há várias lagoas no interior do PNI, que é um ambiente preservado, pode ter a ocorrência desses animais. Esse problema e hipótese também se aplicam à Estação Ecológica Municipal Francisco Paschoeto (EEMFP).

Esse estudo justifica-se pela reconstrução paleobiogeográfica que foi realizada, mas também pela ausência de informações sobre alteração paleoclimáticas pretéritas e ocorrência de esponjas de água doce do PNI. Sobre a paleovegetação, por exemplo, há somente um trabalho de Monteiro (2020). Assim, o presente estudo é o primeiro a utilizar espículas de esponja de água doce na reconstrução paleobiogeográfica no PNI. Na EEMFP foram realizadas as primeiras considerações sobre a caracterização fitolítica.

O objetivo geral dessa pesquisa consiste em identificar as alterações paleobiogeográficas no PNI e EEMFP, estabelecendo correlações entre os estudos realizados no território brasileiro. Como objetivos específicos, tem-se a realização de mapeamento das áreas amostradas, determinar a composição fitolítica de serapilheira e do solo - em níveis superficiais com tradagens, coletar amostras de solo utilizando trincheira de 2,10 metros, determinar o pH do perfil de solo da trincheira, quantificar e qualificar as espículas de esponjas e fitólitos, determinar valores isotópicos ($\delta^{13}\text{C}$ e $\delta^{15}\text{N}$) para a Lagoa do Jacaré – também conhecida como Poço Preto –, inferir sobre a evolução da vegetação e clima, promover o

levantamento florístico nas proximidades dos pontos de amostragem para processamento de fitólitos e estabelecer a comparação dos paleoambientes das áreas com outros trabalhos em localidades distintas.

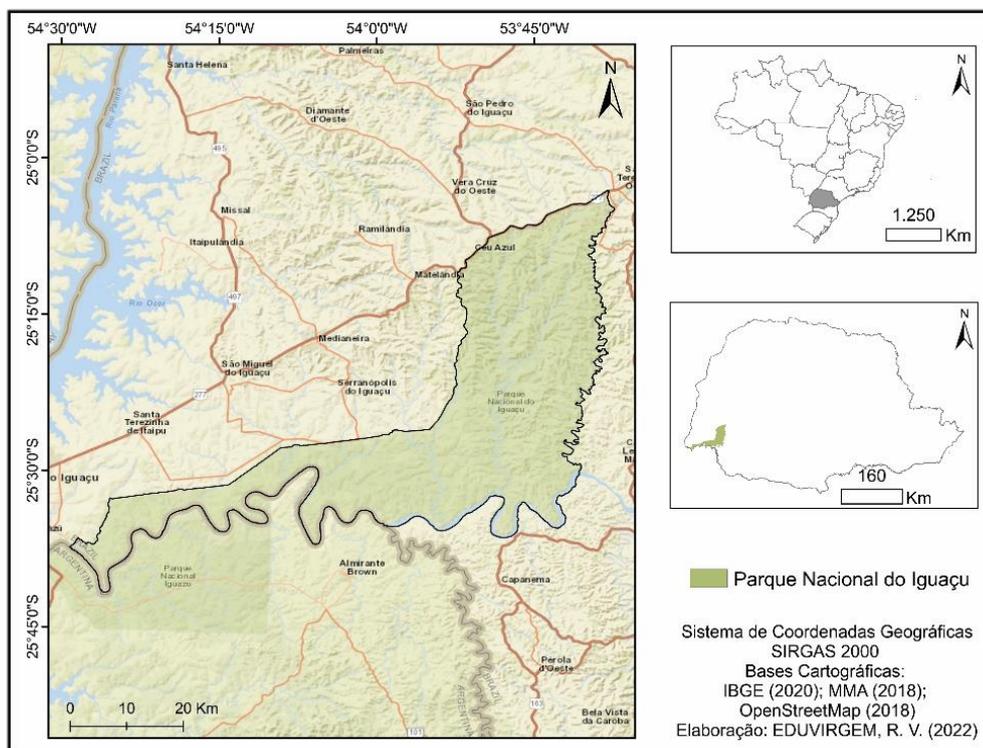
Para cumprir-se os objetivos propostos, organizou-se o trabalho em localização e descrição das áreas de estudo, revisão de literatura, procedimentos de campo e de laboratório, três capítulos com seus respectivos resultados e discussão: Fitólitos presentes em serapilheira e coleção de referência a partir de plantas atuais; Preservação dos fitólitos no Parque Nacional do Iguaçu; Reconstrução paleobiogeográfica na Lagoa dos Peixes da Estação Ecológica Municipal Francisco Paschoeto em Reserva do Iguaçu, Paraná; e a conclusão com a síntese dos resultados gerados com esse trabalho.

2 LOCALIZAÇÃO E DESCRIÇÃO DAS ÁREAS DE ESTUDO

Nessa etapa, realizou-se a localização e descrição das áreas de estudo, sendo o PNI e a EEMFP. Ambas são Unidades de Conservação (UC), em que a primeira é administrada pela esfera federal e a segunda pela municipal.

2.1 PARQUE NACIONAL DO IGUAÇU

O PNI está localizado a sudoeste do estado do Paraná, no Terceiro Planalto Paranaense com um perímetro de 400 km e área total de 185.262,50 ha. Essa UC está inserida nos municípios de Céu Azul (49,56%), Matelândia (19,87%), Serranópolis do Iguaçu (16,92%), São Miguel do Iguaçu (11,73%) e Foz do Iguaçu (7,48%), além de margear os municípios de Capitão Leônidas Marques, Capanema, Lindoeste, Santa Tereza do Oeste, Santa Lúcia, Santa Terezinha de Itaipu, Ramilândia, Diamante D'Oeste e Medianeira (Figura 01).



Com relação ao clima atuante no PNI, de acordo com a classificação de Köppen, compreende-se a transição entre Cfa e Cfb. O clima Cfa configura-se como clima tropical, caracterizado por estações de inverno e verão, sem estação seca definida com verões quentes e

úmidos. O clima Cfb caracteriza-se pelo clima temperado, com precipitação pluvial distribuída ao longo do ano e a temperatura mais elevada não ultrapassa os 22 °C em média, no mês mais quente.

A litologia do PNI é oriunda de derrames basálticos, caracterizada pelo Grupo São Bento e Grupo Serra Geral - Jurássico Superior/Cretáceo Inferior (MINEROPAR, 2001). As espessuras dos derrames variam entre 750 e 800 m (SALAMUNI et al., 2002).

Com alusão a compartimentação geomorfológica a área em estudo está inserida nas subunidades Planalto de Foz do Iguaçu e Planalto do Baixo Iguaçu (MINEROPAR, 2006) estando localizada a primeira subunidade ao sul e a segunda ao norte. O Planalto de Foz do Iguaçu caracteriza-se por topos aplainados, dissecação baixa, vales em V e vertentes convexas (SANTOS et al., 2006). O Planalto do Baixo Iguaçu é caracterizado por topos alongados e em cristas, dissecação alta, vales em V encaixado e vertentes retilíneas.

De maneira geral o PNI possui cobertura florestal representada pela Floresta Ombrófila Mista (Figura 02) e Floresta Estacional Semidecidual (Figura 03). A primeira com as subformações Montana, Submontana e Aluvial e a segunda com as subformações supracitadas, além de Formações Pioneiras com Influência Fluvial (ITCG, 2009). A riqueza florística e espécies com maiores valores de importância fitossociológica do PNI foram descritas por Souza (2015) e Souza et al. (2017).

No perfil esquemático da Floresta Ombrófila Mista, destacam-se *Araucaria angustifolia* (Bertol.) Kuntze (Araucariaceae), *Ocotea porosa* (Nees & Mart.) Barroso (Lauraceae), *Ocotea puberula* (Rich.) Nees (Lauraceae), *Ocotea pulchella* (Nees & Mart.) Mez (Lauraceae), *Cinnamodendron dinisii* Schwacke (Canellaceae), *Moquiniastrum polymorphum* (Less.) G. Sanch (Asteraceae), *Podocarpus lambertii* Klotzsch ex Endl. (Podocarpaceae), *Ilex paraguariensis* A.St.-Hil. (Aquifoliaceae), *Cedrela fissilis* Vell. (Meliaceae), *Campomanesia xanthocarpa* (Mart.) O.Berg (Myrtaceae), *Matayba elaeagnoides* Radlk. (Sapindaceae), *Sloanea lasiocoma* K.Schum. (Elaeocarpaceae), *Luehea divaricata* Mart. (Tiliaceae), *Mimosa scabrella* Benth. (Fabaceae), *Dalbergia brasiliensis* Vogel (Fabaceae), *Jacaranda puberula* Cham. (Bignoniaceae), *Handroanthus albus* (Cham.) Mattos (Bignoniaceae) (GALVÃO et al., 1993 “apud” RODERJAN et al., 2002); e nos estratos inferiores *Myrcia*, *Eugenia*, *Calypttranthes* e *Gomidesia*, acompanhados de Salicaceae (*Casearia* e *Xylosma*), Sapindaceae (*Allophylus* e *Cupania*), Rutaceae, Symplocaceae e Aquifoliaceae. Fetos arbórescentes (*Dicksonia* e *Cyathea*) e gramíneas cespitosas (*Chusquea* e *Merostachys*) (RODERJAN et al., 2002) (Figura 02).

Na Floresta Estacional Semidecidual destacam-se *Aspidosperma polyneuron* Müll.Arg. (Apocynaceae), *Handroanthus heptaphyllus* (Vell.) Mattos (Bignoniaceae), *Peltophorum dubium* (Spreng.) Taub. (Fabaceae), *Balfourodendron riedelianum* (Engl.) Engl. (Rutaceae), *Ficus luschnathiana* (Miq.) Miq. (Moraceae), *Gallesia integrifolia* (Spreng.) Harms (Phytolaccaceae), *Holocalyx balansae* Micheli (Fabaceae), *Astronium graveolens* Jacq. (Anacardiaceae), *Pterogyne nitens* Tul. (Fabaceae), *Diatenopteryx sorbifolia* Radlk. (Sapindaceae), *Ceiba speciosa* (A.St.-Hil.) Ravenna (Malvaceae), *Cordia trichotoma* (Vell.) Arráb. ex Steud. (Boraginaceae), *Apuleia leiocarpa* (Vogel) J.F.Macbr. (Fabaceae), *Enterolobium contortisiliquum* (Vell.) Morong (Fabaceae), *Parapiptadenia rigida* (Benth.) Brenan (Fabaceae) e *Cedrela fissilis* Vell. (Meliaceae); nos estratos inferiores estão presentes *Euterpe edulis* Mart. (Arecaceae), *Syagrus romanzoffiana* (Cham.) Glassman (Arecaceae), *Trichilia claussenii* C.DC. (Meliaceae), *Guarea kunthiana* A.Juss. (Meliaceae), *Inga marginata* Willd. (Fabaceae), *Jacaratia spinosa* (Aubl.) A.DC. (Caricaceae), *Helietta apiculata* Benth. (Rutaceae), *Sorocea bonplandii* (Baill.) W.C.Burger et al. (Moraceae) e *Allophylus guaraniticus* (A. St.-Hil.) Radlk. (Sapindaceae) (RODERJAN et al., 2002) (Figura 03).

Na figura 04, observa-se a Floresta Ombrófila Mista na parte norte do PNI e a Floresta Estacional Semidecidual no restante do Parque, sendo majoritária a segunda formação florestal.

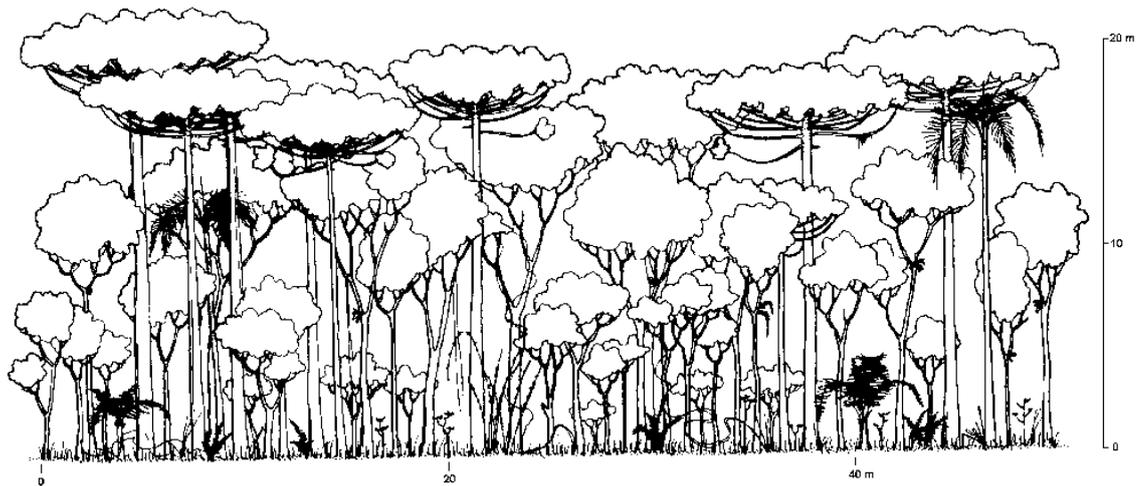


Figura 02 – Perfil da Floresta Ombrófila Mista
Fonte: Roderjan et al. (2002)



Figura 03 – Perfil da Floresta Estacional Semidecidual
 Fonte: Roderjan et al. (2002)

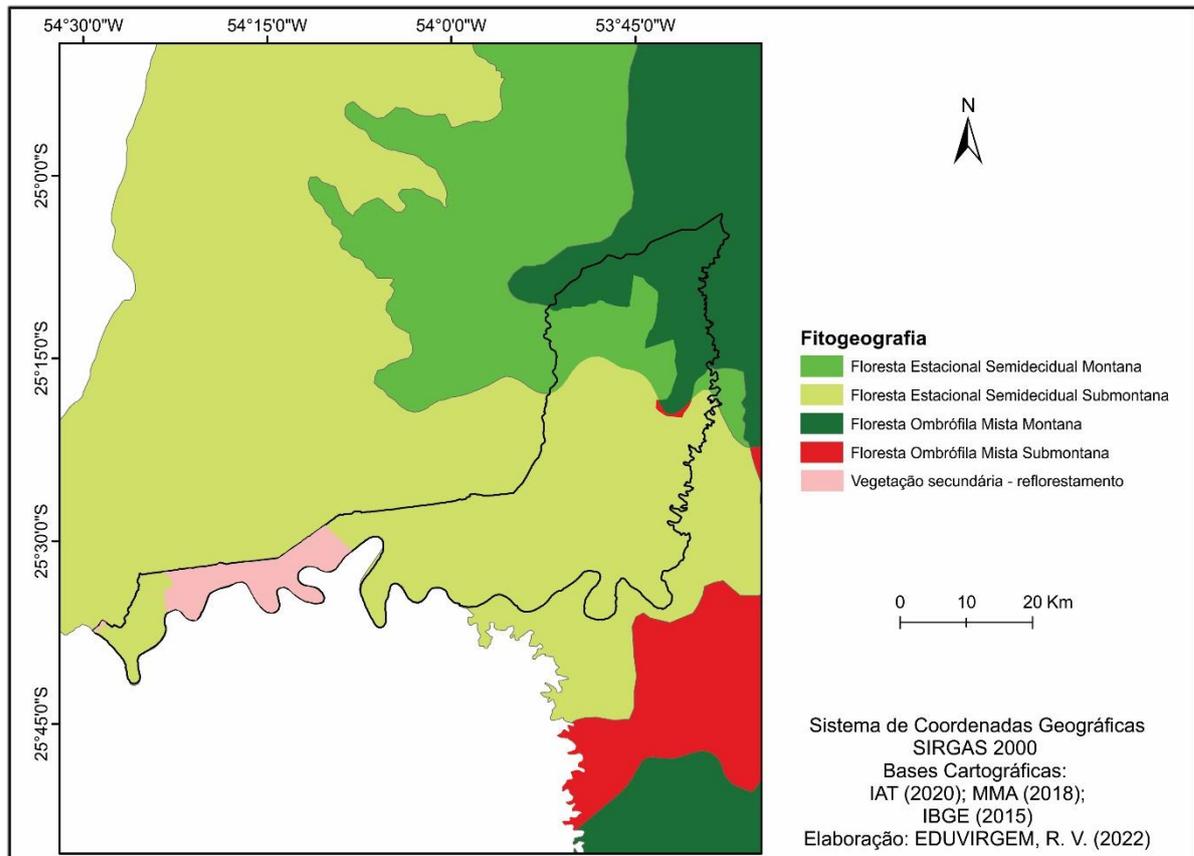


Figura 04 – Mapa fitogeográfico do Parque Nacional do Iguaçu (PNI)

Com alusão aos solos do PNI, conforme EMBRAPA (2008) podem ser citados: LATOSSOLOS VERMELHOS, NITOSSOLOS VERMELHOS, NEOSSOLOS LITÓLICOS e GLEISSOLOS HÁPLICOS, sendo predominantes os LATOSSOLOS e os NITOSSOLOS (Figura 05).

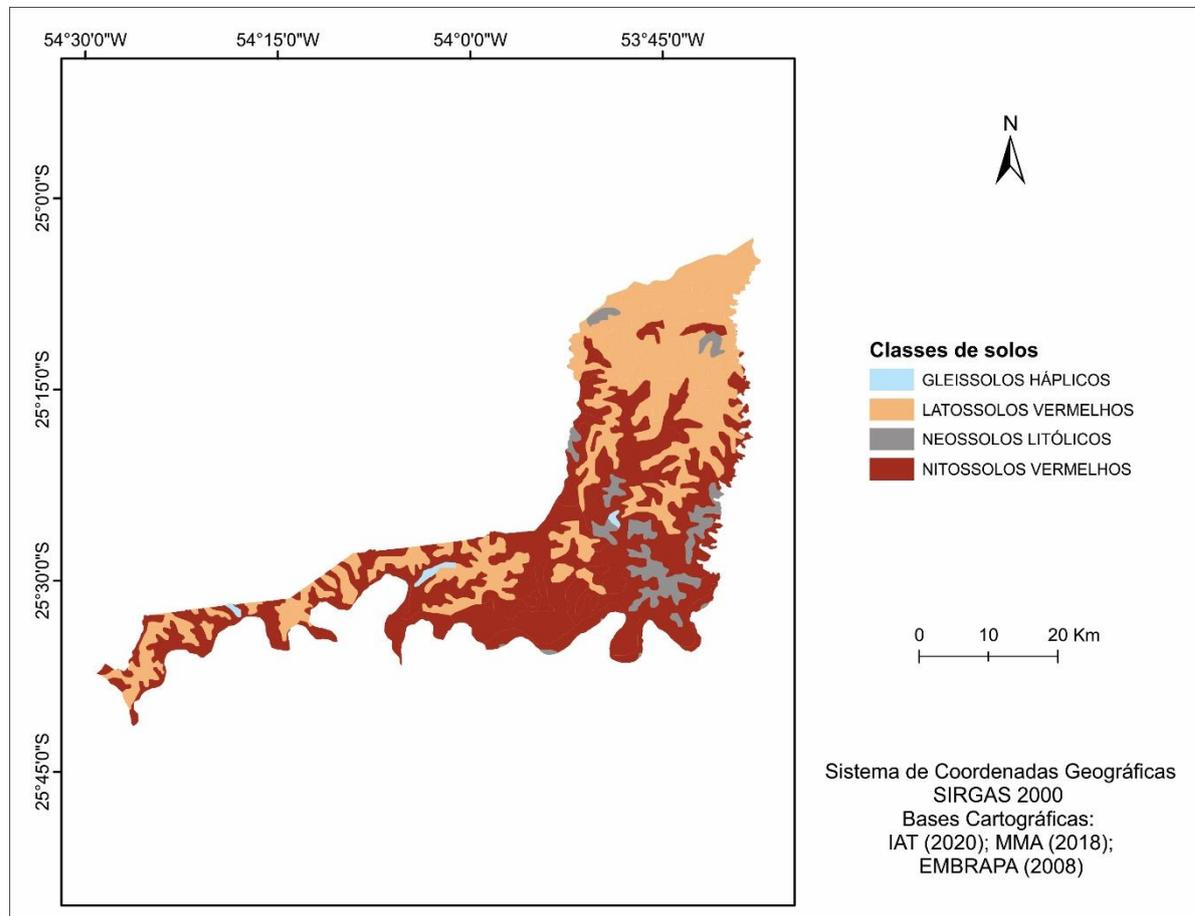


Figura 05 – Mapa de solos do Parque Nacional do Iguaçu (PNI)

Com relação às cotas altimétricas encontrou-se os valores de 116 a 755 m (Figura 06) e, para as declividades os percentuais de <3% a >50% (Figura 07). As menores cotas altimétricas estão na parte sul do PNI, aumentando progressivamente na direção Norte. Com alusão as declividades os menores percentuais também se concentraram ao sul, e nas áreas centro-norte houve maior variação entre as declividades, ocorrendo desde a menor (<3%) até as mais elevadas, tal como a classe >50%.

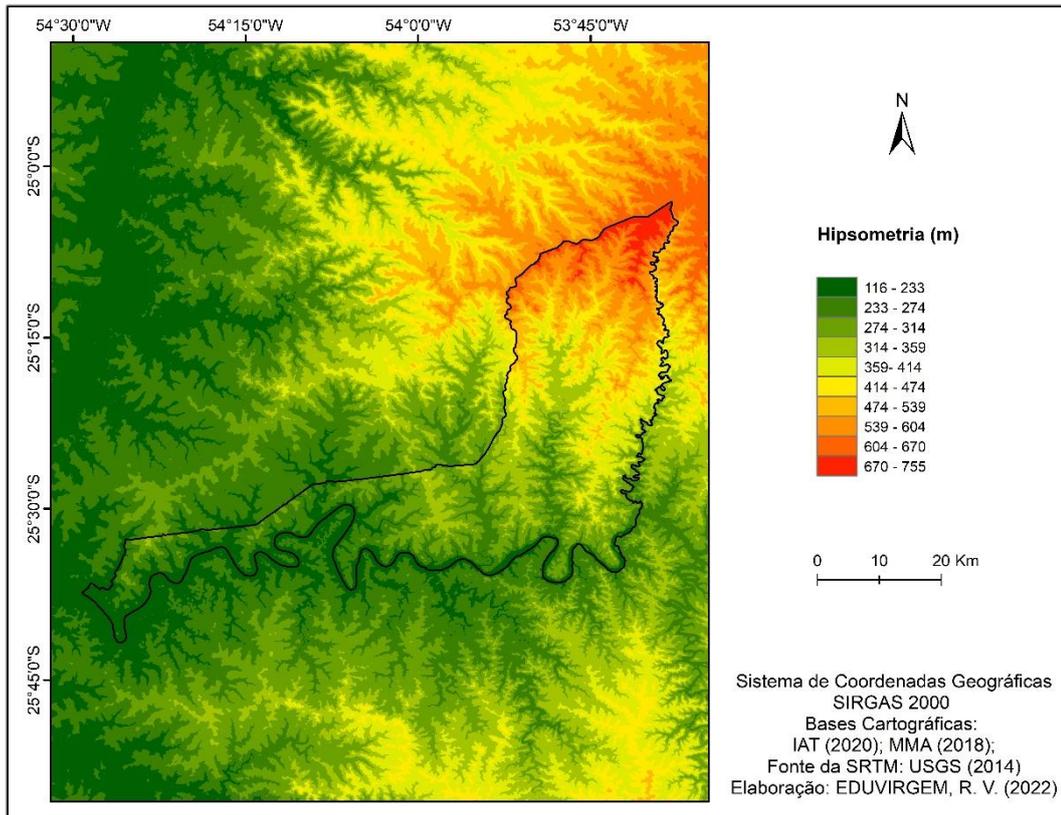


Figura 06 – Mapa altimétrico do Parque Nacional do Iguazu (PNI)

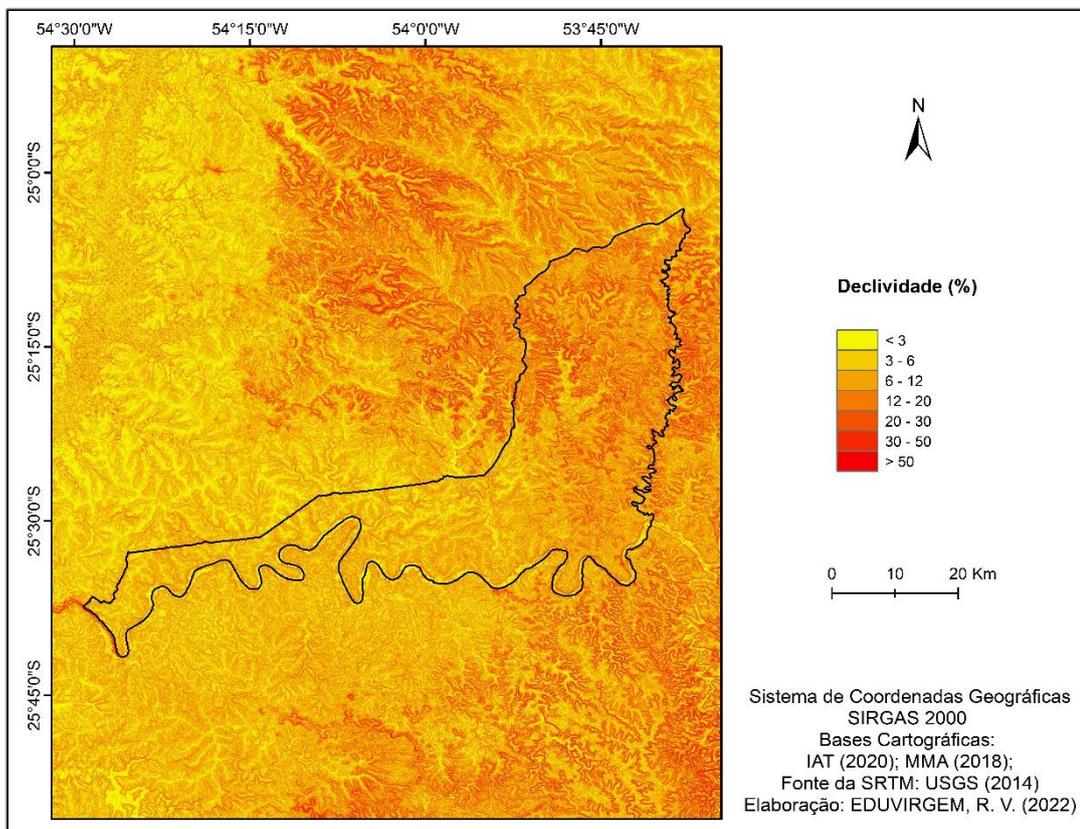


Figura 07 – Mapa de declividade do Parque Nacional do Iguazu (PNI)

2.2 ESTAÇÃO ECOLÓGICA MUNICIPAL FRANCISCO PASCHOETO

A EEMFP localiza-se no município de Reserva do Iguaçu, na região Sul do estado do Paraná com distância de mais de 200 km do PNI (Figura 08).

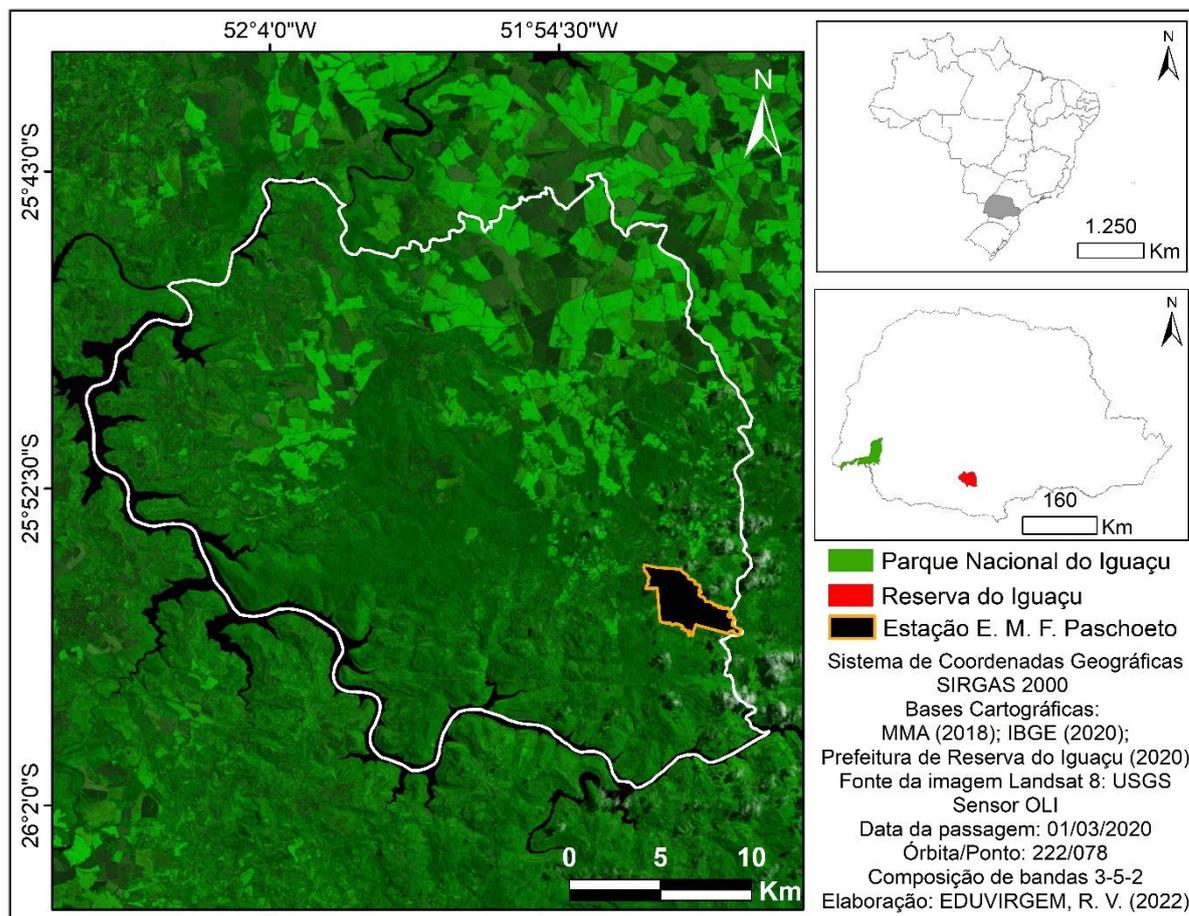


Figura 08 – Mapa de localização da Estação Ecológica Municipal Francisco Paschoeto, Reserva do Iguaçu, Paraná

A formação fitogeográfica da EEMFP é composta por Floresta Ombrófila Mista (FOM) Montana, havendo nas proximidades – cerca de 2,5 km – Estepe Gramíneo Lenhosa (EGL) e Floresta Estacional Semidecidual (FES). A FES, originalmente, recobre as áreas próximas do rio Iguaçu e afluentes, a sudoeste da EEMFP; a FOM Montana apresenta distribuição espacial mais ampla em relação às demais; a EGL está a noroeste da Estação Ecológica. Ressalta-se que a FOM Alto-montana localiza-se a leste da EEMFP (Figura 09).

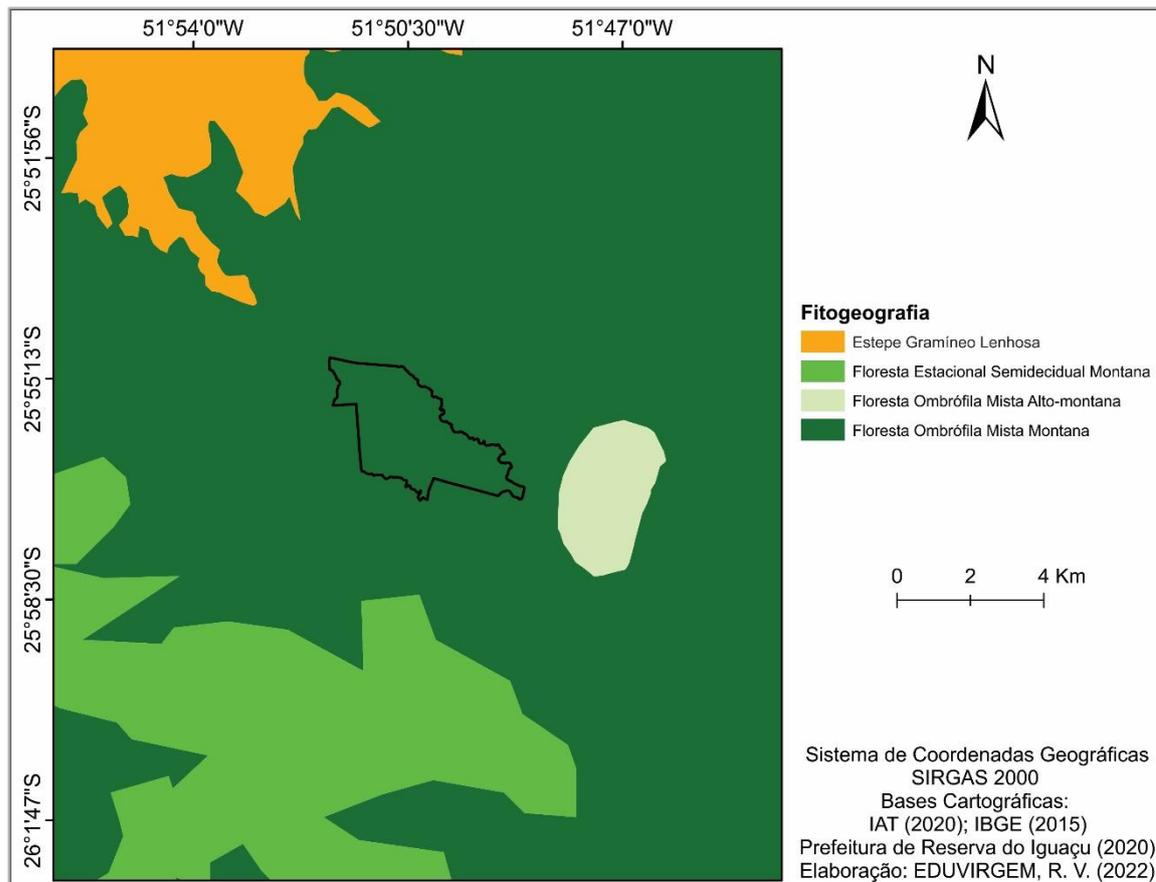


Figura 09 – Mapa fitogeográfico da Estação Ecológica Municipal Francisco Paschoeto, Reserva do Iguaçu, Paraná

Com relação aos solos da EEMFP há NEOSSOLOS LITÓLICOS e LATOSSOLOS VERMELHOS (EMBRAPA, 2008). O primeiro predomina na parte centro-sul e o segundo na parte centro-norte da Estação Ecológica (Figura 10).

No tocante as cotas altimétricas, a EEMFP apresenta amplitude de 444 m. A cota altimétrica mais baixa é de 721 m e a mais elevada de 1.165 m. A área limítrofe da estação ao sul está aproximadamente 6 km do rio Iguaçu, enquadrada na classe hipsométrica de 721-776 m; em síntese, as demais cotas altimétricas tendem a elevar-se de sudeste para noroeste (Figura 11).

As classes de declividades variaram de <3% a >50%. As áreas com maior declividade localizam-se na parte sul e sudeste da EEMFP, enquanto as áreas com relevo menos declivosos estão presentes na parte central e noroeste (Figura 12).

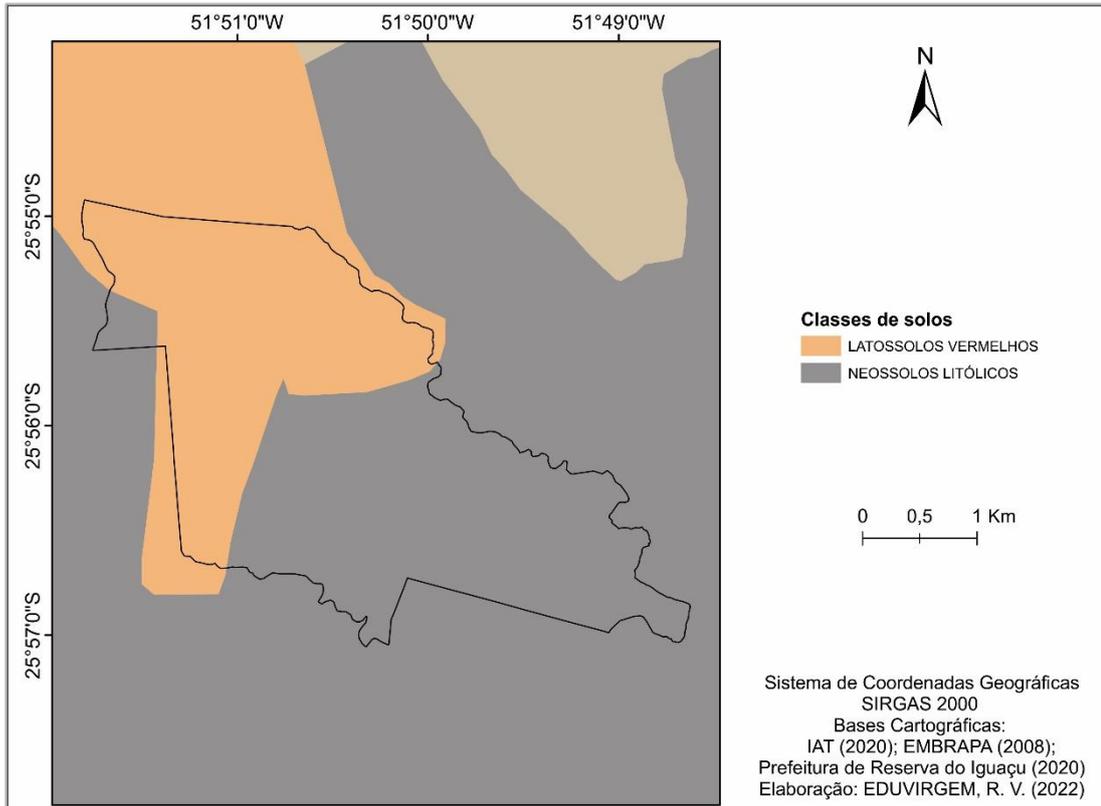


Figura 10 – Mapa de solos da Estação Ecológica Municipal Francisco Paschoeto, Reserva do Iguazu, Paraná

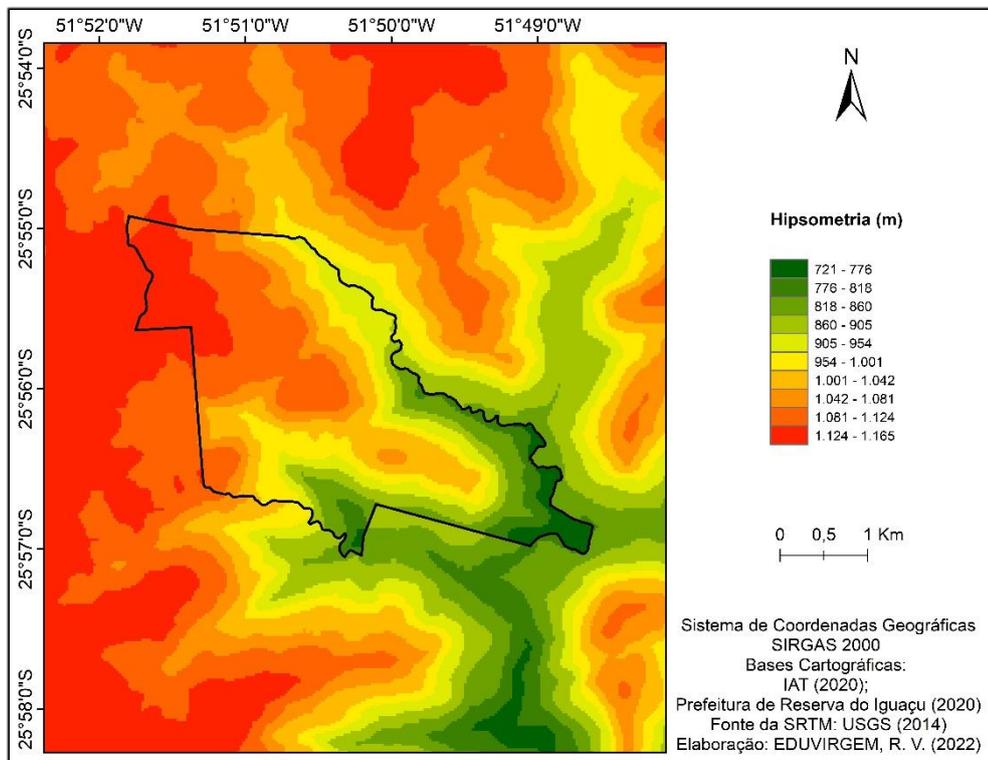


Figura 11 – Mapa hipsométrico da Estação Ecológica Municipal Francisco Paschoeto, Reserva do Iguazu, Paraná

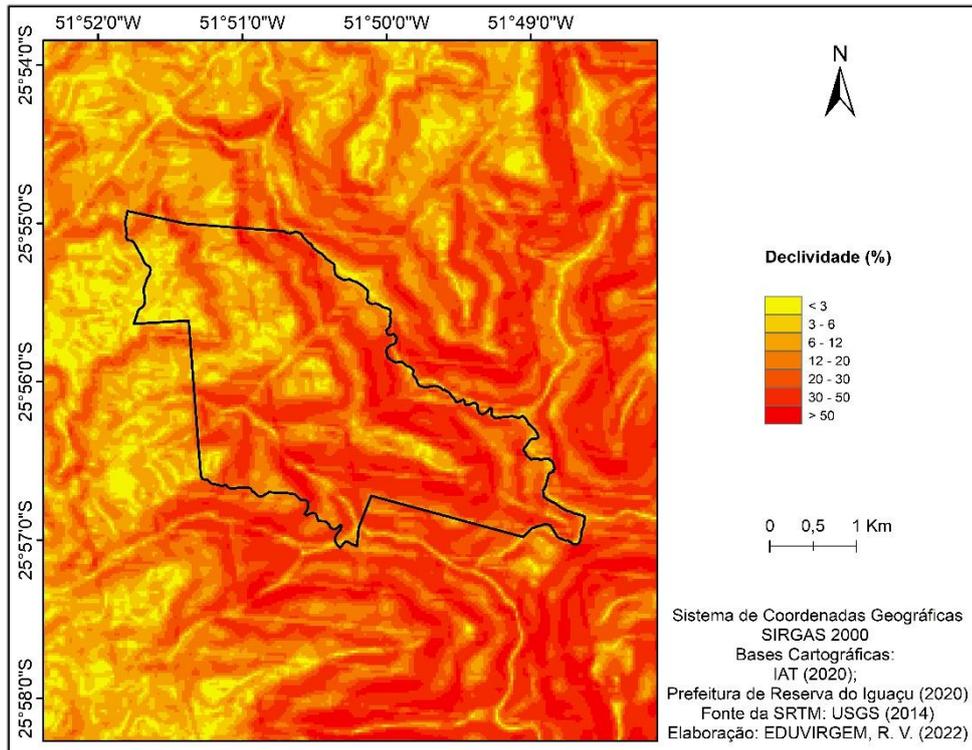


Figura 12 – Mapa de declividade da Estação Ecológica Municipal Francisco Paschoeto, Reserva do Iguaçu, Paraná

3 ANÁLISES MICROPALAEONTOLÓGICAS E ISOTÓPICAS

A micropaleontologia é o ramo da Paleontologia¹ que estuda os fósseis² que são visualizados com o auxílio de lupas ou microscópios. Dessa forma, torna possível a qualificação e quantificação dos microfósseis.

Nessa pesquisa, foram utilizadas, para fins da reconstrução paleobiogeográfica, análises com os seguintes “proxies”: fitólitos, espículas de esponja de água doce, $\delta^{13}\text{C}$ e $\delta^{15}\text{N}$. Portanto, esta seção apresenta os elementos teóricos que fundamentam cada análise, bem como promove uma revisão de literatura sobre os “multiproxies” no período mais recente da Terra - Quaternário (composto pelas épocas Pleistoceno e Holoceno) - em conjunto com os paleoclimas.

3.1 FITÓLITOS: HISTÓRICO E APLICAÇÕES

Os estudos sobre fitólitos remontam ao século XIX, como evidenciado nos trabalhos realizados por Charles Darwin (1809-1882) na década de 1830 – quando o termo fitólito ainda não havia sido desenvolvido – e Ehrenberg (1846)³ “apud” Wüst e Bustin (2003), que denominou as micropartículas como “Phytolitharien”. Somente após duas décadas, em estudo realizado por Ruprecht (1866)⁴ “apud” Baker (1959) ocorreu à denominação de “Phytoliths”.

No Brasil, os estudos sobre fitólitos iniciaram na década de 1960 com as análises realizadas por Sendulsky e Labouriau (1966)⁵ “apud” Sôndahl e Labouriau (1970) e, Campos e Labouriau (1969). Após esses trabalhos, os volumes de análises foram crescentes na década de 1990, tendo a cada ano mais pesquisadores debruçando-se sobre essa linha de análise, tanto em fitólitos de plantas atuais como os preservados em solos e sedimentos. Ainda com alusão ao país, Aguiar et al. (2019) identificaram que há maior concentração (45,7%) de trabalhos na região Sudeste.

Os fitólitos são pequenas partículas de sílica hidratada que são formadas durante o desenvolvimento de algumas plantas, sendo liberados no solo ao fim do ciclo de vida com a sua

¹ Termo utilizado na literatura pela primeira vez em 1834, cujo significado é estudo dos seres antigos (CARVALHO, 2010).

² Tem origem do termo latino *fossilis*, extraído da terra (CARVALHO, 2010).

³ EHRENBURG, C. G. Über die vulkanischen Phytolitharien der Insel Ascension. **Monatsberichte der Königlich Preussischen Akademie der Wissenschaften zu Berlin**, p. 191-202, 1846.

⁴ RUPRECHT, F. Geobotanical Investigations on Chernozem. **Academy of Sciences of the U.S.S.R.**, 1866.

⁵ SENDULSKY, T.S.; LABOURIAU, L. C. Corpos silicosos de gramíneas dos Cerrados. I. In Labouriau, L. G. (Ed.) II Simpósio sobre o Cerrado, **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, 38, suplemento. 1966. p. 159-170.

decomposição (FOLGER et al., 1967; SHAHACK-GROSS et al., 1996; MADELLA, 2007; LUZ et al., 2015). Rovner (1971) e Thorn (2004) complementam que os fitólitos são amorfos, acumulam-se dentro ou no entorno das células dos tecidos das espécies vegetais e são conhecidos como opala fitobiogênica, silicofitólitos e biomineralização de sílica.

Como trata-se de corpos silicosos, há plantas que podem acumular quantidades superiores de sílica, sendo consideradas como as principais concentradoras de Si e, conseqüentemente produtoras de fitólitos, espécies da família Poaceae. Ademais, as monocotiledôneas e dicotiledôneas acumulam quantidade significativas de sílica (RUNGE, 1999). Piperno (2006) aponta, dentre as monocotiledôneas, a família Poaceae como uma das que mais produzem fitólitos.

Existem várias pesquisas sobre fitólitos utilizando, principalmente, a família Poaceae. Um exemplo da produção da composição de sílica é dado no trabalho de Rasbold et al. (2012) no qual foi determinado a massa de sílica para *Chloris elata* Desv. (1,87%) e *Chloris gayana* Kunth (5,12%). Outro exemplo são os estudos realizados por Welle (1976) e Motomura et al. (2004) que denotaram a produção de sílica em quantidades superiores na família Poaceae.

Boydjian (2007) indica que o desenvolvimento e formação dos fitólitos dependem de variáveis como ambiente e clima em que a espécie se desenvolve, sua idade, a natureza do solo e até mesmo a qualidade da água. Piperno e Pearsall (1993) detectaram que a produção de fitólitos está ligada a genética e processos de silicificação. Assim, podendo influenciar na morfologia dos morfotipos.

Os fitólitos são encontrados não somente nas plantas e solos, mas também nos fundos dos mares, pela deposição de partículas de solos que foram transportadas sobre os mares (FOLGER et al., 1967; DORMAAR; LUTWICK, 1969). Madella e Lancelotti (2012) determinaram como ocorre o transporte eólico de fitólitos desde à suspensão até a deposição na superfície.

Os fitólitos também estão presentes em serapilheira. Na literatura encontrou-se os trabalhos de Raitz (2012), Golovati et al. (2013) e Monteiro et al. (2015).

Armitage (1975) desenvolveu estudo sobre fitólitos encontrados em resíduos de alimentos nos dentes de bovinos. Wesolowski et al. (2007) encontraram também em dentes humanos (placa bacteriana/tártaro). No presente estudo, os fitólitos foram recuperados de amostras de plantas, serapilheira, turfeira, solos e sedimentos.

Ante o exposto, observa-se a importância dos fitólitos e, por isso, será demonstrada uma breve trajetória dos estudos sobre esse microfóssil. A escala temporal elencada é do final do século XX a 2019.

De acordo com o trabalho realizado por Jiang (1995) as análises de fitólitos podem auxiliar na compreensão da origem e dispersão da agricultura de arroz. Estudos com esse enfoque podem auxiliar no mapeamento da dispersão de famílias que possuem a produção de fitólitos específicos, tornando possível o acompanhamento da agricultura produzida pelo *Homo sapiens* Linnaeus, 1758.

Kealhofer (1996) realizou a reconstrução paleoambiental utilizando fitólitos recuperados de um testemunho de 6,18 m coletado no Lago Kumphawapi, localizado no nordeste da Tailândia. Foi denotado que ocorreram mudanças climáticas, geomorfológicas e culturais na paisagem, assim como flutuações distintas na vegetação e evidências diretas de fitólitos queimados, sugerindo a possibilidade da queima de floresta decídua no início do Holoceno. A autora frisou que as mudanças paleoambientais para área, ultrapassaram o âmbito dos fenômenos ambientais, sendo as práticas de cultivo importantes para compreensão das alterações, uma vez que se inferiu que as queimadas diminuiriam após o cultivo de arroz.

Alexandre et al. (1997) afirmaram que além das análises dos fitólitos de tempos pretéritos, faz-se importante a análise de coleção de referência de fitólitos para comparação. Esses diagnósticos comparativos são fundamentais, pois além da comparação dos fitólitos, os extraídos de plantas podem apresentar um novo fitólito, novas características, ou mesmo um já existente, no entanto produzido por família distinta.

Barboni et al. (1999) e Runge (1999) salientam a importância da exploração fitolítica, pois as diferenciações nos formatos podem auxiliar na compreensão das distintas coberturas vegetais do solo, ao longo do tempo, como exemplo, as variações de florestas e pastagens.

Em áreas de dunas, Horrocks et al. (2000) identificaram que os fitólitos estavam presentes ao longo da sequência estudada. Os fitólitos de gramíneas aumentaram à custa de fitólitos de árvores após a ocorrência de incêndios e apresentaram relação biogeográfica com o ambiente em tempos remotos, com possível dominância ora de cobertura arbórea, ora de vegetação rasteira. Os autores ainda enfatizaram que os fitólitos são importantes, pois possibilitam indicar características ambientais com alternância entre períodos secos e úmidos, podendo apresentar relação entre os fitólitos e as mudanças climáticas no Quaternário (CARTER; LIAN, 2000).

Kerns (2001) analisou fitólitos da espécie arbórea *Pinus ponderosa* Lawson & C. Lawson e conseguiu extrair oito formas de fitólitos, incluindo o fitólito diagnóstico da espécie estudada.

Strömberg (2002) analisou os ecossistemas dominados por gramíneas no Terciário na América do Norte e concluiu que os fitólitos são fonte interpretável de dados paleobotânicos que podem ser diretamente relacionados não somente com espécies vegetais, mas também com comunidades de mamíferos.

Ante o exposto pode-se observar que os fitólitos são estudados em ambientes distintos, desde áreas mais úmidas às mais secas. Os fitólitos também são utilizados em ambientes costeiros, como no trabalho desenvolvido por Lu e Liu (2003), em que os autores colheram trinta e quatro espécies de gramíneas para análise dos fitólitos, no sudeste dos Estados Unidos da América (EUA) nos estados da Geórgia, Louisiana e na Flórida. Os autores comprovaram que cada um dos principais ambientes costeiros produziu assembleias de fitólitos distintas e abundantes. Dessa forma, é possível afirmar que pesquisas com essa ênfase, devem ser continuadas não somente nos ambientes costeiros, mas também nos diversos ambientes do planeta.

Quanto às vantagens na determinação de alterações ambientais com a utilização de fitólitos, Bremond et al. (2004) realizaram investigação no mediterrâneo e chamaram a atenção para a confiabilidade do uso de fitólitos para essa região. Os autores não encontraram evidências suficientes para estabelecer mudanças na região do mediterrâneo utilizando fitólitos de gramíneas, sendo necessário mais estudos. Assim, frisa-se a importância do diagnóstico fitolítico de gramíneas presentes na região e da cobertura arbórea. Ainda com menção aos fitólitos de árvores, há necessidade de estudos em diversas partes da Terra.

Parr e Sullivan, (2005) promoveram a análise do papel do carbono orgânico ocluído dentro de fitólitos, comprovando-se que esse carbono dentro de fitólitos é altamente resistente à decomposição no ambiente de solo, e o acúmulo é importante no sequestro terrestre de carbono do solo.

Ball et al. (2006) desenvolveram trabalho sobre a morfometria dos fitólitos de bananeiras. Os autores discutiram essa temática entre duas espécies (*Musa acuminata* Colla e *Musa balbisiana* Colla) sugerindo que a domesticação da banana, não influenciou a morfometria dos fitólitos. Estudos como esses são importantes, porque promovem a ascensão das análises morfométricas dos microfósseis de opala biogênica, proporcionando a distinções em nível de detalhe. Piperno (2006) desenvolveu um guia de comparação com diversas espécies

e os fitólitos extraídos, dentre tantas descritas, tem-se como exemplo fitólitos de *Musa* sp. com descrição das características morfológicas.

Com relação à preservação dos fitólitos, Barboni et al. (2007), em considerações realizadas na África intertropical, demonstraram que o conjunto de fitólitos são bem preservados nos primeiros centímetros dos solos. Além disso, os autores comprovaram que as assembleias de fitólitos possibilitam correlacionar (correlação estatística) à densidade da cobertura da vegetação arbórea utilizando o sensor “Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer” (MODIS). No trabalho, foram determinadas correlações positivas e significativas (em $p < 0,005$) entre a porcentagem de cobertura arbórea estimada por imagens de satélite e a abundância de fitólitos globulares. Não obstante, cabe a ressalva que há possibilidades de super e subestimativas por satélites da cobertura arbórea, levando a correlações não perfeitas com os fitólitos globulares.

Com alusão a deposição de fitólitos, Albert et al. (2008) postulam que biomineralizadores também estão relacionados à decomposição das fezes de animais, uma vez que eles se alimentam de gramíneas que passam pelo sistema digestivo e o excremento com fitólitos são depositados no ambiente.

Os fitólitos possuem estabilidade nos solos, por este fato, são dados “proxy” confiáveis. Não obstante, há ensaios que simulam o transporte desses microfósseis em sedimentos arenosos nos primeiros centímetros de solo, tal como o desenvolvido por Fishkis et al. (2009), que encenaram episódios de precipitação pluvial por irrigação, no qual os autores afirmaram que a distância média ponderada de deslocamento dos fitólitos foi de $2,23 \pm 1,13$ mm na irrigação de baixa frequência, e $3,01 \pm 0,19$ mm em alta frequência, por uma série de 5 meses. Tais observações são importantes, todavia, deve-se atentar que eles podem não ser realizados em solos naturais por limitações de controle.

Investigações sobre a extração de fitólitos podem ser encontradas em Katz et al. (2010), que desenvolveram uma metodologia de extração rápida de fitólitos, cujos autores a elaboraram com o propósito de utilizá-la em campo. Santos et al. (2011b) elaboraram procedimento metodológico que possibilita maior recuperação de fitólitos em solo. Dessa forma, evidencia-se que pesquisadores se debruçam para melhorar os métodos de extração de fitólitos, que estão expressos na literatura, tanto para utilização no momento da coleta, bem como em laboratório.

Com relação aos fitólitos presentes em solos de florestas, Mercader et al. (2011), em Moçambique, conseguiram descrever assembleias de fitólitos de solos superficiais em 25 locais. Um dos diferenciais no estudo realizado por esses autores foi o método de escolha dos locais,

em que delinearão os pontos amostrais por um eco-transecto, além de análises – estatísticas – paramétricas e não paramétricas. Os autores ainda encontraram fitólitos significativamente diferentes da cobertura vegetal moderna, mesmo em horizontes superficiais do solo. Não foram encontradas diferenças significativas de fitólitos em terras altas e baixas. Por fim, os fitólitos que correspondem às árvores, representaram valores superiores a 50%. Esse resultado é importante, porque, na maior parte dos trabalhos, os fitólitos de gramíneas são majoritários.

Para além das ações antrópicas, os fitólitos possibilitam também diferenciar ecossistemas neotropicais, como estudo desempenhado por Dickau et al. (2013). Os autores diagnosticaram variação da vegetação, tais como floresta de savana, floresta perene, floresta semidecídua, distintos estratos de savana e áreas com inundações sazonais no sudoeste da Amazônia.

Coe et al. (2013) trabalharam as mudanças da vegetação no Holoceno por meio de assembleia fitolítica da cobertura arbórea em Cabo Frio, Rio de Janeiro, Brasil. Os autores dentre as análises realizadas, promoveram a comparação entre assembleia fitolítica do solo com a assembleia fitolítica da vegetação moderna. Essas comparações tornaram-se possíveis graças aos estudos realizados com assembleias modernas, assim, ressalta-se a importância do aumento de análises fitolíticas de plantas atuais.

Fitólitos também abrangem análises em raízes aéreas respiratórias de plantas de ambientes de mangues. Das et al. (2014) promoveram análise de morfotipos de fitólitos em Sunderbans indianos, oriundos da aeração de raízes de plantas de ecossistema de floresta de mangue em sistema deltaico. A contribuição dos autores foi fundamental, uma vez que foram determinados os morfotipos “Block”, “Elongate”, “Globular echinate”, “Bulliform cuneiform” e “Cavate”, tendo os morfotipos “Block” e “Elongate” medições realizadas, servindo de parâmetros para outros estudos.

Albert et al. (2015) analisaram ambientes com diferentes vegetações no norte da Tanzânia, tais como campos, floresta aberta, floresta fechada, planície de inundação e áreas com Areaceae. Os autores promoveram o reconhecimento dos fitólitos, e afirmaram que os microfósseis de opala biogênica representam a vegetação local.

Lorente et al. (2015) analisando a costa oeste do estado do Espírito Santo, Brasil, durante o Holoceno, determinaram, utilizando fitólitos, domínio de dicotiledôneas entre ~7.589 anos cal AP e ~5441 anos cal AP (idade interpolada) e, de Poaceae e dicotiledôneas até o presente. Desse modo, percebe-se que os fitólitos são uma excelente ferramenta para determinação da paleovegetação durante o Quaternário.

As assembleias de fitólitos de solos podem ter enriquecimento e perda ocorrendo em proporções diferenciadas. Feng et al. (2017) contextualizaram a relação de perda ou enriquecimento dos fitólitos estar associada às suas dimensões. Os fitólitos com características robustas, espessos e grandes foram os mais enriquecidos e estáveis na pesquisa realizada.

Parolin et al. (2017) recuperaram fitólitos de um testemunho – coletado no Morro da Pedra Branca no município de Ortigueira, Paraná – em que, os morfotipos predominantes foram “Rondel”, “Saddle” e “Bilobate” que correspondem à família Poaceae. Os autores encontraram outros morfotipos, tal como o “Globular echinate”, todavia com baixa expressividade em relação aos morfotipos correspondentes à família Poaceae. Por tal fato, os autores concluíram que a paleovegetação predominante correspondeu à campestre.

Silva Neto (2018), estudando ambientes altomontanos no estado do Espírito Santo, identificou que os fitólitos presentes nos primeiros 10 cm de solo corresponderam à vegetação atual. De modo geral, todos os perfis apresentaram densa quantidade de fitólitos, todavia com variabilidade entre as profundidades amostradas.

Contreras et al. (2019) realizaram pesquisa no nordeste da Argentina, em sedimentos fluviais relacionados a diferentes épocas ao Rio Paraná, e detectaram na reconstrução paleoambiental que houve transição de vegetação lenhosa para palmeiras, áreas úmidas e pastagens.

Villwock et al. (2019) avaliaram a paleovegetação do Cerrado de Jaguariaíva, Paraná. Os autores sugeriram, por meio da assembleia fitolítica, que a vegetação campestre na região é antiga e o Cerrado sempre foi entremeado por palmeiras. Denotou-se também oscilações climáticas com redução da umidade e agravamento de estresse hídrico da vegetação.

Stevanato et al. (2019) determinaram novas características do fitólito “Papillae”. A extração de fitólitos de plantas é importante, pois fornece informações que podem auxiliar nas pesquisas de fitólitos de testemunhos de solos e sedimentos, auxiliando em reconstruções paleoambientais.

Em estudos que objetivam reconstruções paleobiogeográficas, há possibilidade de utilizar índices fitolíticos. Cada índice auxilia na determinação de condições ambientais e climáticas em que a flora e fauna se desenvolveram. Os índices são: Índice de cobertura arbórea (D/P) elaborado por Alexandre et al. (1997) e adaptado por Bremond et al. (2005a); Índice de adaptação à aridez (Iph) desenvolvido por Diester-Haass et al. (1973); Índice Climático (Ic) implementado por Twiss (1987); e Índice de estresse hídrico (Bi) em que o mérito é de Bremond et al. (2005b). Estes índices estão detalhados no item 4.

Diante do exposto, é possível afirmar que os fitólitos são imprescindíveis para reconstrução paleoambiental, por guardarem os registros pretéritos no solo (MADELLA, 2007), e para a reconstrução paleobiogeográfica.

3.1.1 Classificação dos fitólitos

A classificação foi um grande passo na conjuntura dos trabalhos sobre fitólitos. A comparação de fitólitos de plantas contemporâneas com as de testemunhos sedimentares foi realizada por Smithson (1956). O autor fez a comparação utilizando gramíneas, tornando possível a distinção de morfotipos de duas subfamílias: Pooideae e Panicoideae (nas atuais nomenclaturas).

Dentre as tentativas de classificação que obtiveram sucesso, Twiss et al. (1969) promoveram a proposta utilizando gramíneas das subfamílias: Pooideae, Chloridoideae e Panicoideae. Entre os diversos morfotipos encontrados pelos autores o “Elongate” foi presente em todas as amostras. Entretanto, os morfotipos “Bilobate”, “Cross”, “Saddle”, permitiram diferenciar as subfamílias. Em estudos posteriores os morfotipos encontrados por Twiss et al. (Op. Cit.) foram acrescidos com mais subfamílias produzindo os mesmos morfotipos (MULHOLLAND, 1989).

Ainda com relação aos autores supracitados, evidencia-se outra importância que condiz com as divisões das partes das plantas que produzem fitólitos, tal como a epiderme. A continuidade dos resultados obtidos por Twiss et al. (Op. Cit.) delineou-se com os trabalhos de Ball et al. (2006), Rasbold et al. (2011), Raitz et al. (2015), entre outros.

Com intuito de ampliar as pesquisas, Barboni e Bremond (2009) realizaram análise de assembleia fitolítica de 184 espécies de Poaceae. Os autores identificaram dois gêneros de Chloridoideae que produzem o morfotipo “Rondel” (<15 µm) morfologicamente semelhantes, no entanto, menores em tamanho em relação ao “Rondel” de Pooideae (>15 µm). O detalhamento da morfologia dos fitólitos é fundamental, pois permitem identificar em testemunhos de sedimentos e solos quais subfamílias e espécies possivelmente produziram os morfotipos, proporcionando análises mais detalhadas.

A esse respeito, é fundamental trabalhar os conceitos de redundância e multiplicidade nas formas. A redundância consiste na produção de um morfotipo específico para determinados táxons. A multiplicidade constitui na elevada quantidade de morfotipos por um táxon (ROVNER, 1971).

Com alusão a escolha ideal para a nomenclatura de fitólitos visualizada nos trabalhos publicados, observa-se que há diversidade de nomenclaturas, uma vez que notou-se morfotipos idênticos com nomes distintos. Entre as tentativas de soluções há as nomenclaturas internacionais para fitólitos, códigos internacionais que levam em conta o formato do morfotipo, textura e anatomia do “proxy” (MADELLA et al., 2005; NEUMANN et al., 2019).

Piperno (2006) desenvolveu um guia com aparecimento de morfotipos característicos de diversas famílias, inclusive de arbóreas. Por esse fato, é comum autores utilizarem a nomenclatura de morfotipos, não exclusivamente as internacionais do parágrafo anterior, mas também a nomenclatura do guia desenvolvido por Piperno (2006). A figura 13 apresenta um resumo das principais morfologias fitolíticas.

Morfologia	Táxon	Representação <small>Madella et al. (2005)</small>
Bilobate	Gramíneas Panicoideae C4, também algumas Panicoideae C3; Chloridoideae, Arundinoideae e Bambusoideae	
Rondel	Gramíneas Pooideae C3, Bambusoideae C3	
Saddle	Gramíneas Chloridoideae C4; algumas Bambusoideae C3, Arundinoideae C3	
Elongate psilate	Gramíneas long cells de todas as gramíneas	
Elongate echinate	Gramíneas long cells de todas as gramíneas	
Trapeziform	Gramíneas Pooideae	
Bulliform Cuneiform	Gramíneas células buliformes de todas as epidermes	
Acicular hair cell	Gramíneas células buliformes de todas as epidermes e também em Arecaceae	
Globular psilate	Eudicotiledóneas (epidermes de folhas e parênquima) Gramíneas (raízes e sementes)	
Globular granulate	Eudicotiledóneas lenhosas folhas e troncos de árvores, além de arbustos tropicais	
Globular echinate	Arecaceae Bromeliaceae Marantaceae Troncos e folhas	

Figura 13 – Nome, táxon e ilustração das principais morfologias fitolíticas
Fonte: Adaptado de Coe (2009)

3.2 ESPONJAS CONTINENTAIS E ESPÍCULAS

As esponjas compõem o Filo Porifera, cujos animais são bentônicos sésseis, ou seja, são fixos no substrato, podendo ser rochas, raízes de árvores, macrófitas entre outros substratos existentes. Sua sustentação ocorre pelo esqueleto mineral formado pelas espículas, que possuem estrutura a base de sílica (opala), impreterivelmente quando esses animais são oriundos de água doce. Ademais, as esponjas podem ter origem marinha, sendo estruturadas tanto por carbonato de cálcio quanto por sílica (LIMA, 2008; DOCIO et al., 2021a).

Os estudos sobre as estruturas modernas de esponjas e espículas são fundamentais para darem aporte às pesquisas de reconstrução paleobiogeográfica, uma vez que ocorre a comparação dos microfósseis com informações da anatomia animal. Trabalhos que possibilitam esse aporte podem ser observados em Moura (1958); Harrison et al. (1979); Parolin et al. (2008); Ehrlich et al. (2013); George et al. (2018) e Docio et al. (2021b).

De acordo com Rezende (2010), a fisiologia e morfologia das esponjas não eram conhecidas com detalhes até o século XVIII, mas com o passar das décadas ocorreu o detalhamento e explicações das origens das esponjas. As esponjas de água doce foram originadas das esponjas marinhas, possivelmente no Pré-Cambriano (VOLKMER-RIBEIRO; PAULS, 2000; BRUSCA; BRUSCA, 2007).

No território brasileiro, os registros pioneiros de esponjas de água doce se deram na Amazônia por naturalistas europeus no século XIX. Nesse período realizou-se a descrição de 17 espécies. No século XX, os trabalhos sobre espongiofauna continentais foram reduzidos, no entanto, com continuidade paulatina. Da década de 1960 em diante os estudos reavivam e aumenta-se o número de expedições no Sul do Brasil e na Amazônia e dessa vez as pesquisas são realizadas por pesquisadores brasileiros. Essa evolução nas análises de espongiofauna foi fundamental para a descoberta de novas espécies (PINHEIRO, 2007; BATISTA, 2012). No século XXI, há maior número de pesquisas nas regiões Sul e Sudeste, sequenciadas pelas regiões Norte, Centro-Oeste e Nordeste (KALINOVSKI et al., 2016).

As esponjas com ocorrência em águas continentais são classificadas em seis famílias atuais e uma fóssil, sendo: “Metaniidae, Potamolepidae, Spongillidae, Lubomirskiidae, Malawispongiidae, Metschnikowiidae e Paleospongillidae” (BATISTA, Op. Cit., p. 10).

A comunidade Porifera totaliza 9.489 espécies válidas e conhecidas em escala global (VAN SOEST et al., 2022). Das espécies existentes em nível mundial, 230 são de esponjas continentais do filo Porifera, dessas foram detectadas 53 no Brasil, sendo significativas para a

América do Sul (VOLKMER-RIBEIRO; MACHADO, 2017). Entretanto, acredita-se que esse número possa ser superior ao estimado pelos autores, uma vez que não foram levados em conta alguns levantamentos, realizados no estado do Paraná. O número crescente de novas detecções de espécies continentais, contribui para a América do Sul ser uma das mais ricas do planeta (VOLKMER-RIBEIRO, 2007).

Esse número crescente de espécies é importante, porque de maneira geral, algumas esponjas, normalmente, indicam qualidade da água, tal como *Sterrastrolepis brasiliensis* Volkmer-Ribeiro & De Rosa-Barbosa, 1978, que ocorre em ambientes com correnteza e oxigenação (VOLKMER-RIBEIRO; PAROLIN, 2010). As ações antrópicas são prejudiciais à existência de esponjas continentais, devido ao potencial de poluição, uma vez que, em um mesmo curso d'água pode não haver esponjas em determinado local, e em outro sim, tal como o rio Tiete em São Paulo, onde há esponjas detectadas no médio e baixo curso, até o momento (PINHEIRO et al., 2003).

O esqueleto das esponjas constitui-se por espículas, carbonáticas (esponjas marinhas) ou silicosas (esponjas marinhas e de água doce), que entrelaçam-se constituindo uma trama complexa, gerando sustentação ao corpo principal, assim, servindo de estrutura para as células vivas (VOLKMER-RIBEIRO; PAROLIN, 2010).

Pesquisas relacionando esponjas de água doce são essenciais para proporcionar o aumento do banco de dados, possibilitando a comparação entre as espículas presentes nas esponjas com as encontradas em turfa, solos e sedimentos. As espículas configuram-se como um importante dado “proxy” para reconstrução paleobiogeográfica.

Os trabalhos empregando espículas de esponjas na questão paleoambiental iniciaram-se em meados da década de 1960 (SILVA et al., 2012). No hemisfério norte reconstruções paleoambientais com espículas de esponjas foram realizadas por Racek (1970), Hall e Herrmann (1980), Harrison et al. (1979), Harrison (1988), Gaiser et al. (2004). No território brasileiro, a reconstituição paleoambiental com esse indicador “proxy” no âmbito continental, foi iniciada na Serra dos Carajás, Amazônia (MARTIN et al., 1992; SIFEDDINE et al., 1994; VOLKMER-RIBEIRO; TURCQ, 1996; SIFEDDINE, 2001).

As esponjas podem apresentar três variações de espículas, sendo as megascleras, microscleras e gemoscleras (VOLKMER-RIBEIRO; PAULS, 2000). As megascleras são espículas que compõem a rede do esqueleto da esponja. As microscleras compõem também o esqueleto, no entanto, as espículas geralmente apresentam tamanho inferior. As gemoscleras são espículas que estão presentes no interior da gêmula, as quais definem espécie, gênero e

famílias de esponjas de água doce (LIMA, 2008). A autora ainda afirma que as espículas silicosas são potencialmente bem preservadas em sedimentos.

As espículas permanecem no ambiente após o período senil, em que ocorre a desintegração da matéria orgânica, restando apenas as espículas soltas nas partículas de sedimentos (BATISTA, 2012).

No Brasil, os estudos com espículas de esponjas começaram em João Pinheiro, Minas Gerais. Primeiramente denominaram de “pó-de-mico”, posteriormente acreditou-se que fossem fitólitos, somente após uma revisão em bibliografia internacional, concluiu-se que o composto de sílica que estava sendo analisado eram espículas de esponjas (COSTA et al., 1992).

Os estudos utilizando espículas de esponjas aumentaram com o passar das décadas, sendo este “proxy” fundamental para reconstrução paleobiogeográfica.

Parolin et al. (2007), em estudo realizado no alto Rio Paraná - Brasil, encontraram e recuperaram em sedimentos as espículas de esponjas de *Corvospongilla seckti* Bonetto & Ezcurra de Drago, 1966, *Radiospongilla amazonenses* Volkmer-Ribeiro & Maciel, 1983, *Heterorotula fistula* Volkmer-Ribeiro & Motta, 1995 e *Tubella repens* (Hinde, 1888).

Nos estudos com espongo fácies, além de caracterizar a espécie predominante, realiza-se também a caracterização dos paleohabitats. Parolin et al. (2008, p. 187) remetem esse termo “para as sequências sedimentares as quais espículas de espécies de esponjas continentais predominam e indicam condições paleoambientais específicas”.

No lago de Itaipu, localizado na região sudoeste do estado do Paraná, Brasil, encontraram-se espículas das esponjas *Potamophloios guairensis* n. sp., *T. repens*, *C. seckti*, *R. amazonensis*, *Oncosclera navicella* Carter, 1881 (VOLKMER-RIBEIRO et al., 2010). Em se tratando de outros reservatórios do Brasil, os autores mencionam *Spongilla spoliata sensu* Volkmer-Ribeiro & Tavares, 1993, *Drulia conifera* Bonetto & Ezcurra de Drago, 1973, *Oncosclera intermedia* Bonetto & Ezcurra de Drago, 1973 e *Oncosclera spinifera* Bonetto & Ezcurra de Drago, 1973.

Santos et al. (2011a) desenvolveram análise com propósito de caracterizar espículas de esponjas encontradas em sedimentos paleolacustres da Estação Ecológica Juréia-Itatins, São Paulo. Foram identificadas por meio das espículas, duas espécies de esponjas continentais (*Trochospongilla variabilis* Bonetto & Ezcurra de Drago, 1973 e *H. fistula*) e seis gêneros marinhos (*Tedania* sp., *Acarnus* sp., *Sceptrella* sp., *Pachataxa* sp., *Terpios* sp. e uma Thrombidae). Devido à complexidade que as espículas apresentaram sequencialmente na

estratigrafia e fatores ambientais, os autores optaram por realizar a reconstrução em trabalho posterior.

Com relação ao âmbito espacial que pode abranger as inferências por meio das espículas de esponjas continentais, Rezende (2010) denota que esse “proxy” tem potencial de relações locais, referindo-se principalmente a hidrologia e qualidade da água. No entanto, ressalta-se que condições paleoambientais permitem realizar inferências sobre paleoclimas, porque podem estar correlacionados; exemplos dessa afirmativa são encontrados nos estudos realizados por Zviejkovski et al. (2017) e Rasbold et al. (2019).

Volkmer-Ribeiro e Almeida (2005) coletaram amostras para promover o levantamento da espongofauna do Lago Tupé - lago de água escura na Amazônia - durante a estação seca, em dois momentos. As amostras consistiram não apenas em espécies vivas mas também de coleta de sedimentos do lago. Foi identificado que as espículas presentes em densas quantidades eram oriundas das esponjas vigentes. As espécies identificadas pelas autoras foram *Metania reticulata* Bowerbank, 1864, *D. browni*, *Drulia uruguayensis* Bonetto Ezcurra de Drago, 1968, e *Acalle recurvata* Bowerbank, 1863 (Familia Metaniidae) e espécies do gênero *Tubella* (Família Spongillidae).

Com a finalidade de avaliar a variação do nível do mar por meio dos registros de espículas de esponjas, Silva et al. (2012) depararam-se com espículas de esponjas continentais e marinhas, permitindo inferir que houve flutuações positivas e negativas do nível médio relativo do mar durante o Holoceno, na região de Cananéia-Iguape, estado de São Paulo.

Em estudo realizado no Oeste da Bahia por Santos et al. (2016) em sedimentos lacustres (lagoas na Depressão do São Francisco), verificou-se a presença de períodos com baixa ocorrência de água, formação de lagoa e períodos de predomínio fluvial, com base nas espículas de esponjas recuperadas. Foram identificadas as espículas de *Tubella variabilis* Bonetto & Ezcurra de Drago, 1973⁶, *Radiospongilla inesi* Nicacio & Pinheiro, 2011, *Oncosclera* sp., *Metania spinata* Carter, 1881, *H. fistula*, e *Dosilia pydanieli* Volkmer-Ribeiro, 1992.

Zviejkovski et al. (2017) utilizaram as espículas de esponjas em sedimentos para compreender a evolução da ilha de Porto Rico e sua colonização vegetal. Foram estabelecidas a evolução em cinco zonas e os autores identificaram, por meio das espículas, as seguintes

⁶ Anteriormente utilizava-se a nomenclatura de *Trochospongilla variabilis* Bonetto & Ezcurra de Drago, 1973. Atualmente denomina-se *Tubella variabilis* Bonetto & Ezcurra de Drago, 1973, devido à redescrição promovida pelo taxonomista Ulisses dos Santos Pinheiro. PINHEIRO, U.; NICACIO, G. Resurrection and redefinition of the genus *Tubella* (Porifera: Spongillidae) with a worldwide list of valid species. **Zootaxa**, 3269, p. 65-68, 2012.

espécies: *M. spinata*, *O. navicella*, *Corvoheteromeyenia* sp., e *Oncosclera jewelli*, Volkmer-Riberio, 1963.

Kuerten et al. (2012) caracterizaram um paleoambiente lótico na planície de inundação do rio Nabileque por meio da predominância de determinadas espículas de esponjas. As espículas que predominaram na base correspondiam às espécies *O. navicella*, *M. spinata*, e *C. sekti*, que indicam ambientes semi-lótico a lótico com influência de canal fluvial ativo. Na parte superior do testemunho, foram identificadas espículas que caracterizam esponjas de ambientes lênticos. Essa caracterização, aliada as feições geomorfológicas, indicaram a mudança de leito do rio Paraguai no Holoceno.

Evidências da ocorrência de esponjas em cerâmicas de origem indígena foram encontradas por Rodrigues et al. (2017), configurando-se em estudo zooarqueológico. Os autores encontraram cauxi (Porifera, Demospongiae) em cerâmica na região de Lagoa Santa, Minas Gerais, no sítio arqueológico Vereda III. No trabalho, discute-se a ocorrência de cauxi para além das fronteiras amazônicas. Nesse contexto, observa-se que algumas esponjas não são endêmicas, apresentando ampla distribuição no espaço geográfico, tal como *O. navicella* descrita por Batista (2007) e Batista (2012) em distintos locais do Brasil.

Ante ao exposto, evidencia-se a importância das espículas de esponjas como dado “proxy” fundamental para identificação de ambientes lênticos e lóticos, tempo de residência de água, bem como para a reconstrução paleobiogeográfica.

3.3 ANÁLISES ISOTÓPICAS

Uma das técnicas utilizadas para o entendimento da dinâmica da vegetação é o princípio do fracionamento isotópico pelas plantas de diferentes ciclos fotossintéticos, sendo C₃, C₄ e CAM (PESSENDA et al., 2009). No que concerne a composição das plantas, as mais abundantes são as do tipo C₃ (85%), sequenciada pelas CAM (10%) e C₄ (5%) (PESSENDA, 2010).

Os isótopos estáveis de carbono (¹²C e ¹³C) tornam possível estabelecer se em tempos pretéritos houve, por exemplo, a presença de gramíneas, plantas C₄ ou vegetação mais densa, plantas e gramíneas C₃.

As plantas C₃ possuem valores mais negativos de δ¹³C (-22‰ a -32‰), já as C₄ valores menos negativos (-17‰ a -9‰). Plantas com ciclo fotossintético C₃ e C₄ apresentam diferença aproximada de 14‰.

Os isótopos estáveis de nitrogênio (^{14}N e ^{15}N) estão presentes no planeta Terra em menor proporção em relação ao ^{13}C , dispostos em matéria orgânica. Ainda assim, a empregabilidade do $\delta^{15}\text{N}$ é importante para auxiliar na reconstrução de paleoambientes. O $\delta^{15}\text{N}$ é estabelecido pela razão entre ^{15}N e ^{14}N , disponíveis em plantas terrestres e aquáticas. No entanto, os valores encontrados nas plantas C_3 (plantas terrestres) são inferiores aos encontrados na matéria orgânica com algas (plantas aquáticas) (PETERSON; HOWARTH, 1987).

Na perspectiva de ambientes aquáticos, os fitoplânctons possuem valores distintos ($\delta^{15}\text{N}$) da vegetação terrestre. Os isótopos possibilitam ter a funcionalidade de marcadores para matéria orgânica com origem alóctone e autóctone, sendo um bom indicador para promover tal distinção (PETERSON; FRY, 1987).

Trabalhos com ênfase em reconstrução paleoambiental utilizando $\delta^{15}\text{N}$ e $\delta^{13}\text{C}$ são recorrentes na literatura; pode-se citar como exemplo, Costa (2018), Pereira (2019), Nunes (2020) e Morales (2021).

Ante ao exposto, as análises isotópicas são fundamentais para a reconstrução paleobiogeográfica, tanto para constatação de ambientes terrestres como para aquáticos, em tempos pretéritos do Quaternário.

3.4 RECONSTRUÇÃO PALEOBIOGEOGRÁFICA E PALEOCLIMAS NO PERÍODO GEOLÓGICO MAIS RECENTE DA TERRA

O Quaternário representa o período de 2.6 milhões de anos (Ma), calibrada de 2.588 Ma até o presente (SUGUIO et al., 2005; OROMBELLI et al., 2010; WALKER et al., 2012). Em discussão há décadas estão às sugestões do Antropoceno (CRUTZEN; STOERMER, 2000; CHUTZEN, 2002; ANDERSSON et al., 2005), e Tecnógeno ou Quinário, em que o segundo foi apresentado por Ter-Stepanian, na “International Association of Engineering Geology” (IAEG) (TER-STEPANIAN, 1988; PELOGGIA, 1998).

Não obstante, essas discussões não foram concluídas e por este fato, será tratado o período mais recente da Terra sendo o período Quaternário (composto pelas épocas Pleistoceno e Holoceno), pois é aceito pela comissão científica internacional seguindo a tabela cronoestratigráfica internacional em vigência. O Pleistoceno teve duração 180 vezes maior em relação ao Holoceno, sendo esse último 11.700 anos AP (SANZ, 2014; BIFFI, 2019).

O Pleistoceno possui registros interglaciais e glaciais, contendo mais de quinze glaciações com predominância média de 100.000 anos. Entre os períodos de glaciações

ocorreram os interglaciares, ou seja, com temperaturas mais elevadas, com períodos de ocorrência inferiores entre 10 e 20 mil anos (SALGADO-LABOURIAU, 1994; GOSLAR et al., 1995; STEVAUX, 2000; PAROLIN et al., 2006; STAUCH; LEHMKUHL, 2010; CHEVALIER et al., 2011; NAWAZ ALI et al., 2013; HAYES et al., 2014; GALAASEN et al., 2014; DUTTON et al., 2015; RABASSA; PONCE, 2016).

Destacam-se dois eventos presentes na literatura sobre eventos glaciares e interglaciares. O “Younger Dryas” que caracterizou o resfriamento do Hemisfério Norte, com temperaturas entre 4 °C a 7 °C abaixo das atuais a aproximadamente ~12.000 AP. O oposto ocorreu entre 9.600 e 4.500 AP chamado de “Optimum” Climático, cujas temperaturas estavam de 2 °C a 3 °C mais quentes que nas últimas décadas (GOSLAR et al., 1995; TOOMEY et al., 2017; NIELSEN et al., 2018).

Ante ao exposto, evidencia-se que o Holoceno é um período curto marcado por variações ambientais no geral mais quentes, constituindo o atual interglacial climático. Ressalta-se que essa época possui flutuação com temperaturas baixas em momentos pontuais de curta duração (CASSINO, 2011; WALKER et al., 2012; LEITE, 2015).

Estudos sobre reconstruções paleobiogeográficas normalmente estão diretamente relacionados aos paleoclimas, uma vez que a paleovegetação e a paleofauna foram dependentes dos paleoclimas. Desse modo, serão apresentados estudos que abordaram a respectiva temática.

Os trabalhos sobre os paleoambientes, principalmente os que concernem à vegetação e clima, são fundamentais para compreensão da evolução da história terrestre e suas alterações, principalmente nos aspectos biogeográficos pretéritos. Pesquisas que promovem a reconstrução paleobiogeográfica ganham cada vez mais atenção dos pesquisadores. No presente estudo, a compreensão paleobiogeográfica demandará da reconstrução da paleovegetação (com à utilização de fitólitos e análises isotópicas), paleoclima e paleofauna do filo Porifera.

Com o intuito de realizar a reconstrução da evolução paleoambiental da planície costeira do Baixo Ribeira de Iguape, durante o Holoceno Superior, Bissa et al. (2000) utilizaram análise palinológica de sedimentos de turfeira para identificação da paleovegetação e compreensão paleoambiental. Os autores diagnosticaram transgressão e regressão marinha e, com esse último evento a ocupação de uma floresta paludosa. Com alusão ao clima, determinou-se estabilidade nos últimos 4.400 anos; três eventos de acréscimo de umidade, resultando na formação de um pântano. A respeito da paleovegetação os autores afirmaram que as formações florestais sempre foram dominantes.

Combinando grãos de pólen e fitólitos no Pampa do sudeste do Uruguai, Iriarte (2006) determinou quatro períodos paleoclimáticos, contribuindo para o conhecimento do Quaternário Tardio concomitante à evolução da vegetação. No trabalho, o autor salienta que “proxies” de fitólitos e pólen permitem realizar reconstruções mais refinadas e completas.

Em Taquarussu–MS, por meio de análise polínica, esporos, zigósporos, algas, isotópicas e datações em sedimentos turfosos, Parolin et al. (2006) diagnosticaram oscilações climáticas, com clima seco no Holoceno Inferior e Médio e ganho de umidade no Holoceno Tardio. Com relação a paleovegetação os autores identificaram as famílias Asteraceae, Cyperaceae, Poaceae, Fabaceae, Arecaceae, entre outras que auxiliaram no diagnóstico das palinozonas.

Analisando espículas de esporas de água doce no município de Taquarussu–MS, Parolin et al. (2007) identificaram as espécies *H. fistula*, *R. amazonensis*, *C. seckti* e *T. repens*, que foram fundamentais para determinar a distinção de ambientes, tanto lênticos como lóticos. Além de permitir aos autores promoverem o reconhecimento de inundação na planície estudada. Referente as oscilações climáticas os autores detectaram período seco entre 4.610 e 4.010 anos AP. Esse estudo é complementar ao de Parolin et al. (2006), supracitado.

Em extensa revisão sobre estudos na bacia norte do rio Columbia que possui nascente no Canadá e foz nos Estados Unidos da América, Walker e Pellatt (2008) abordaram as mudanças climáticas e respostas dos ecossistemas em uma perspectiva paleoambiental. Os autores denotaram as mudanças climáticas com clima frio no final da última glaciação (>11.500 anos cal. AP), seca e calor máximo no verão (em aproximadamente 10.500 a 8.000 anos cal. AP), tendência de clima úmido (8.000 a 4.000 anos cal. AP) e clima estável de 4.000 anos cal. AP até a chegada dos europeus. Os autores discutiram também as condições da pequena idade do gelo (1.200-150 AP) e o acréscimo de 1°C na temperatura em um século. Os autores reforçaram que nos últimos milênios (~3.000 anos) as estruturas dos ecossistemas passam por alterações que ocorrem com maior intensidade com o passar do tempo.

No noroeste de Minas Gerais – MG, Almeida et al. (2009) diagnosticaram seis espécies de esponjas de água doce, por espículas encontradas em sedimentos: *M. spinata*, *D. pidanieli*, *T. variabilis*, *Corvomeyenia thumi* Traxler 1895, *H. fistula* e *R. amazonensis*. Esse dado “proxy” foi fundamental para a identificação de ambientes com clima úmido e frio e seco com chuvas torrenciais, entre os períodos Pleistoceno Superior e Holoceno.

A Lagoa Negra localizada no sudeste do Uruguai passou por diversas mudanças ambientais que foram descritas por García-Rodríguez et al. (2010) em análise “multiproxy” de diatomáceas, cistos de crisófitas, fitólitos e pólen, com o propósito de denotar as condições

paleolimnológicas no Holoceno. A base do testemunho foi datada com 5.220 ± 90 e 930 ± 45 anos AP no intervalo de 75-87 cm do testemunho; nesse intervalo os autores descreveram alterações do clima com base nos “proxies” encontrados.

Parolin et al. (2011) realizaram a reconstituição paleoambiental com a utilização de C (Carbono), N (Nitrogênio) e fitólitos em Campo Mourão, Paraná. Os autores concluíram que contrariamente a vegetação arbórea existente, no passado houve vegetação arbustiva de baixa densidade, sendo a vegetação associada a clima mais seco que o atuante durante os últimos ~25.000 anos.

Na região do baixo curso do rio Ribeira de Iguape, Silva et al. (2012) verificaram a alternância de espículas de esponjas continentais e marinhas, apresentando oscilações do nível do mar, hora com predomínio de água salgada e doce em outros momentos. Os autores identificaram gemoscleras de *O. navicella* e microscleras de *Corvoheteromeyenia* sp. A reconstrução realizada pelos autores permitiu identificar possível mudança do canal fluvial durante o Holoceno.

Na Lagoa de Peña no Uruguai, Puerto et al. (2013) utilizaram fitólitos, dados isotópicos e geoquímicos, tais como $\delta^{13}\text{C}$, $\delta^{15}\text{N}$, C/N e entre outros, para compreender o desenvolvimento paleolimnológico e mudanças climáticas dessa lagoa durante o Holoceno. Foram identificados três eventos climáticos antes e após 700 d.C., sendo dois responsáveis pelo Período Medieval Quente e a Pequena Idade do Gelo. Os autores reforçaram que o uso dos fitólitos foi fundamental nas análises.

Na Terra do Fogo, Waldmann et al. (2014) promoveram a reconstrução paleoambiental utilizando pólen, esporos, algas e diatomáceas. O pólen demonstrou ambiente com gramíneas entre 11.300~8.000 anos cal. AP sequenciada de comunidades florestais e ecótonos, deste modo, inferindo transição entre clima seco para úmido. Os autores conseguiram inferir possíveis motivos das alterações de precipitação e temperatura, sendo a posição latitudinal ou mesmo o cinturão de ventos do sul.

Solís-Castillo et al. (2015) realizaram a reconstrução da vegetação em área com paleossolo usando análise de fitólitos e isótopos da matéria orgânica. Para o Holoceno Médio foi identificado condições sazonais-semiáridas na análise isotópica e, nos registros fitolíticos, predomínio de plantas C_3 em relação as C_4 . Para otimizar os detalhes do estudo os autores realizaram a micromorfologia encontrando características de alternâncias entre condições secas e úmidas até o período de 5.500 anos cal. AP.

Ladchuk et al. (2016) comprovaram, com a reconstrução paleoambiental no município de Campo Mourão, Paraná, durante o Holoceno, que as condições climáticas foram mais secas que as atuais. Com a utilização de grãos de pólen, os autores identificaram as famílias Caryocariaceae e Araucariaceae no testemunho e, aliado aos resultados isotópicos, denotou-se que o Cerrado está presente há 7.280 (^{14}C) anos cal. AP.

Zviejkovski et al. (2017) realizaram estudo no rio Paraná, Brasil, na ilha de Porto Rico. O dado “proxy” utilizado pelos autores foram espículas de esponjas de água doce presente em sedimentos. Via microscópio foram identificadas pelos autores as seguintes esponjas: *M. spinata*, *O. navicella*, *O. jewelli* e possivelmente o gênero *Corvoheteromeyenia*.sp. (Ezcurra de Drago, 1979). Deste modo, foram determinadas as zonas e evolução insular em cinco estágios com período de evolução de ~900-1000 anos.

Com a utilização de fitólitos, Luz et al. (2019) identificaram flutuações climáticas na região de Campo Mourão, Paraná, desde 48.800 \pm 270 anos AP a ~41.146 anos cal. AP com fase seca e vegetação dominante de gramíneas (Cerrado) e posterior incremento de umidade caracterizada por aumento dos fitólitos “Globulares” e análises isotópicas. Os autores ainda tratam de flutuações climáticas e variação da paleovegetação até 3.284 anos cal. AP, melhora climática até o presente e expansão da formação florestal sobre o Cerrado. Silva et al. (2009) e Golovati (2015) realizaram pesquisas que corroboram as variações da paleovegetação e flutuações paleoclimáticas para essa região.

Fonseca-Silva et al. (2019), por meio de evidências palinológicas, desvendaram as mudanças ocorridas na vegetação do Parque Estadual do Rio Doce, Minas Gerais, no período de 10.375 a 50 anos cal. AP. Os autores dividiram a reconstrução em quatro zonas; o ambiente inicial diagnosticado foi fluvial evoluindo para lacustre, sequenciado por ganho de umidade, seguindo sazonalmente inundado.

Utilizando dados “proxies” (fitólitos e sementes), Ramírez et al. (2019) realizaram a reconstrução paleoambiental da ilha Mutum com datação por ^{14}C próximo a base de 725-935 anos cal. AP. Os autores promoveram uma interrelação entre seus “proxies” com o de pólen de Gonçalves (2014). Sugerindo-se que as condições climáticas se mantiveram constantes, os dados “proxies” apresentaram-se integrados, sendo essenciais para a reconstrução das condições ambientais e ecológicas.

As UC são fundamentais para a reconstrução paleobiogeográfica. Essa afirmação é válida porque as UC tendem a contemplar ambientes preservados e por possuírem, via de regra, baixo nível de antropização.

Nesse contexto, destaca-se, dentre as teses e dissertações de reconstruções desenvolvidas em UC, na categoria Parque, no Brasil, utilizando ao menos um dos “proxies” desse estudo (RASBOLD, 2016; PEREIRA, 2019; CHUENG, 2020; MOZER, 2021; SOARES, 2021); na categoria Estação Ecológica (EWALD, 2015; SOUZA et al., 2019) entre outras categorias de UC.

Diante do exposto, evidencia-se que tais “proxies” são importantes para a reconstrução paleobiogeográfica. Essa pesquisa apresenta “proxies” fundamentais para promover a reconstrução paleobiogeográfica, uma vez que ocorrerá por meio da correlação de informações geradas pelas análises isotópicas, matéria orgânica, fitólitos e espículas de esponjas de água doce. A vantagem da utilização de diversos “proxies” é a fidedignidade otimizada, principalmente pelo baixo nível de ações antrópicas do PNI do ponto de vista ambiental, por se tratar de uma UC.

4 MATERIAIS E MÉTODOS

Nessa seção aborda-se os procedimentos de campo e laboratoriais para recuperação de fitólitos, espículas de esponjas de água doce, frústulas de diatomáceas e extração de fitólitos de plantas para coleção de referência; e de serapilheira para comparação com as morfologias dos testemunhos. Apresenta-se, também, os meios para gerar os produtos cartográficos, gráficos e tabelas, bem como os cálculos para os índices fitolíticos e granulometria das amostras de solo da trincheira.

4.1 PROCEDIMENTOS DE CAMPO

As campanhas ocorreram em 13 pontos no PNI (Ponto 1, Ponto 2, Ponto 3, Ponto 4, Ponto 5, Ponto 6, Ponto 7, Ponto 8, Ponto 9, Tubo 1, Represa Rio São João (RPS), Fazenda Salinet e Lagoa do Jacaré), sendo 04 ao sul e 09 ao norte do PNI (Figura 14).

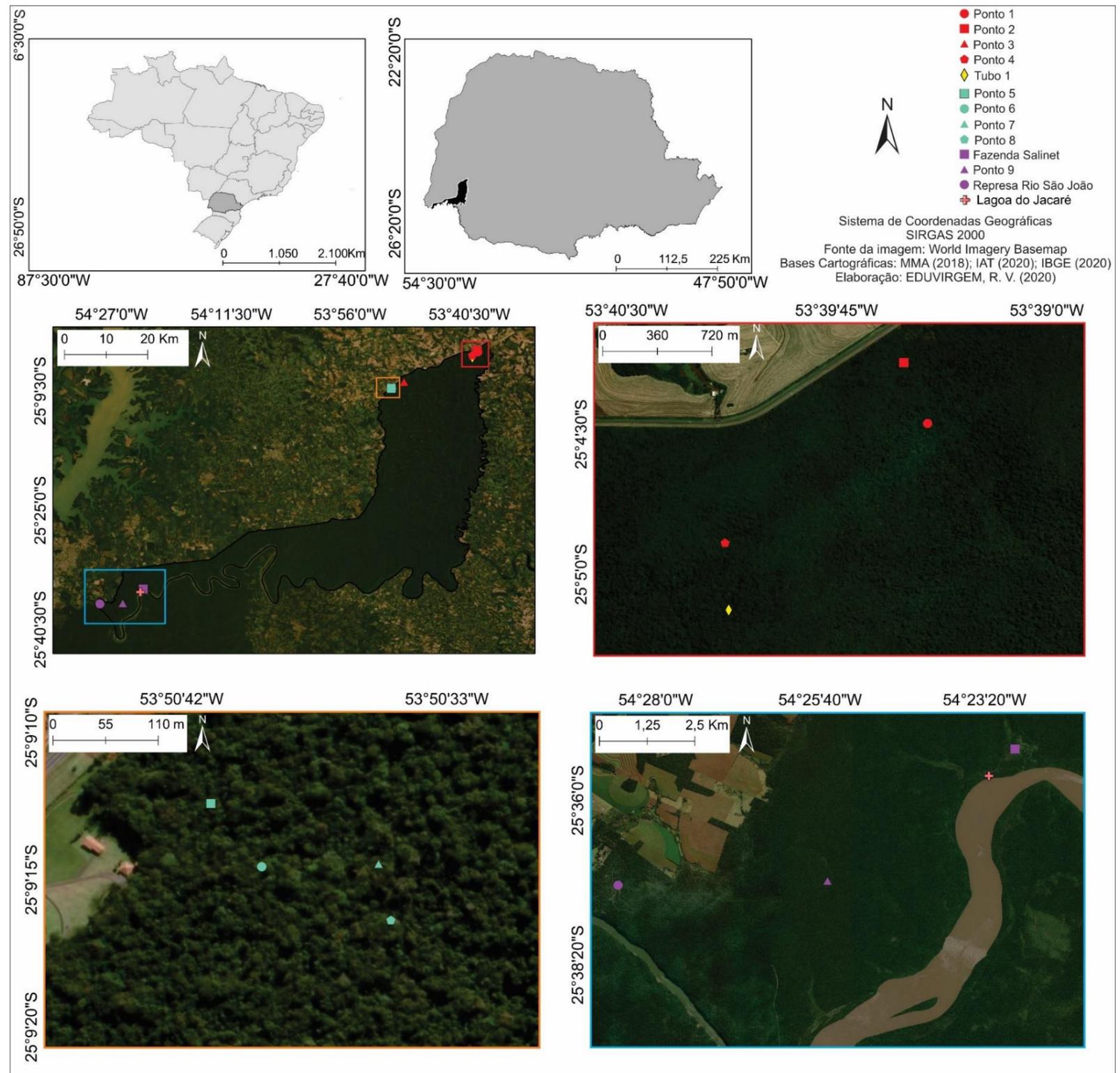


Figura 14 – Localização das coletas no Parque Nacional do Iguaçu

Na Estação Ecológica Municipal Francisco Paschoeto em Reserva do Iguaçu, Paraná, foi coletado um testemunho – com tubo de alumínio – na Lagoa dos Peixes (Figura 14.1).

Ressalta-se que essas Unidades de Conservação - Parque Nacional do Iguaçu e Estação Ecológica Municipal Francisco Paschoeto - estão distantes em mais de 200 km uma da outra.

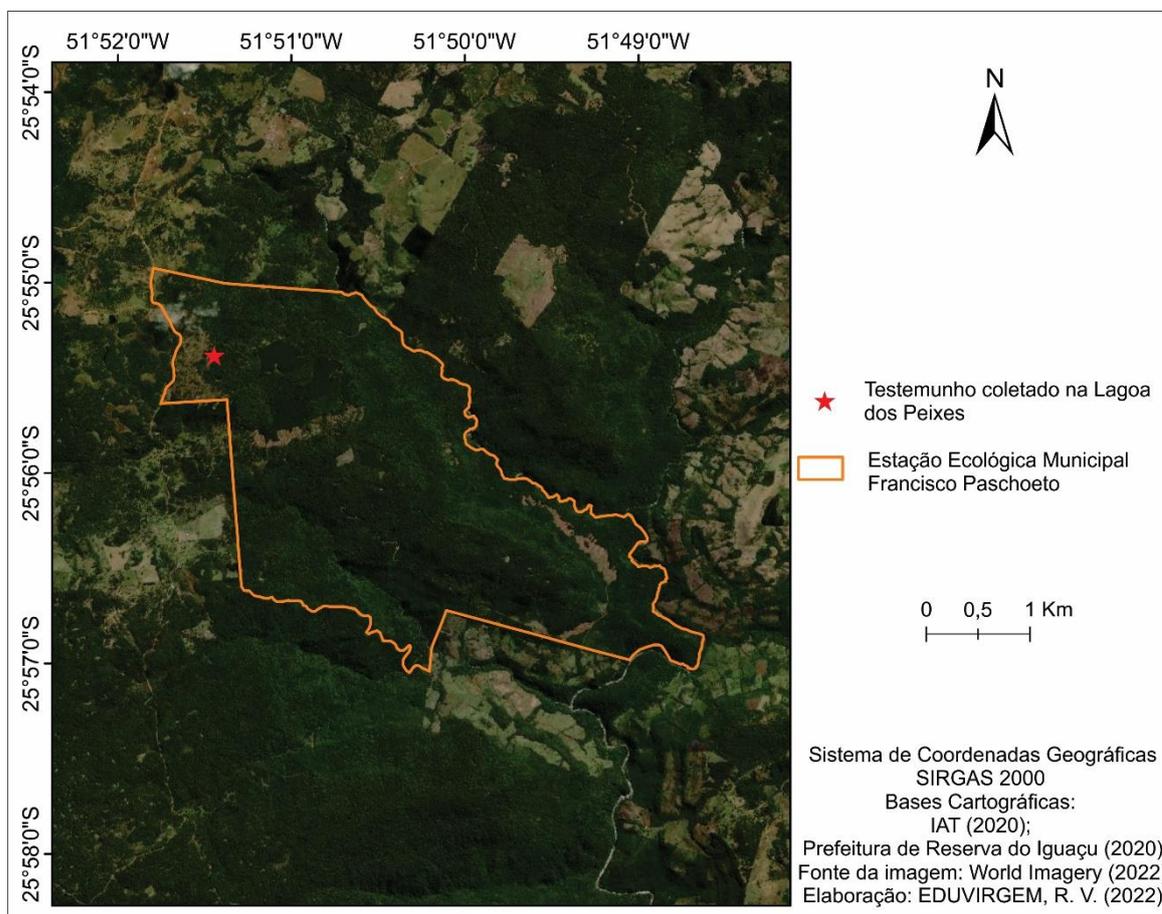


Figura 14.1 – Localização da coleta na Estação Ecológica Municipal Francisco Paschoeto em Reserva do Iguaçu, Paraná

Salienta-se que todas as campanhas realizadas, ocorreram consorciadas com atividades da equipe do Herbário HCF da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR).

Ao promover observações em campo, foi identificado que o testemunho coletado na antiga Fazenda Salinet, é a localidade com maior degradação ambiental do PNI. Nesse ponto, está em andamento a recuperação da vegetação florestal, sendo removida a vegetação herbácea que predomina na localidade. Por tal fato, o testemunho foi coletado em um banhado que se encontra com ausência de antropização em relação ao entorno (Figura 15).

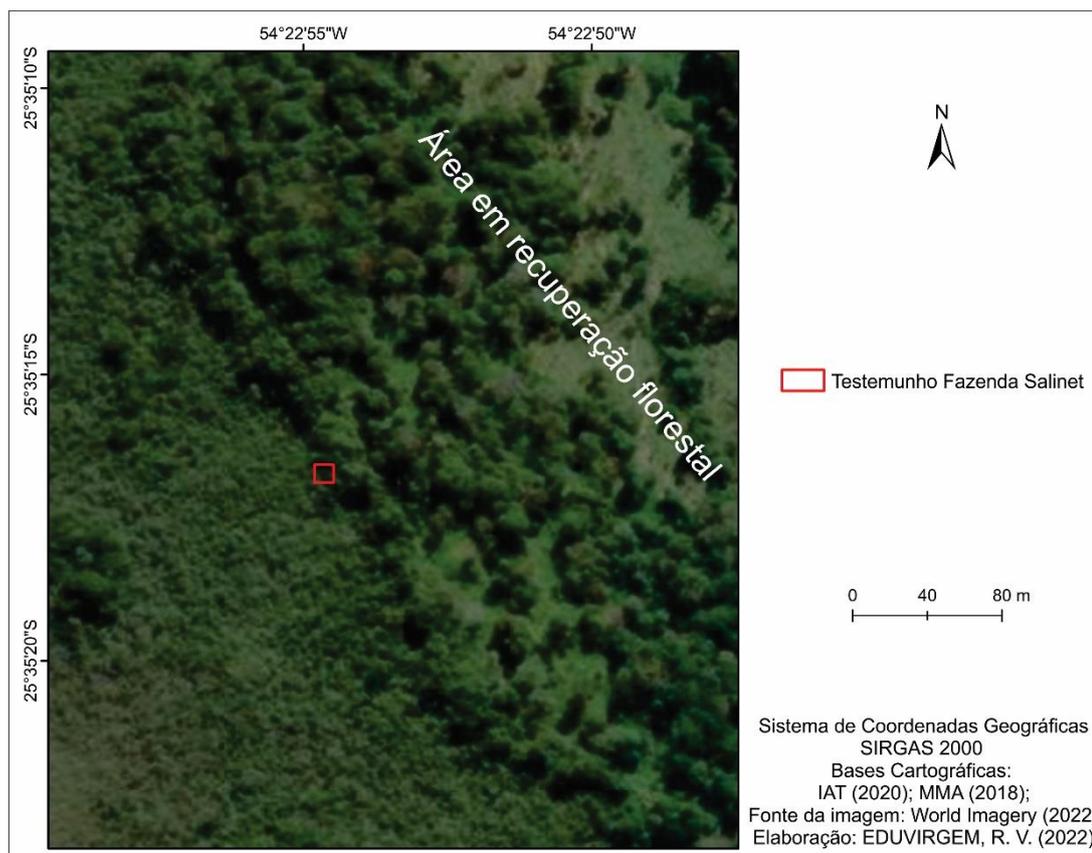


Figura 15 – Ponto de coleta do testemunho Fazenda Salinet no Parque Nacional do Iguaçu, destacando a área em recuperação florestal

As coletas de testemunhos no PNI ocorreram em quatro momentos, sendo o primeiro para conhecimento da área em Céu Azul, Paraná, - parte norte do PNI - na qual coletou-se 01 testemunho; no segundo e quarto trabalho de campo novamente no município de Céu Azul, foram coletados 04 testemunhos em cada trabalho de campo, assim, totalizando 08; e o terceiro em Foz do Iguaçu, Paraná, - parte sul do PNI - coletando-se 04 testemunhos.

A coleta do material superficial se deu primeiramente pela serapilheira, em seguida pelos demais solos e sedimentos superficiais em intervalos de 5 cm, utilizando trado holandês; com cilindro de alumínio dividiu-se o material coletado a cada 3 cm.

Para a coleta de solo do perfil, foi escavada uma trincheira sendo o material coletado em intervalos de 10 cm, das camadas inferiores até as superiores, para não haver contaminação ou mesmo mistura do material.

Para as localidades lacustres utilizou-se um tubo de 10 cm de diâmetro, inserido no depósito com auxílio de marreta.

Os solos amostrados foram classificados em três grupos, conforme as classes de drenagem bem drenado, moderadamente drenado e mal drenado (Quadro 01).

As profundidades realizadas em cada testemunho coletado e forma utilizada podem ser observadas no Quadro 01.

Quadro 01 – Descrição das profundidades dos testemunhos, forma de coleta e município.

Amostragem	Forma de coleta	Prof. (cm)	Nºde amostras	Município/PR	“Proxy”	Grupos de solos
Ponto 1	TH	50	10	Céu Azul	F	bem drenado
Ponto 2	TH	50	10	Céu Azul	F	bem drenado
Ponto 3	TH	50	10	Céu Azul	F	bem drenado
Ponto 4	TH	50	10	Céu Azul	F	mal drenado
Ponto 5	TC	210	21	Céu Azul	F	bem drenado
Ponto 6	TH	50	10	Céu Azul	F	bem drenado
Ponto 7	TH	50	10	Céu Azul	F	bem drenado
Ponto 8	TH	50	10	Céu Azul	F,D	mal drenado
Ponto 9	TH	50	10	Foz do Iguaçu	F	mal drenado
Tubo 1	TA	30	10	Céu Azul	F	mal drenado
Represa Rio São João	TH	50	10	Foz do Iguaçu	F, D, FE	moderadamente drenado
Fazenda Salinet	TH	75	15	Foz do Iguaçu	F, D	moderadamente drenado
Lagoa do Jacaré	TH	80	16	Foz do Iguaçu	F, EE, FE	Sedimento
Tubo 2	TA	47	15	Reserva do Iguaçu	F, D	Turfa (mal drenado)

Forma de coleta: TH – Trado holandês; TC – Trincheria e TA – Tubo de alumínio. “Proxy”: F – fitólitos; D – Diatomáceas; FE – Fragmento de espículas; EE – Espículas de esponjas

As amostras coletadas de serapilheira, turfeira, solos e sedimentos foram encaminhadas para o Laboratório de Estudos Paleoambientais da Fecilcam (Lepafe) Unespar - Campo Mourão, para procedimentos posteriores.

Após a coleta dos solos e sedimentos, foi operada a coleta florística nas proximidades, com o procedimento de prensagem ainda em campo. Os demais procedimentos de identificação ocorreram no Herbário da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campus de Campo Mourão - HCF. Ressalta-se que tais coletas foram autorizadas pelo ICMBio – 58606.

Salienta-se que a coleta de serapilheira e florística ocorreram no Ponto 1, Ponto 2, Ponto 3, Ponto 4, Ponto 5, Ponto 6, Ponto 7, Ponto 8, Ponto 9, Represa Rio São João e Fazenda Salinet.

Os três últimos pontos estão sob domínio da Floresta Estacional Semidecidual (ao sul do Parque), os demais sob Floresta Ombrófila Mista (na parte norte do PNI).

4.2 PROCEDIMENTOS LABORATORIAIS

4.2.1 Extração dos microfósseis

Os procedimentos para extração dos fitólitos, frústulas de diatomáceas e espículas de esponjas foram realizados no Lepafe, localizado na Universidade Estadual do Paraná, Campus de Campo Mourão.

4.2.1.1 Extração de Fitólitos

Para extração de fitólitos há diversas metodologias, como exemplo a de Lu et al. (2007). No entanto as metodologias passam por melhorias, a ponto de Santos et al. (2011b) desenvolverem um método para aumentar a recuperação de fitólitos em solo. Esse método foi utilizado com adaptações realizadas por Monteiro (2015). Para a extração dos microfósseis desse estudo, empregou-se a metodologia utilizada pela última autora com adaptação, que consistiu nos procedimentos representados na figura 16.

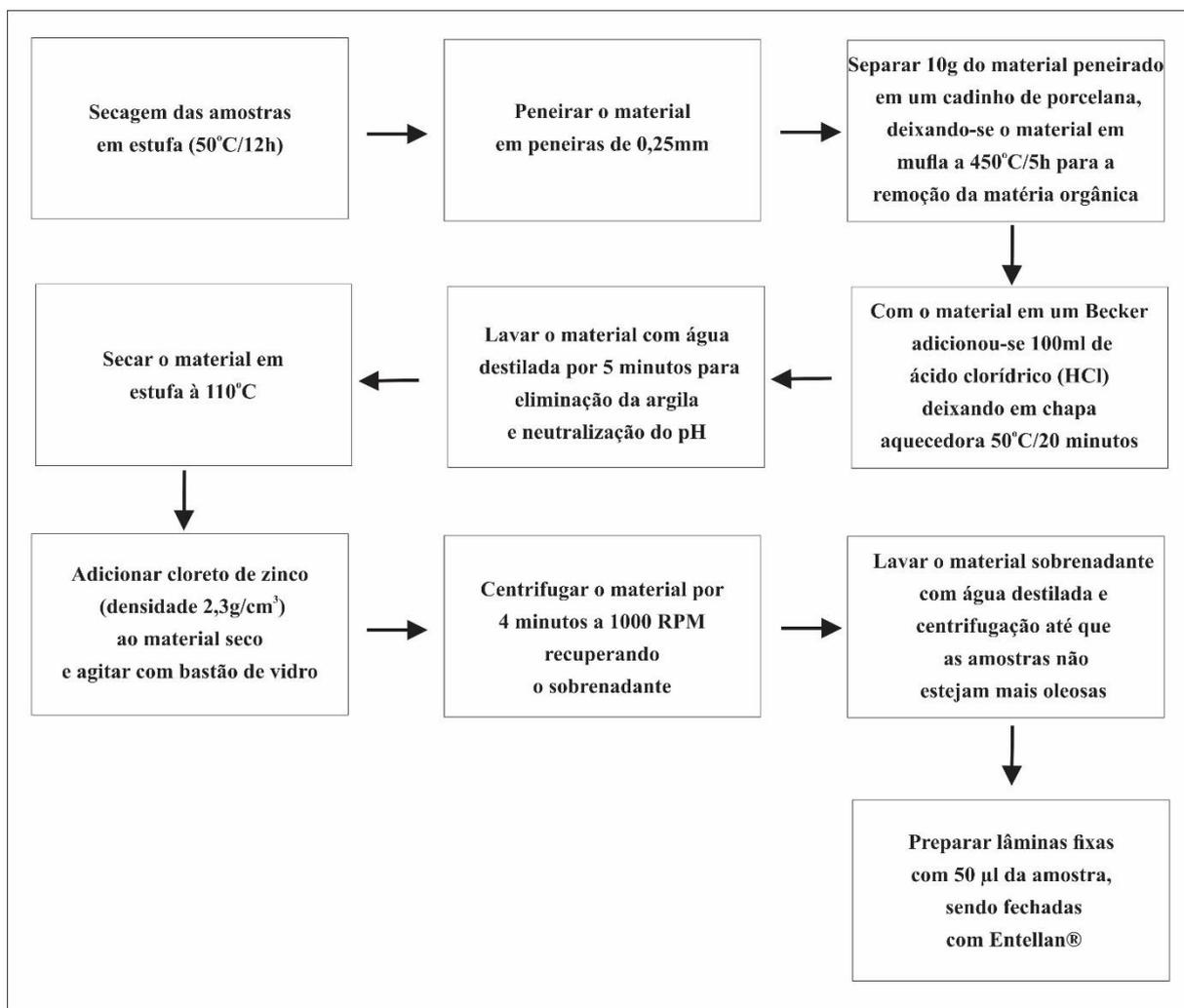


Figura 16 – Procedimentos para extração de fitólitos. Fonte: Adaptado de Monteiro (2015)

A contagem da assembleia fitolítica foi realizada em microscópio óptico com aumento de 40x em três lâminas e três transectos por lâminas. A identificação dos fitólitos consistiu na nomenclatura do Código Internacional de Fitólitos 1.0 (MADELLA et al., 2005), na literatura clássica e recente (TWISS et al., 1969; FREDLUND; TIEZEN, 1994; BREMOND, 2003; BREMOND et al., 2005a; PIPERNO, 2006) e na coleção do Lepafe. Os resultados foram tabelados, organizados, para então confeccionar-se gráficos gerados pelo programa Tilia®.

4.2.1.2 Extração de Espículas de Esponjas

O procedimento para obtenção das espículas de esponjas pode ser observado na figura 17, seguindo procedimentos descritos em Volkmer-Ribeiro (1985). A contagem e classificação das espículas de esponjas de água doce desencadearam-se, com a utilização de microscópio óptico com aumento 40x em três transeções aleatórias em cada lâmina, sendo três lâminas para

cada intervalo. Na sequência ocorreu a análise e separação das espículas inteiras e as fragmentadas.

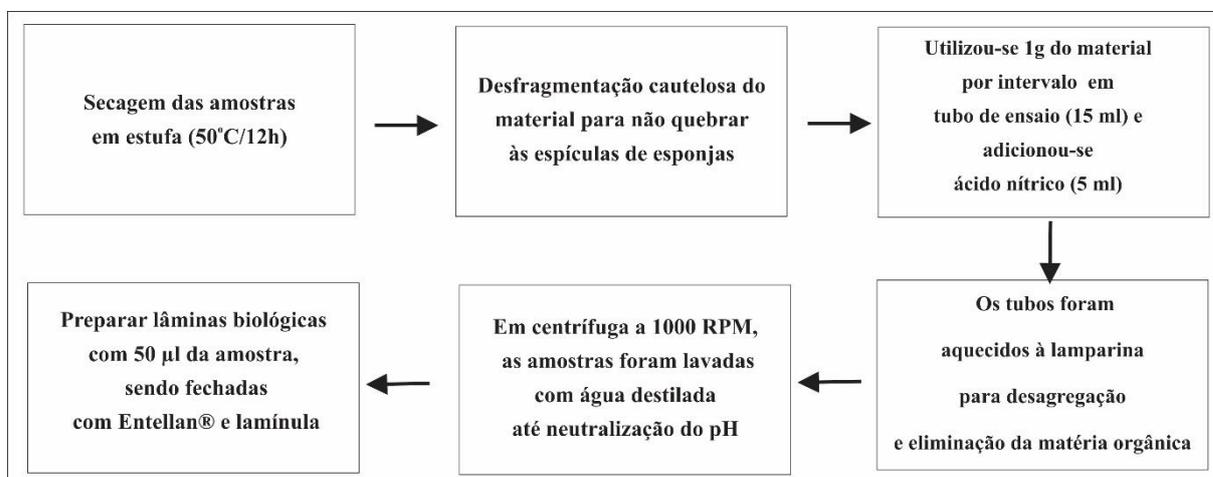


Figura 17 – Procedimentos para extração de espículas de esponjas. Fonte: Volkmer-Ribeiro (1985)

Para a identificação das espículas de esponjas utilizou-se o procedimento de chave de identificação das Classes Demospongiae Sollas, 1885, Ordem Haplosclerida Topsent, 1928 e Subordem Spongillina Manconi e Pronzato, 2002, que são encontradas em Manconi e Pronzato (2002), além de autores clássicos e recentes.

4.2.1.3 Extração de frústulas de diatomáceas

As frústulas de diatomáceas foram recuperadas concomitantes aos fitólitos e espículas de esponjas de água doce, utilizando-se os procedimentos descritos nos itens 4.2.1.1 e 4.2.1.2. Ressalta-se que as diatomáceas não foram identificadas em nível específico. Utilizou-se para reconhecê-las, o trabalho de Leandrini et al. (2010).

4.2.2 Extração de fitólitos de plantas e serapilheira

A metodologia para extração de fitólitos de serapilheira e plantas foram embasadas em Medeanic et al. (2008) (Figura 18). As observações e identificação foram realizadas utilizando microscópio óptico com aumento de 40x.

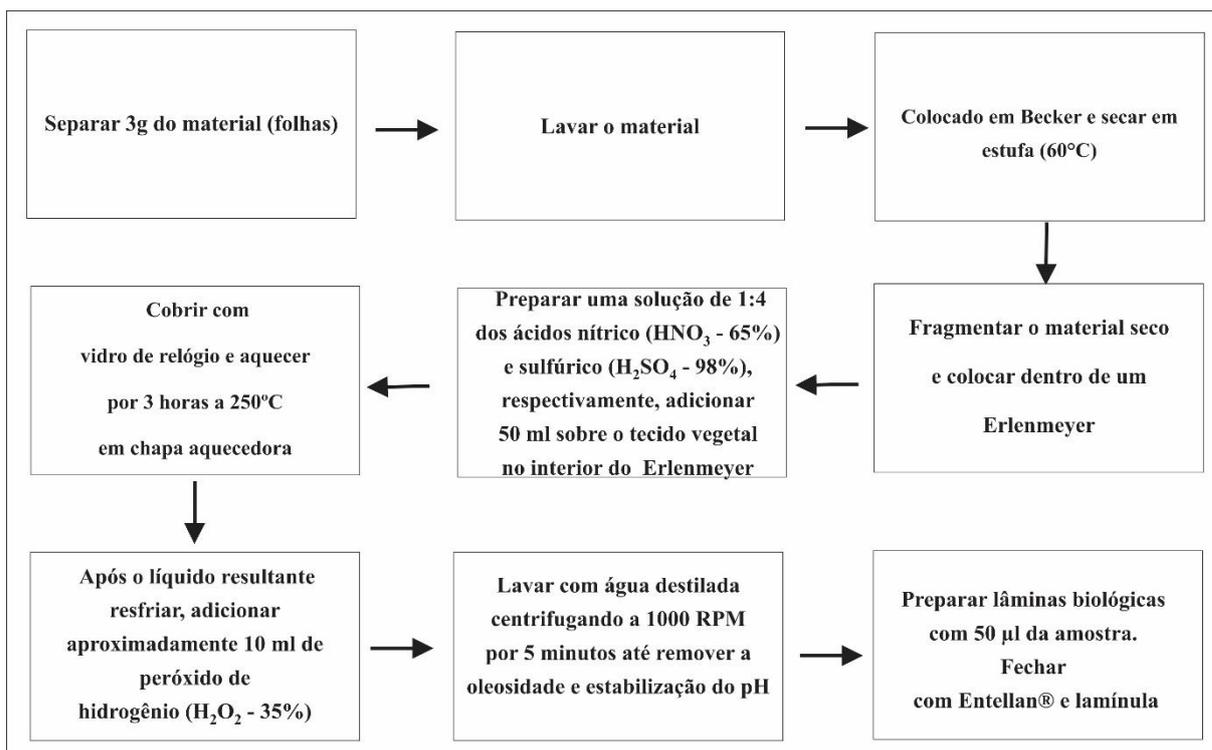


Figura 18 – Procedimentos para extração de fitólitos de plantas e serapilheira. Fonte: Medeanic et al. (2008)

Com relação à distinção entre os morfotipos, foram utilizadas as mesmas fontes da literatura presente no item 4.2.1.1.

4.2.3 Produtos cartográficos, gráficos e tabelas

A imagem com composição colorida do satélite Landsat 8 foi utilizada para gerar o mapa de localização da Estação Ecológica Municipal Francisco Paschoeto – figura 08 –; tal cena foi adquirida no repositório de imagens da “United States Geological Survey” (USGS).

O Modelo Digital de Elevação (MDE) da superfície terrestre utilizado é oriundo da Missão Topográfica Radar Shuttle (SRTM) 30 m, que também foi adquirido no repositório da USGS e a data corresponde a 23/09/2014. Para confecção dos mapas de declividade e altimétrico, foi realizado um mosaico para posterior prosseguimento da geração dos valores de altitude e declividade em percentual. Os limites de declividade utilizados no trabalho foram empregados conforme Ross (1994).

Para a confecção dos mapas de solos e fitogeográficos, adquiriu-se as bases cartográficas no repositório do Instituto Água e Terra (IAT). Esse órgão público é resultado da incorporação do Instituto de Terras, Cartografia e Geologia do Paraná (ITCG), Instituto das Águas do Paraná e Instituto Ambiental do Paraná (IAP).

O limite da Estação Ecológica Municipal Francisco Paschoeto foi obtido na Prefeitura Municipal de Reserva do Iguaçu, Paraná, e do Parque Nacional do Iguaçu no Ministério do Meio Ambiente (MMA). A delimitação do Brasil foi adquirida no Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE); e do estado do Paraná, oriunda do IAT.

Para a elaboração dos mapas de localização, utilizou-se o programa ArcGIS 10®. Com os programas Microsoft Excel 365®⁷, Tilia® e Power BI Desktop® foram elaboradas as tabelas e gráficos. O programa Corel Draw X7® foi utilizado para a finalização estética dos mapas e confecção de perfis de testemunhos.

O tratamento estatístico e índices fitolíticos foram realizados nos programas Microsoft Excel 365®, IBM SPSS 22® - Coeficiente de correlação de Spearman - e o Past 3 (HAMMER et al., 2001) para Análise do Componente Principal (PCA); para essa análise multivariada (JOHNSON; WICHERN, 2002) tomou-se como base as morfologias fitolíticas empregadas por Lorente et al. (2015).

4.2.4 Cálculos para os índices de fitólitos

Após a identificação dos fitólitos presentes nos testemunhos foi possível calcular os índices fitolíticos para compreender melhor a questão ambiental oriunda da reconstrução paleobiogeográfica; bem como correlações com os morfotipos encontrados.

4.2.4.1 Índice de cobertura arbórea (D/P)

O D/P inicialmente proposto por Alexandre et al. (1997) e adaptado por Bremond et al. (2005a), possuem como principais distinções a não utilização dos morfotipos em forma de leque e alongados pelo segundo autor. A fórmula desenvolvida pelo primeiro autor pode ser observada na Equação 1 (D/P) e a do segundo na Equação 2 (D/P1). Nesse estudo utilizou-se o índice D/P.

$$D/P = \left(\frac{\text{Globular granulate}}{\text{Bilobate short cell} + \text{Cross} + \text{Saddle} + \text{Acicular} + \text{Elongate} + \text{Cuneiform} + \text{Parallepipedal bulliform cells}} \right) * 100 \quad \text{Eq. 1}$$

$$D/P1 = \left(\frac{\text{Globular granulate}}{\text{Bilobate short cell} + \text{Cross} + \text{Saddle}} \right) * 100 \quad \text{Eq. 2}$$

⁷Licença *Family*.

4.2.4.2 Índice de adaptação à aridez (Iph)

Apresentado por Diester-Haass et al. (1973) com enfoque nos resultados de identificação de períodos de transição umidade-aridez, esse índice aponta a relação do ciclo de fotossíntese de Chloridoideae e Panicoideae, ambas com sinal isotópico C₄, Equação 3.

$$I_{ph} = \left(\frac{\text{Saddle}}{\text{Saddle} + \text{Cross} + \text{Bilobate short cell}} \right) * 100 \quad \text{Eq.3}$$

4.2.4.3 Índice Climático (Ic)

Twiss (1987) desenvolveu esse índice com o propósito de estabelecer a relação entre a densidade absoluta de fitólitos de gramíneas com sinal isotópico C₃ com os demais morfotipos desse estrato vegetal. Esse índice é apresentado na Equação 4.

$$I_c = \left(\frac{\text{Rondel} + \text{Trapeziform polylobate} + \text{Trapeziform short cell}}{\text{Rondel} + \text{Trapeziform polylobate} + \text{Trapeziform short cell} + \text{Saddle} + \text{Cross} + \text{Bilobate short cell}} \right) * 100 \quad \text{Eq. 4}$$

4.2.4.4 Índice de Estresse Hídrico (Bi)

O índice Bi (Equação 5) permite acurar a aridez das condições paleoambientais, uma vez que, esse índice permite calcular a proporção de fitólitos “Bulliform” em relação aos demais morfotipos produzidos por gramíneas (BREMONT et al., 2005b).

$$B_i = \left(\frac{\text{Bulliform}}{\text{Bulliform} + \text{Short cells} + \text{Acicular}} \right) * 100 \quad \text{Eq. 5}$$

4.2.4.5 Quantificação dos fitólitos presentes na coleção de referência moderna

A classificação explanada no item “5.1.2 Coleção de referência de fitólitos”, que é composta por abundante (+++), frequente (++) , raro (+), raríssimo (±) e Ø ausente, foi empregada com base em Rasbold et al. (2011). Para tal classificação utilizou-se os seguintes critérios: 1) ausente quando determinada morfologia não foi observada; 2) raríssima quando as morfologias foram visualizadas entre 1 e 10 vezes (na mesma lâmina); 3) rara entre 11 e 20 vezes; 4) frequente entre 21 e 50 vezes e 5) abundante quando contabilizadas mais de 50 vezes.

4.2.5 Análise dos solos e sedimentos

4.2.5.1 Granulometria

A análise dos solos e sedimentos tem o objetivo de determinar a distribuição das partículas primárias do solo, sendo necessária a desagregação do solo, dispersão e avaliação (CAMARGO et al., 2009). A análise granulométrica foi realizada segundo a metodologia do Manual de Métodos de Análise do Solo (EMBRAPA, 1997).

Uma amostra de terra fina seca ao ar (TFSA) de 20g foi colocada em um Becker. Em seguida adicionou-se sobre o solo 50 ml de solução dispersante, calgon (hexametáfosfato de sódio + carbonato de sódio) e 50 ml de água deionizada. Deixou-se repousando por 24 horas. Na sequência o material foi peneirado (em peneira de 20 cm de diâmetro e malha de 0,053 mm) sobre uma proveta de 1 litro. A areia retida na peneira foi lavada com água destilada. Essa fração foi reconduzida a um Becker e colocada em estufa a 105 °C com a finalidade de secagem. O procedimento seguinte desencadeou-se com a pesagem das amostras, sendo obtida a areia total.

Preparou-se uma prova em branco, na qual foi adicionada quantidade idêntica do dispersante em uma proveta de vidro e completou-se com água. Em seguida agitou-se as amostras e o tempo da pipetagem das frações argila e silte+argila foram estabelecidas de acordo com a Lei de Stokes.

A coleta das frações argila e silte+argila foram realizadas com uma pipeta de 20 ml, depositando as amostras em Beckers e levando-as para a estufa. No dia posterior, pesaram-se os Beckers para determinar as frações argila (Equação 6), silte (Equação 7) e areia (Equação 8).

$$\text{Argila} = \text{Argila (g)} - \text{dispersante (g)} * 500 \quad \text{Eq. 6}$$

$$\text{Silte} = \text{Argila (g)} + \text{Areia} - 500 \quad \text{Eq.7}$$

$$\text{Areia} = \text{Areia (g)} * 5 \quad \text{Eq. 8}$$

Com alusão ao dispersante utilizado nessa pesquisa, elencou-se o calgon, pois ele é o mais utilizado em solos tropicais (NASCIMENTO JÚNIOR et al., 2014). Ferreira (2010)

denota que ele proporciona a vantagem de que o sódio apresenta raio hidratado contribuindo para ascender a espessura da dupla camada difusa das partículas de argila, promovendo-se o favorecimento à estabilidade das suspensões.

Esse procedimento granulométrico foi executado somente para a trincheira – ponto 5 – pela quantidade disponível de solo.

4.2.5.2 pH do solo

A análise de pH do solo foi desenvolvida conforme o Manual de Métodos de Análise de Solo (EMBRAPA, 1997).

4.2.5.3 Análises isotópicas

Os dados isotópicos de $\delta^{13}\text{C}$ e $\delta^{15}\text{N}$, foram realizados no Departamento de Ciências da Terra e Ambientais da Universidade de Kentucky (EUA). Devido aos custos envolvidos para a obtenção dessas análises, optou-se por realizá-las na Lagoa do Jacaré.

4.2.5.4 Determinação da matéria orgânica

Para determinar a matéria orgânica, foi realizada a pesagem, a destorroagem dos solos e sedimentos secos, que foram colocados em cadinhos de porcelana, colocados em mufla em 450°C por 5 horas. Após esse período, aguardou-se 3 horas para abrir a mufla e mais 2 horas para o solo ficar em temperatura ambiente para, na sequência, realizar a pesagem novamente. A diferença entre o peso inicial e o final consiste na matéria orgânica que foi queimada.

5 FITÓLITOS PRESENTES EM SERAPILHEIRA E COLEÇÃO DE REFERÊNCIA A PARTIR DE PLANTAS ATUAIS

Nessa seção, aborda-se o comparativo entre fitólitos presentes nos testemunhos com os de serapilheira. Na seção explana-se, também, a coleção de referência moderna na qual foram processados 19 exemplares correspondentes a 16 espécies de 15 famílias, com a finalidade de subsidiar não somente esse estudo, mas também futuros.

5.1 RESULTADOS

5.1.1 Fitólitos presentes em serapilheira e comparativo quantitativo com os testemunhos

Os fitólitos quantificados de serapilheira totalizam 1.433 com média de 130,27 entre os 11 locais coletados. A Represa Rio São João (RPS) representou 29,66% (425 fitólitos), praticamente 1/3 do total amostrado, sendo o ponto de coleta com o maior número de fitólitos. Entretanto, o ponto P1 apresentou o menor percentual de fitólitos 0,56% (8 fitólitos). Os locais com mais de 100 fitólitos em serapilheira ocorreram no P2 (7,05%), P4 (9,28%), P6 (14,10%), P8 (9,56%), P9 (7,47%), RPS e Fazenda Salinet (9,77%), totalizando 63,64% dos locais amostrados (Figura 19).

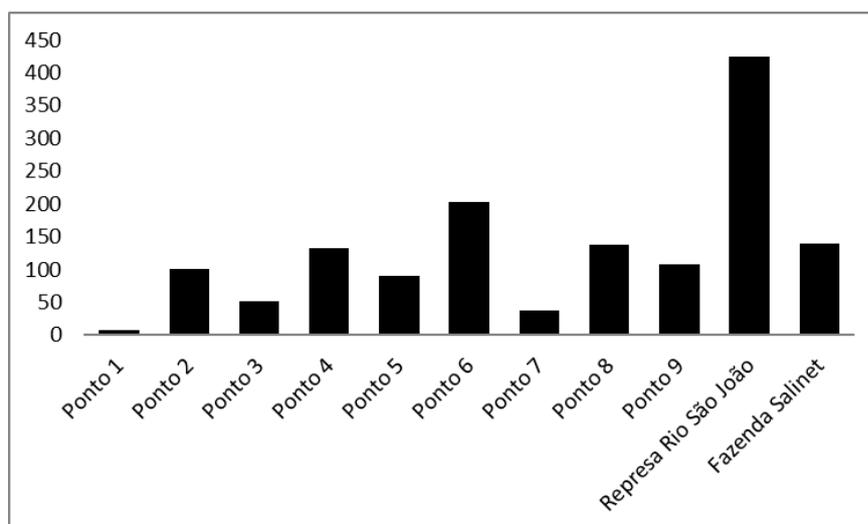


Figura 19 – Quantitativo absoluto de fitólitos em serapilheira no Parque Nacional do Iguaçu

No comparativo entre morfologias identificadas em serapilheira e nos testemunhos a maior diferença está no P1 e as menores no P8 e P6. Os demais pontos não apontaram

discrepâncias. Ressalta-se ainda, que em todos os testemunhos as morfologias fitolíticas foram superiores as de serapilheira (Figura 20).

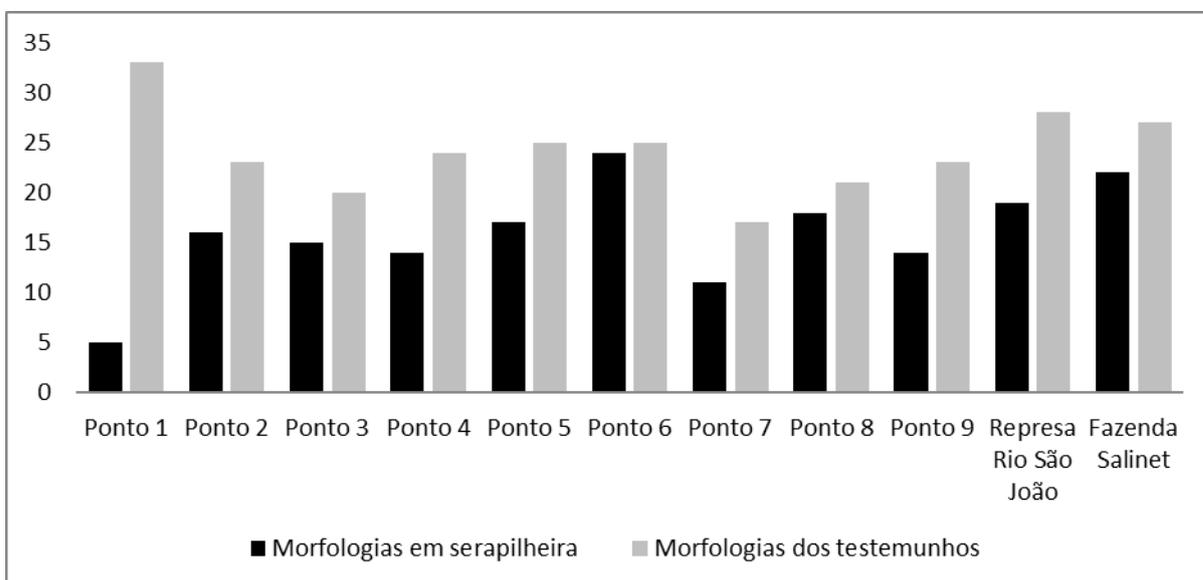


Figura 20 – Morfologias fitolíticas encontradas em serapilheira e nos testemunhos no Parque Nacional do Iguaçu

Na correlação de Spearman entre os totais absolutos de fitólitos em serapilheira e o número de morfologias encontradas em cada ponto foi forte e positiva ($\rho = 0,825$; $p < 0,01$), apresentando relação diretamente proporcional.

No que tange as morfologias fitolíticas presentes em serapilheira que apresentaram as maiores discrepâncias têm-se os morfotipos “Rondel” no P1, P2 e P5, “Bulliform paralelepipedal echinate” no P3, “Saddle” e “Globular echinate” no P4, “Tree” no P5 e P7, “G. echinate” no P6 e P8, “Pteridophyte”, “Tree”, “Elongates entire” e “E. psilate” no P9, “E. psilate” na RPS, “Tree” e “Epidermal phytolith” no testemunho Fazenda Salinet (Figura 21).

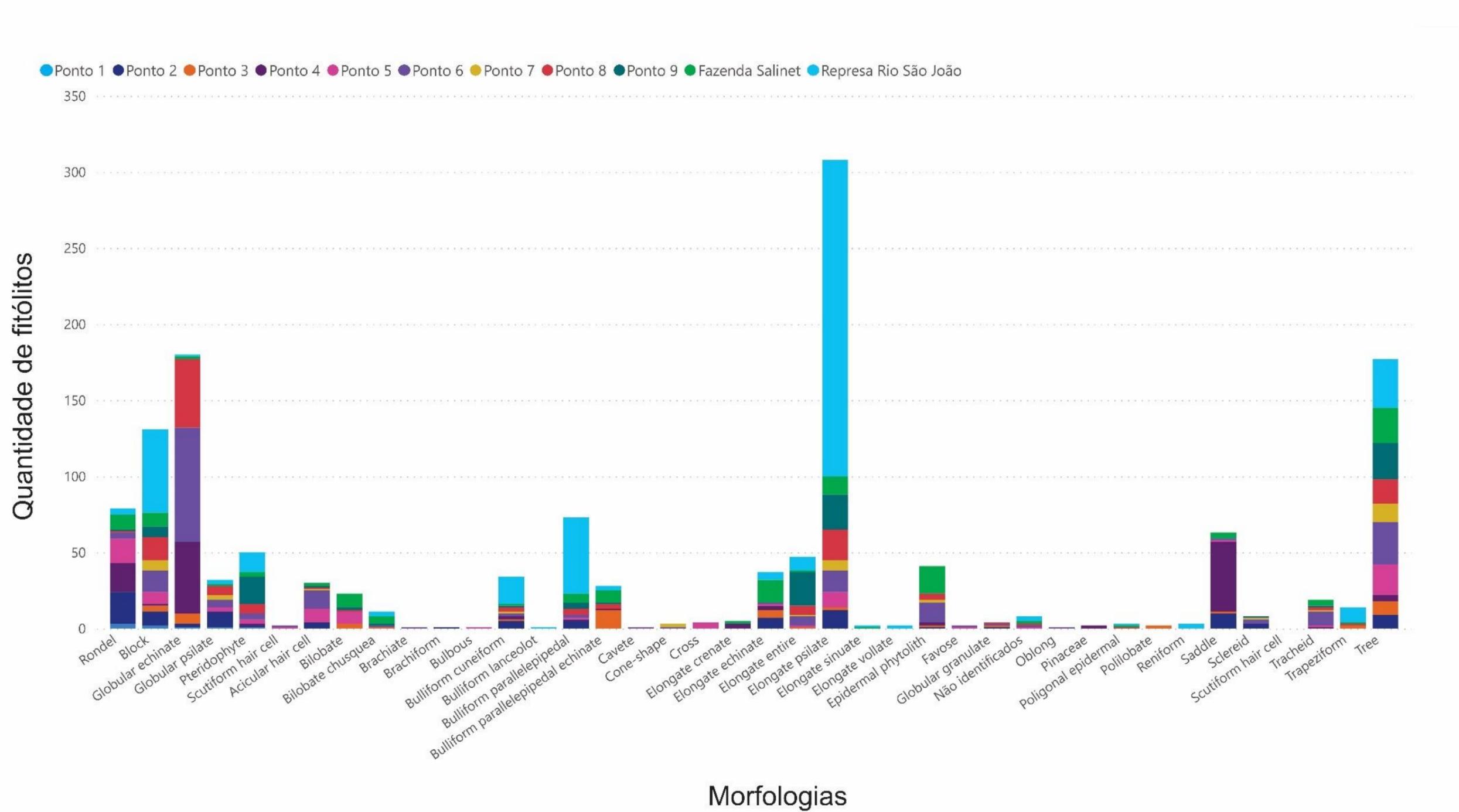


Figura 21 – Morfologias identificadas em serapilheira nos pontos amostrados

5.1.2 Coleção de referência de fitólitos

As espécies abordadas nessa seção conferem a *Euterpe edulis* Mart. (Arecaceae), *Hydrocotyle* sp (Araliaceae), *Macropharynx peltata* (Vell.) J.F.Morales & M.E. Endress (Apocynaceae), *Neoblechnum brasiliense* (Desv.) Gasper & V.A.O.Dittrich (Blechnaceae), *Dichorisandra hexandra* (Aubl.) C.B.Clarke (Commelinaceae), *Alsophila setosa* Kaulf. (Cyatheaceae), *Didymochlaena truncatula* (Sw.) J.Sm. (Dryopteridaceae), *Bernardia pulchella* (Baill.) Müll. Arg. (Euphorbiaceae), *Corymborkis flava* (Sw.) Kuntze (Orchidaceae), *Chusquea* sp. (Poaceae), *Pharus lappulaceus* Aubl. (Poaceae), *Piper* sp. (Piperaceae), *Palicourea* sp. (Rubiaceae), *Serjania* sp. (Sapindaceae), *Tectaria incisa* Cav. (Tectariaceae) e *Macrothelypteris* sp. (Thelypteridaceae).

As principais morfologias apresentadas nessa seção podem ser observadas na figura 22. Testou-se a correlação de Spearman entre os totais fitolíticos e morfologias de cada indivíduo botânico, obtendo-se correlação positiva e forte ($\rho = 0,717$; $p < 0,01$), indicando que, para a amostra analisada, quanto maior o número de morfologias, superior será o quantitativo fitolítico. Não obstante, evidencia-se que podem ocorrer exceções na natureza.

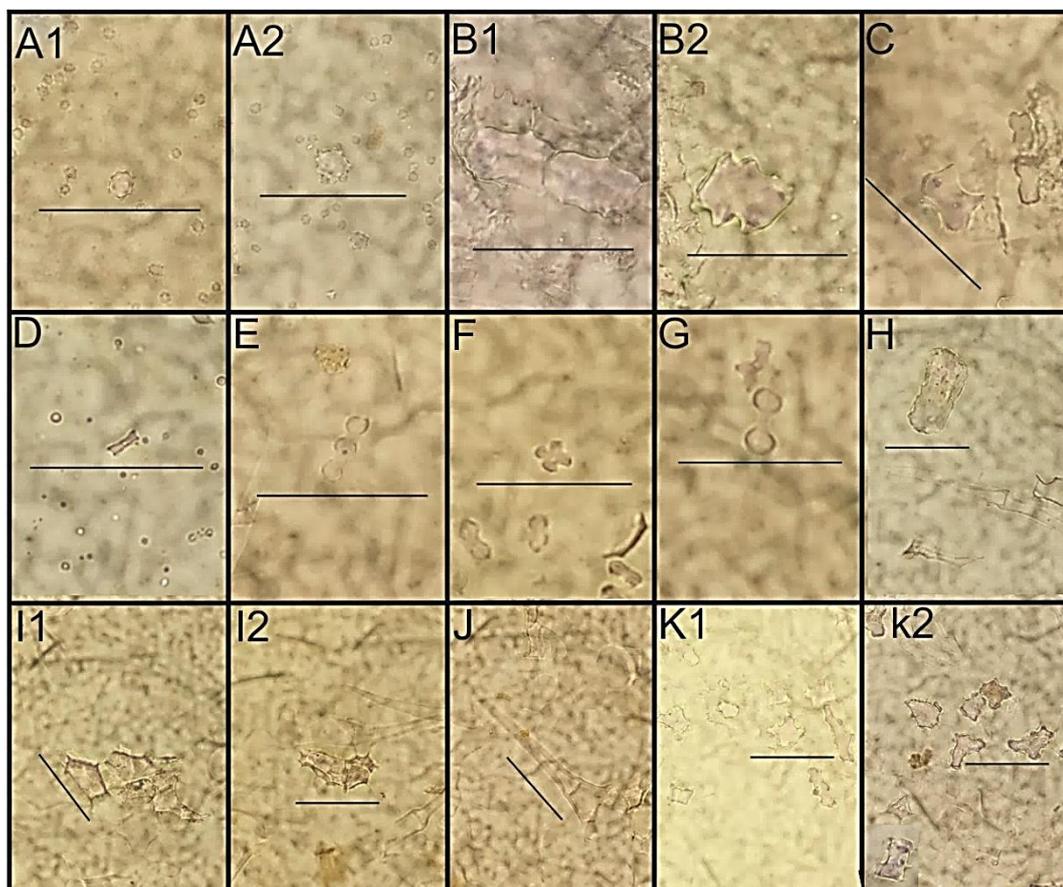


Figura 22 – Principais morfologias observadas nas plantas analisadas. A1, “Globular echinate” em *Alsophila setosa* Kaulf. (Cyatheaceae); A2, “Globular echinate” em *Euterpe edulis* Mart. (Arecaceae); B1-B2, “Bulliform paralelepipedal echinate” em *Chusquea* sp. (Poaceae); C, “Bilobate Chusquea” (Poaceae); D, “Rondel” em *Pharus lappulaceus* Aubl. (Poaceae); E, “Polilobate” em Poaceae; F, “Cross” em Poaceae; G, “Bilobate” em Poaceae; H, “Bulliform paralelepipedal” em *Piper* sp. (Piperaceae); I1-I2, “Tabular” em *Piper* sp. (Piperaceae); J, “Hair” em *Piper* sp. (Piperaceae); K1-K2, Morfologias encontradas em Euphorbiaceae. Escala 17 µm

Das coletas realizadas *Chusquea* sp. produziu o maior quantitativo fitolítico e número de morfologias e a menor produção foi de *Bernardia pulchella* (figuras 23 e 24).

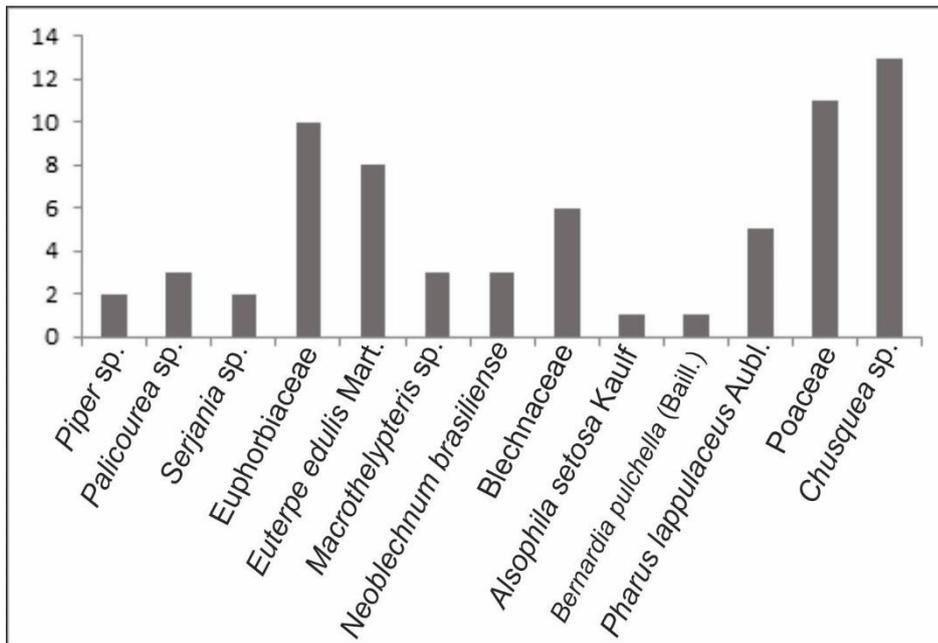


Figura 23 – Número de morfologias fitolíticas identificadas na coleta botânica do Parque Nacional do Iguaçu

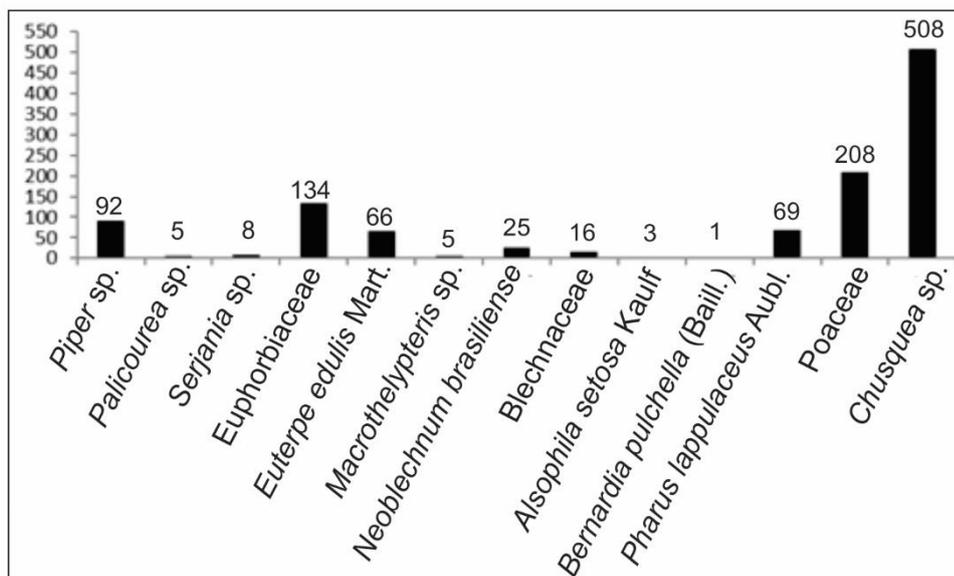


Figura 24 – Quantitativo de fitólitos identificados na coleta botânica do Parque Nacional do Iguaçu

Foram processadas folhas de 19 exemplares correspondentes a 16 espécies de 15 famílias. Do total analisado, encontrou-se fitólitos em 68,42% das amostras. Dos 13 indivíduos botânicos com produção de fitólitos, 31,58% enquadram-se como abundante (+++)⁸, frequente (++) 5,26%, raro (+) 5,26% e como raríssimo (±) 26,32% (Quadro 02).

Não foram encontrados fitólitos em *Tectaria incisa*, *Corymborkis flava*, *Didymochlaena truncatula*, *Dichorisandra hexandra*, *Hydrocotyle* sp. e *Macropharynx peltata* (Quadro 02).

Verificou-se que há diferenças na produção de fitólitos em espécies da mesma família, como exemplo Euphorbiaceae (Quadro 02).

Quadro 02 - Espécies amostradas e estimativa de produção fitolítica em folhas de cada família/espécie

Família	Espécie	Produção de fitólitos
Arecaceae	<i>Euterpe edulis</i> Mart.	+++
Araliaceae	<i>Hydrocotyle</i> sp	Ø
Apocynaceae	<i>Macropharynx peltata</i> (Vell.) J.F.Morales & M.E. Endress	Ø
Blechnaceae		+
Blechnaceae	<i>Neoblechnum brasiliense</i> (Desv.) Gasper & V.A.O.Dittrich	++
Commelinaceae	<i>Dichorisandra hexandra</i> (Aubl.) C.B.Clarke	Ø
Cyatheaceae	<i>Alsophila setosa</i> Kaulf.	±
Dryopteridaceae	<i>Didymochlaena truncatula</i> (Sw.) J.Sm.	Ø
Euphorbiaceae		+++
Euphorbiaceae	<i>Bernardia pulchella</i> (Baill.) Müll. Arg.	±
Orchidaceae	<i>Corymborkis flava</i> (Sw.) Kuntze	Ø
Poaceae		+++
Poaceae	<i>Chusquea</i> sp.	+++
Poaceae	<i>Pharus lappulaceus</i> Aubl.	+++
Piperaceae	<i>Piper</i> sp.	+++
Rubiaceae	<i>Palicourea</i> sp.	±
Sapindaceae	<i>Serjania</i> sp.	±
Tectariaceae	<i>Tectaria incisa</i> Cav.	Ø
Thelypteridaceae	<i>Macrothelypteris</i> sp.	±

⁸ No item 4.2.4.5 Quantificação dos fitólitos presentes na coleção de referência moderna, é apresentado o quanto equivale (Ø), (+++), (++) , (+) e (±).

Quantificou-se 37 morfologias fitolíticas distintas abrangendo as classificações raríssimo, raro, frequente e abundante (Quadro 03).

Quadro 03 - Morfologias de fitólitos e suas frequências de ocorrências por família/espécie

Fitólitos	<i>Euterpe edulis</i> Mart.	Blechnaceae	<i>Neoblechnum brasiliense</i> (Desv.) Gasper & V.A.O.Dittrich	<i>Alsophila setosa</i> Kaulf.	Eunhorbiaceae	<i>Bernardia pulchella</i> (Baill.) Müll. Arg.	Poaceae	<i>Chusquea</i> sp.	<i>Pharus lappulaceus</i> Aubl.	<i>Piper</i> sp.	<i>Palicourea</i> sp.	<i>Serjania</i> sp.	<i>Macrothelypteris</i> sp.
<i>Bilobate</i>	∅	∅	∅	∅	∅	∅	+	+	±	∅	∅	∅	∅
<i>Saddle</i>	∅	∅	∅	∅	∅	∅	+	+	∅	∅	∅	∅	∅
<i>Rondel</i>	∅	∅	∅	∅	∅	∅	+	+	++	∅	∅	∅	∅
<i>Bulliform cuneiform</i>	∅	∅	∅	∅	∅	∅	∅	∅	∅	∅	∅	∅	∅
<i>Bulliform parallelepipedal</i>	±	∅	∅	∅	±	∅	±	±	∅	±	±	∅	∅
<i>Bulliform parallelepipedal echinate</i>	∅	∅	∅	∅	+	∅	∅	+	∅	∅	∅	∅	∅
<i>Bulliform parallelepipedal volate</i>	∅	∅	∅	∅	±	∅	∅	∅	∅	∅	∅	∅	∅
<i>Bulliform lanceolot</i>	∅	∅	∅	∅	∅	∅	∅	∅	∅	∅	∅	∅	∅
<i>Block</i>	+	±	∅	±	+	±	±	∅	∅	∅	±	±	±
<i>Elongate entire</i>	±	±	∅	∅	+	∅	±	+	∅	∅	∅	±	±
<i>Elongate crenate</i>	∅	∅	∅	∅	∅	∅	+	+	∅	∅	∅	∅	∅
<i>Elongate psilate</i>	±	±	±	∅	±	∅	±	∅	±	∅	±	∅	∅
<i>Elongate echinate</i>	∅	∅	∅	∅	+	∅	+	+	±	∅	∅	∅	∅
<i>Elongate sinuate</i>	∅	∅	∅	∅	∅	∅	∅	+	∅	∅	∅	∅	∅
<i>Hair</i>	±	±	±	∅	±	∅	∅	+	∅	+	∅	∅	∅
<i>Hair Acicular</i>	∅	∅	∅	∅	∅	∅	±	∅	∅	∅	∅	∅	∅
<i>Hair Scutiform</i>	∅	∅	∅	∅	∅	∅	∅	∅	∅	∅	∅	∅	∅
<i>Hair Unciform</i>	∅	∅	∅	∅	∅	∅	∅	∅	±	∅	∅	∅	∅
<i>Globular psilate</i>	∅	∅	∅	∅	∅	∅	∅	∅	∅	∅	∅	∅	∅
<i>Globular echinate</i>	+++	∅	∅	∅	∅	∅	∅	∅	∅	∅	∅	∅	∅
<i>Globular granulate</i>	∅	∅	∅	∅	∅	∅	∅	∅	∅	∅	∅	∅	∅
<i>Cone-shape</i>	∅	∅	∅	∅	∅	∅	∅	∅	∅	∅	∅	∅	∅

<i>Bilobate chusquea</i>	∅	∅	∅	∅	∅	∅	∅	∅	∅	∅	∅	∅	∅
<i>Cross</i>	∅	∅	∅	∅	∅	∅	+	±	∅	∅	∅	∅	∅
<i>Oblong</i>	±	∅	∅	∅	∅	∅	∅	∅	∅	∅	∅	∅	∅
<i>Brachiform</i>	∅	∅	∅	∅	∅	∅	∅	∅	∅	∅	∅	∅	∅
<i>Tracheid</i>	±	±	+	∅	±	∅	∅	±	∅	∅	∅	∅	∅
<i>Sclereid</i>	∅	∅	∅	∅	±	∅	∅	∅	∅	∅	∅	∅	∅
<i>Trapeziform</i>	∅	∅	∅	∅	∅	∅	∅	±	∅	∅	±	±	∅
<i>Tree</i>	∅	∅	∅	∅	∅	∅	∅	∅	∅	∅	∅	∅	∅
<i>Epidermal</i>	∅	±	∅	∅	∅	∅	∅	∅	∅	∅	∅	∅	∅
<i>Brachiate</i>	∅	∅	∅	∅	∅	∅	∅	∅	∅	∅	∅	∅	∅
<i>Polilobate</i>	∅	∅	∅	∅	∅	∅	+	∅	∅	∅	∅	∅	∅
<i>Polyhedral epidermal</i>	∅	±	∅	∅	∅	∅	∅	∅	∅	∅	∅	∅	∅
<i>Ovate</i>	∅	±	∅	∅	∅	∅	∅	∅	∅	∅	∅	∅	∅
<i>Pteridophyte</i>	∅	∅	∅	∅	∅	∅	∅	∅	∅	∅	∅	∅	∅
<i>Spherical</i>	∅	∅	∅	∅	∅	∅	∅	∅	∅	∅	∅	∅	±

Identificou-se na família *Arecaceae* abundância na produção do morfotipo “Globular echinate”, as morfologias “Block” e “Elongate psilate” (rara e raríssima), “Tracheid”, “Oblong”, “Hair” e “Bulliform paralelepipedal” (raríssima).

A família *Blechnaceae* apresentou produção rara e raríssima para as morfologias “Block”, “Elongate entire”, “E. psilate”, “Hair”, “Tracheid”, “Epidermal”, “Polyedral epidermal” e “Ovate”; em *Cyatheaceae* encontrou-se o morfotipo “Block” classificado como raríssimo.

Na família *Euphorbiaceae*, as morfologias “Bulliform paralelepipedal”, “Bulliform paralelepipedal echinate”, “Bulliform paralelepipedal vollate”, “Block”, “E. psilate”, “E. echinate”, “E. entire”, “Hair”, “Tracheid” e “Sclereid”, foram classificadas como raríssima, rara e frequente.

Em *Piperaceae*, identificou-se dois morfotipos “Bulliform paralelepipedal” e “Hair” com as classificações raríssima e abundante respectivamente; em *Rubiaceae* encontrou-se os morfotipos “Elongate psilate”, “Block” e “Bulliform paralelepipedal” classificados como raríssimo.

As famílias *Sapindaceae* e *Thelypteridaceae* produziram morfologias semelhantes, tal como “Block” e “Elongate entire”. O morfotipo “Spherical” foi produzido somente pela última família supracitada. A produção fitolítica, por ambas as famílias, se enquadraram como raríssima.

A família Poaceae foi a maior produtora de fitólitos entre as analisadas. Classificou-se com produção abundante os morfotipos “Bilobate”, “Bulliform paralelepipedal echinate” e “Elongate echinate”; como frequente as morfologias “Saddle”, “Rondel”, “E. crenate” e “Cross”; com produção rara e raríssima “Polilobate”, “Acicular hair cell”, “Hair”, “E. sinuate”, “E. psilate”, “E. entire”, “Block” e “Bulliform paralelepipedal”.

5.2 DISCUSSÃO

Nas amostras analisadas percebeu-se a redundância e multiplicidade denotada por Rovner (1971). No primeiro conceito, alguns morfotipos são produzidos por mais de uma família, já no segundo consiste na alta produção de morfologias distintas por um mesmo táxon.

Como exemplo de redundância têm-se a morfologia “Block” que é produzida por Arecaceae, Blechnaceae, Euphorbiaceae, Piperaceae, Sapindaceae e Poaceae; no que condiz a multiplicidade, a família Poaceae apresenta elevada produção dos morfotipos “Bilobate”, “Saddle” e “Rondel”.

Essa seção corrobora afirmativas realizadas por Piperno (2006) e Raitz et al. (2015), em que monocotiledôneas são melhores produtoras de fitólitos, tanto no quesito diversidade, quanto em quantidade; tal fato evidencia-se, por exemplo, pela família Poaceae.

Os indivíduos apresentaram morfologias diagnósticas ao nível de família, tal como a morfologia “Globular echinate” para Arecaceae (KONDO, CHILDS, ATKINSON, 1994; RUNGE, 1999; PIPERNO, 2006; MACEDO et al., 2015; COE et al., 2017) e “Bilobate” para Poaceae (TWISS, SUESS, SMITH, 1969; TWISS, 1992; BREMOND et al., 2005a; COE, 2009; GU et al., 2016), corroborando estudos presentes na literatura.

A morfologia “Bulliform paralelepipedal echinate” atribuída para a subfamília Bambusoideae (MONTTI et al., 2009; GU et al., 2016; CALEGARI et al., 2017) foi encontrada nesse estudo, tanto em *Chusquea* sp., quanto para um indivíduo botânico que foi identificado somente ao nível da família Euphorbiaceae. Entretanto, salienta-se que há diferenças no tamanho das projeções (espinhos) de ambas as morfologias, sendo as de Euphorbiaceae menores. Ressalta-se que novos estudos utilizando um Microscópio Eletrônico de Varredura (MEV) com enfoque para distinção e melhor descrição desse morfotipo é de extrema importância, para auxiliar as pesquisas com enfoque em reconstruções paleobiogeográficas, paleoambientais, paleoarqueológicas e de paleovegetação.

5.3 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Esse estudo confirma resultados presentes na literatura, tal como redundância e multiplicidade; e que a família Poaceae é alta produtora de fitólitos, principalmente de células curtas e a família Arecaceae de “Globular echinate”. Conseguiu-se encontrar pequena semelhança entre um morfotipo produzido pela subfamília Bambusoideae, o “Bulliform paralelepipedal echinate” – também encontrado na literatura como “Cubic/Parallelepipedal sinuate bulliform cells” e “Chusquea bulliform phytoliths”, com uma morfologia de Euphorbiaceae. A diferença principal está nos espinhos que recobrem o morfotipo; reforça-se a necessidade de mais estudos utilizando MEV, para explicar as diferenças em micrômetros (μm).

Promoveu-se também o comparativo entre fitólitos de serapilheira com os recuperados nos testemunhos, sendo descoberto que o quantitativo dos testemunhos foi superior aos encontrados em serapilheira para as amostras analisadas.

Devido à importância de trabalhos com essa ótica, ressalta-se que novos estudos de coleção de referência de fitólitos devem ser elaborados não somente para o Bioma Mata Atlântica, mas para os demais biomas brasileiros, uma vez que os estudos paleobiogeográficos são crescentes em todas as regiões brasileiras.

6 PRESERVAÇÃO DOS FITÓLITOS NO PARQUE NACIONAL DO IGUAÇU

Essa seção aborda primeiramente os resultados dos testemunhos analisados e, na sequência, a discussão. Denota-se os dados da Matéria Orgânica do Solo (MOS) prosseguindo com os dados micropaleontológicos (fitólitos, frústulas de diatomáceas e espículas de esponjas de água doce).

6.1 RESULTADOS

Essa seção tem como propósito abarcar a conservação da assembleia fitolítica em solos modernos. Para isso, adotou-se a abordagem quantitativa, utilizando percentuais para analisar os testemunhos e verificar se havia maior ou menor conservação das morfologias identificadas do topo à base.

Diagnosticou-se também a configuração da assembleia com a finalidade de analisar se houveram variações da vegetação em relação aos substratos atuais.

Os testemunhos coletados no PNI no município de Céu Azul foram: Ponto 1, Ponto 2, Ponto 3, Ponto 4, Ponto 5, Ponto 6, Ponto 7, Ponto 8 e Tubo 1. Três coletas se deram em uma transecção (141 m) ao longo de uma vertente (Pontos 6, 7 e 8). Os testemunhos coletados em Foz do Iguaçu foram: Ponto 9, Represa Rio São João, Fazenda Salinet e Lagoa do Jacaré (Figura 14)⁹.

Salienta-se, ainda, que as frústulas de diatomáceas foram apenas quantificadas, sinalizando umidade no ambiente.

6.1.1 Matéria Orgânica do Solo presente nos pontos amostrados

Foi determinada na MOS diferenças entre os testemunhos coletados. Os pontos P5 e P7 apresentaram baixa dispersão. Situação oposta foi identificada nas amostras do P4 com os maiores valores e ampla distribuição. Os P1, P2, P3, P5, P6, RPS e Fazenda Salinet, apresentaram valores não inferiores a 4,95% e máximo de 18,81% (Figura 25).

⁹ Essa figura foi apresentada nos procedimentos de campo.

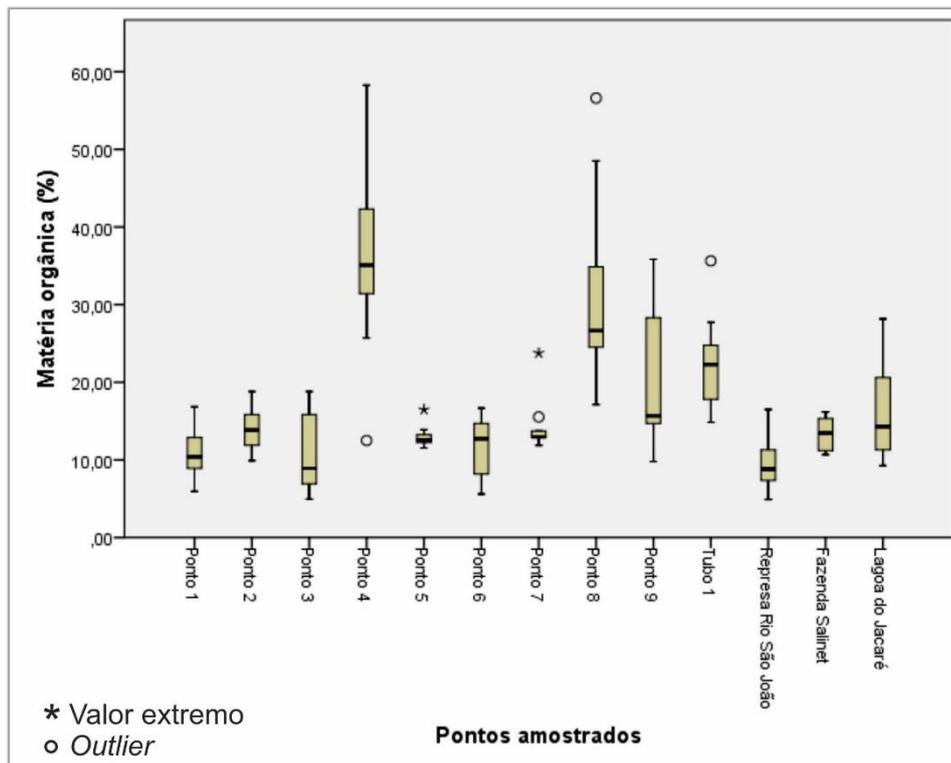


Figura 25 – Diagrama de caixa demonstrando os valores da matéria orgânica do solo dos pontos amostrados no Parque Nacional do Iguaçu

Os maiores valores foram identificados nos testemunhos P4, P8, P9 e Tubo 1 (T1), bem como maior dispersão. Tais diferenças podem estar relacionadas ao tipo de material coletado, uma vez que esses solos são do grupo dos solos mal drenados; o P4 e T1 consistem em solos hidromórficos; o P9, solo hidromórfico com mosqueamento sinalizando a presença de oscilação do lençol freático; o P8 foi coletado ao lado da nascente do rio Manoel Gomes consistindo também em solo hidromórfico. Os pontos P1, P2, P3, P5, P6 e P7 competem aos solos do grupo bem drenados e os testemunhos Fazenda Salinet e RPS ao grupo dos solos moderadamente drenados. Tais grupos apresentaram valores inferiores de MOS em relação ao grupo dos solos mal drenados. Os testemunhos com “outlier” foram P4, P7, P8, T1 e com valor extremo o P5 e P7. Ressalta-se que foram encontrados valores de MOS próximos de 60% para o P4 e P8 (Figura 25).

A matéria orgânica da Lagoa do Jacaré (LJ) apresentou valor mínimo de 9,26% (75-70 cm) e máximo de 28,16% (25-20 cm). Foram identificados dois picos de acumulação de matéria orgânica nos intervalos 50-45 cm (26,47%) e 25-20 cm - valor máximo-. O material da LJ é característico de sedimento – com cores esverdeadas e acinzentadas. Tais fatos possibilitam inferir que ocorreram dois momentos de maior deposição de material oriundo da decomposição

da vegetação. Estando esses picos próximos ao centro do testemunho, na base determinou-se baixa quantidade de matéria orgânica (Figura 25).

6.1.2 Granulometria das amostras da trincheira aberta no Parque Nacional do Iguaçu

Localizada em área de topo, a trincheira foi aberta com 2,10 metros (Figura 26). A granulometria do solo da trincheira apresentou os seguintes valores: a fração argila oscilou entre 77,78% (20-30 cm) e 57% (200-210 cm) com amplitude de 20,78%; o percentual máximo para o silte foi 41,5% (200-210 cm) e o mínimo de 20,61% (20-30 cm); a fração areia amplitude de 1,75% sendo o valor máximo de 3,18% (190-200 cm) e mínimo de 1,43% (0-10 cm) (Figura 27).



Figura 26 - Trincheira aberta no Parque Nacional do Iguaçu com 2,10 metros

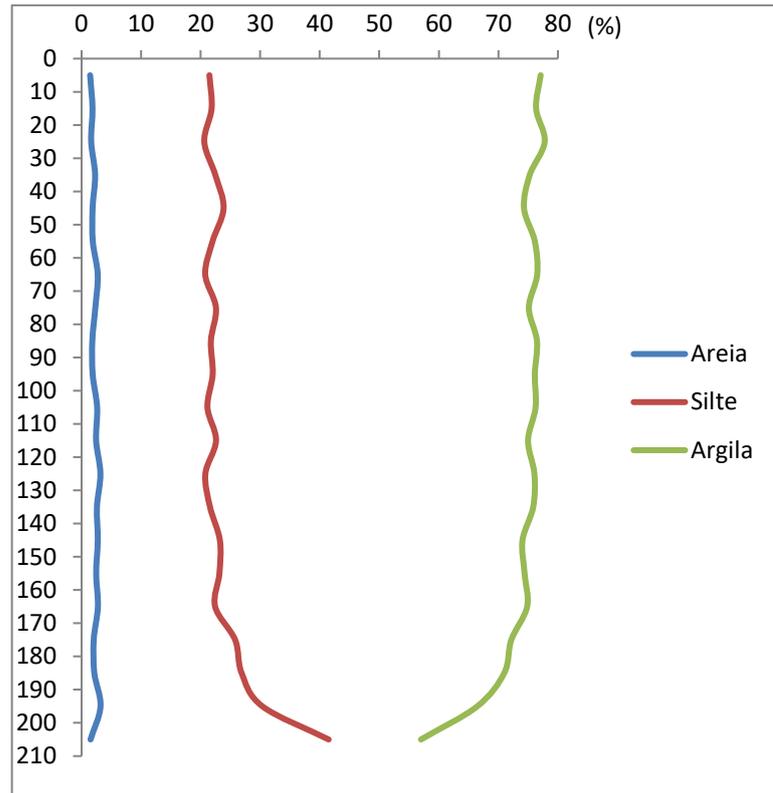


Figura 27 - Composição granulométrica da trincheira

Desse modo, é possível perceber a distinção entre areia, argila e silte, tendo essas duas últimas frações distribuição dos dados inversamente proporcional, ou seja, à medida que uma fração aumenta a outra diminui, sendo notório principalmente em profundidade. Essa afirmativa é confirmada com o coeficiente de correlação de Spearman, que indicou correlação negativa e muito forte ($\rho = -0,940$; $p < 0,001$).

Para confirmar a diferença entre as frações, realizou-se a análise das funções de distribuição. O teste de Kruskal-Wallis apontou que há diferença estatisticamente significativa entre as frações [$X^2(2) = 55,126$; $p < 0,001$] e, nas comparações entre pares, determinou-se que areia, silte e argila, de fato, são distintas ao longo da trincheira.

6.1.3 Análise dos microfósseis nos testemunhos coletados

6.1.3.1 Céu Azul - Ponto 1

Os fitólitos do Ponto 1 apresentaram-se distribuídos heterogeneamente ao longo dos 50 cm (Figuras 28 e 29). Diagnosticou-se aumento em direção ao topo com as maiores concentrações nos primeiros 20 cm.

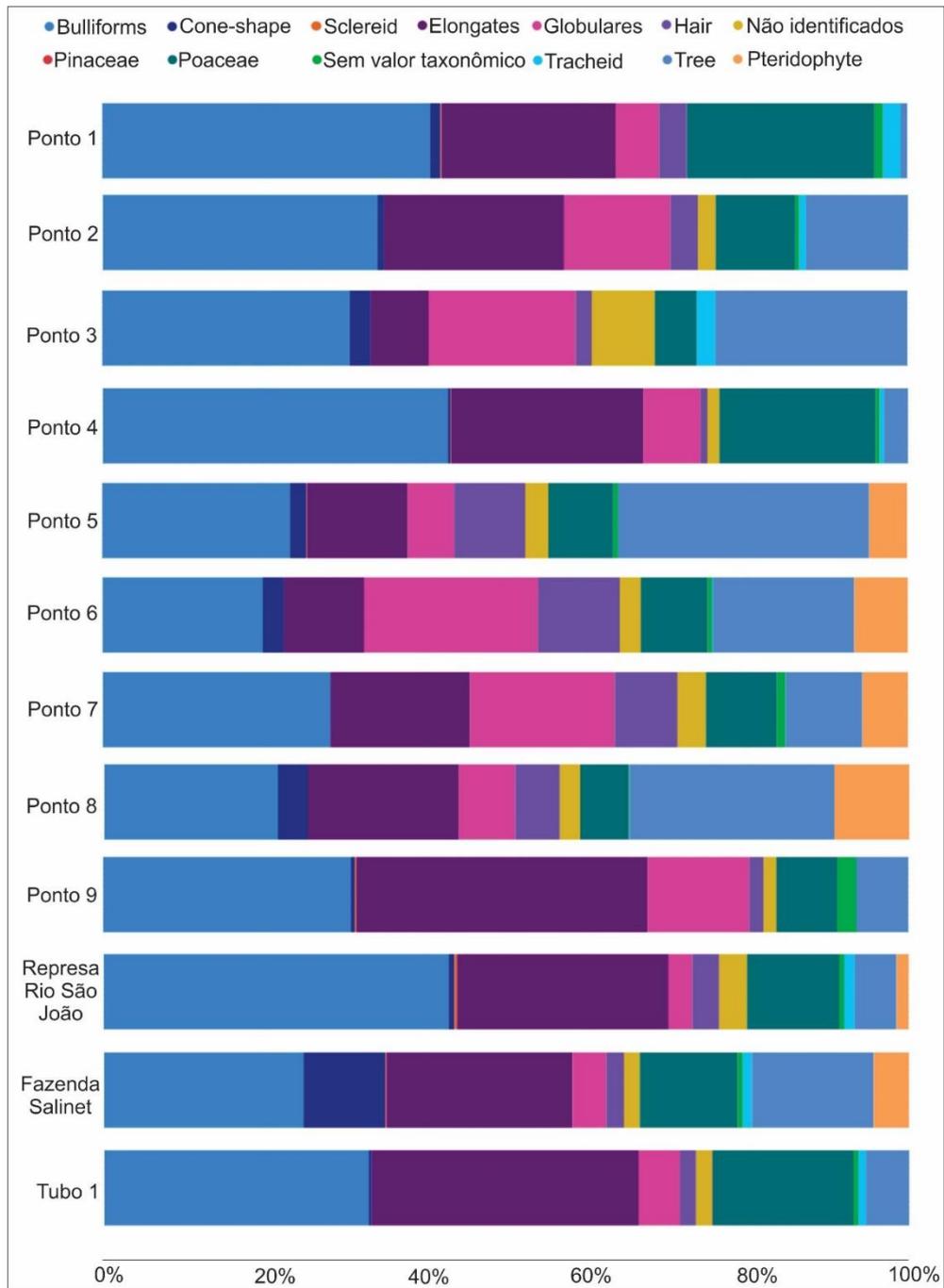


Figura 28 - Diagrama das assembleias recuperadas nas amostras de solos coletadas no Parque Nacional do Iguaçu, Paraná

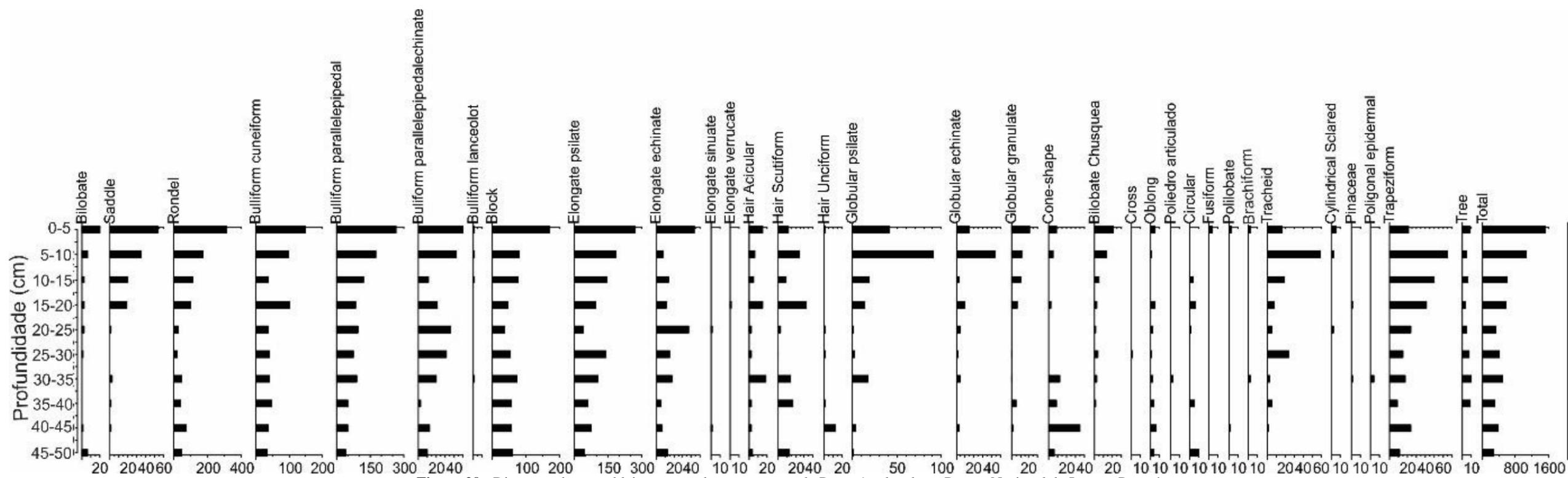


Figura 29 - Diagrama da assembleia recuperada nas amostras do Ponto 1 coletada no Parque Nacional do Iguazu, Paraná

Foram identificados 34 morfotipos no perfil de solo. Dos morfotipos “Short cells” produzidos por Poaceae - “Bilobate” (Figura 30 F), “Rondel” (Figura 30 H1-H3), “Saddle” (Figura 30 G), “Trapeziform” (Figura 30 P) e “Cross”, o morfotipo “Rondel” apresentou maior incidência com 15,96% do total dos fitólitos recuperados e 67,86% das “Short cells”.

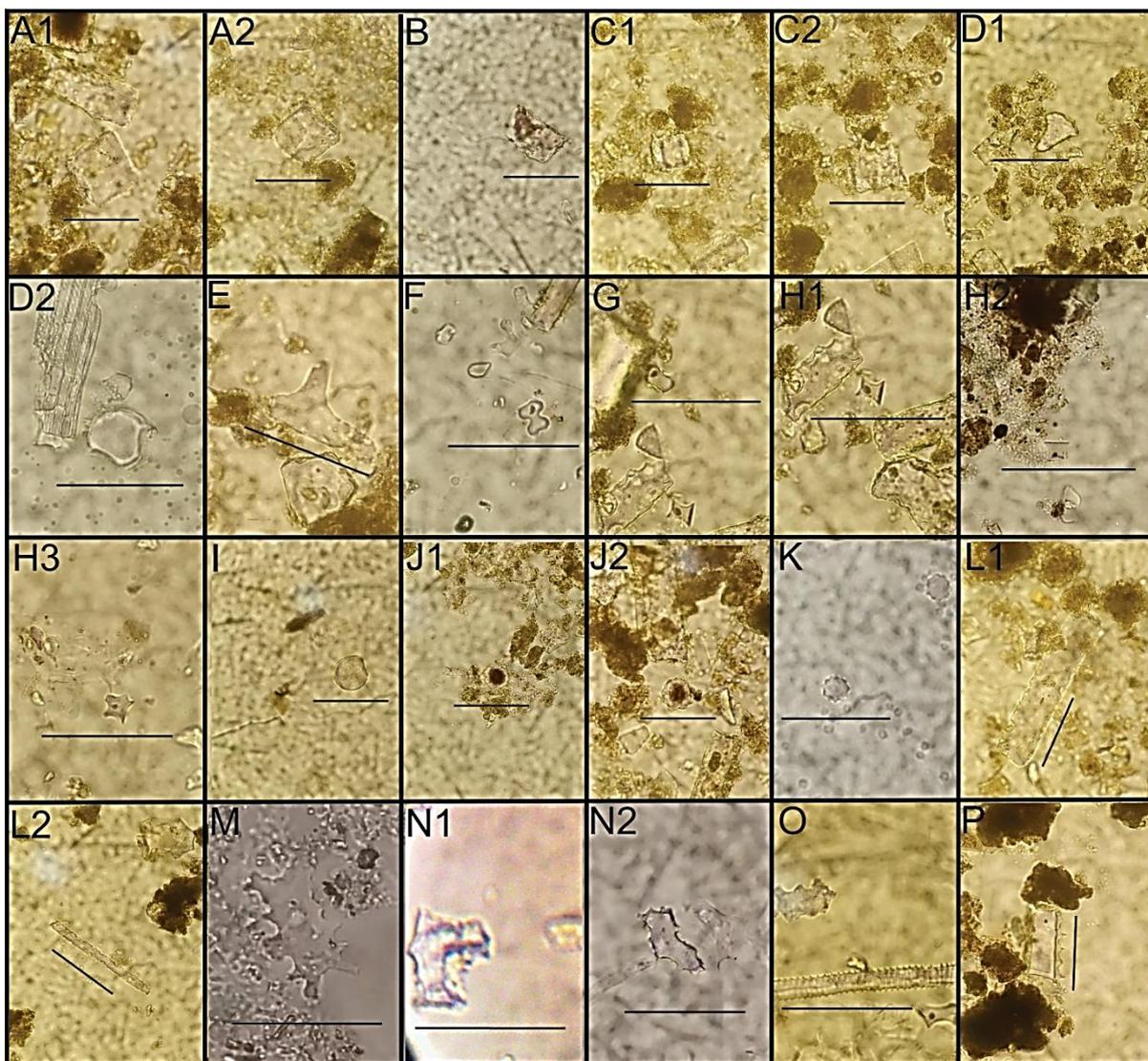


Figura 30 – Fotomicrografias dos fitólitos. A1-A2, “Block”; B, “Bulliform parallelepipedal”; C1-C2, “Bulliform parallelepipedal echinate”; D1-D2, “Bulliform cuneiform”; E, “Brachiform”; F, “Bilobate”; G, “Saddle”; H1-H3, “Rondel”; I, “Globular psilate”; J1-J2, “Globular granulate”; K, “Globular echinate”; L1-L2, “Elongate psilate”; M, Pinaceae; N1-N2, “Tree”; O, “Tracheid”; P, “Trapeziform”. Escala 17 µm.

Os morfotipos quantificados que não apresentam padrão taxonômico específico, mas são produzidos por gramíneas foram as “Long cells” (Figura 30 L1-L2) e “Bulliform cells” (Figura 30 A1-A2 a D1-D2) (“Elongate psilate”, “Elongate echinate”, “Elongate sinuate”, “Elongate verrucate”, “Bulliform cuneiform”, “Bulliform parallelepipedal”, “Bulliform lanceolot”, “Brachiform” e “Block”).

Os fitólitos “Rondel”, “Bulliform cuneiform”, “Bulliform parallelepipedal”, “Block” e “Elongate psilate” corresponderam a maioria da assembleia fitolítica (70,51%).

Os fitólitos “Unciform hair cell”, “Acicular hair cell”, “Scutiform hair cell” compõem 3,36% do total de fitólitos ao longo do perfil.

O morfotipo “Cone-shape” ocorreu com maior deposição no intervalo 45-40 cm. Encontrou-se os morfotipos “Globulares psilate” (Figura 30 I), “G. echinate” (Figura 30 K) e “G. granulate” (Figura 30 J1-J2) com prevalência nos primeiros intervalos.

A morfologia “Circular” foi contabilizada com baixa incidência 0,41%, tendo maior expressão nos intervalos 50-45 cm (38,46%) e 20-15 cm (23,08%).

O fitólito “Oblong” foi identificado em todas as amostras, não obstante, em baixa quantidade, 0,41% do valor absoluto dos fitólitos.

A morfologia “Tracheid” (Figura 30 O) foi determinada praticamente em todos os intervalos, com exceção da profundidade 50-45 cm. O pico dessa morfologia ocorreu no intervalo 10-05 cm (43,38%).

Foi identificado, nos intervalos 35-30 cm e 20-15 cm, fitólito de Pinaceae (Figura 30 M). Fitólitos encontrados que não apresentam padrão taxonômico com quantidades inferiores a 0,15% em relação ao total da assembleia fitolítica recuperada foram: “Poliedro articulado”, “Fusiform” e “Poligonal epidermal”.

6.1.3.2 Céu Azul - Ponto 2

Foram identificadas 24 morfologias, distribuídas de maneira distinta ao longo da tradagem (Figuras 28 e 31). As concentrações de fitólitos acima de 150 foram detectadas nos intervalos 30-25, 25-20, 15-10, 10-05 e 05-0 cm.

Das morfologias “Short cells” a morfologia “Rondel” foi mais expressiva com 6,3% em relação ao total de fitólitos amostrados. Os morfotipos “Saddle” e “Trapeziform” apresentaram-se com 1,9% e 1,6% respectivamente.

Os “Globulares psilate”, “G. echinate” e “G. granulate” foram encontrados com 5,9%, 4% e 3,4% respectivamente. A morfologia “Tree” (Figura 30 N1-N2) foi encontrada com 12,6% em relação ao total levantado.

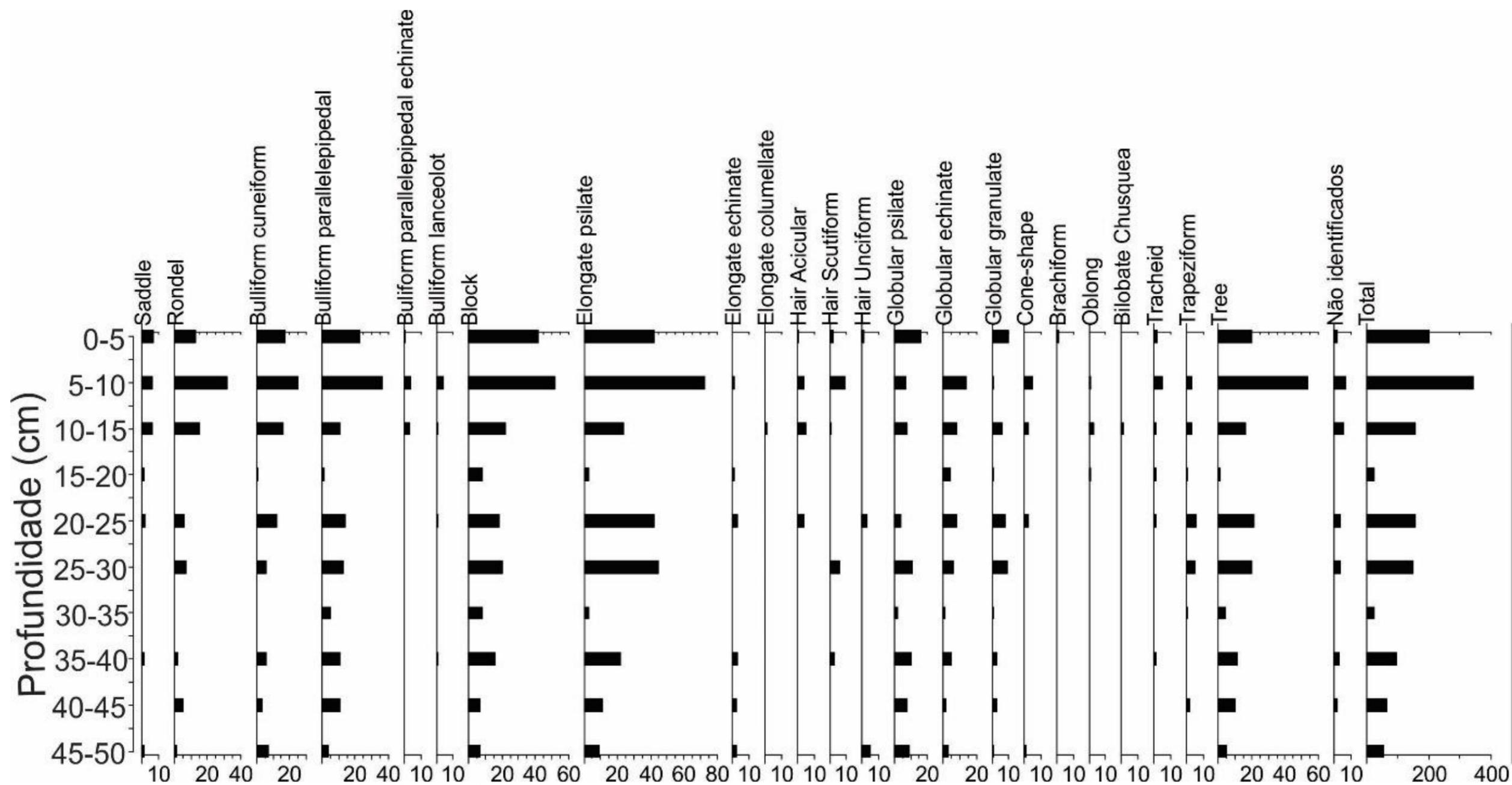


Figura 31 - Diagrama da assembleia recuperada nas amostras do Ponto 2 coletada no Parque Nacional do Iguaçu, Paraná

As “Bulliform cells” somaram 34,10% tendo prevalência as morfologias “Block” (Figura 30 A1-A2) (15,6%), “Bulliform paralelepipedal” (Figura 30 B) (10,1%) e “Bulliform cuneiform” (Figura 30 D1-D2) (7,3%). Juntas os morfotipos “Bulliform lanceolot” e “Bulliform paralelepipedal echinate” (Figura 30 C1-C2) representaram 1,1%.

As “Hair cells” – “Acicular”, “Scutiform” e “Unciform” – foram contabilizadas em 3,4%. Os “Elongates psilate” (Figura 30 L1-L2), “E. echinate” e “E. columellate” total de 22,4%, tendo maior significância a primeira morfologia supracitada com 21,4%. O “Brachiform” (Figura 30 E) e “Oblong”, em conjunto, também se apresentaram com baixa expressividade 0,5%. O morfotipo “Bilobate chusquea” (0,1%) foi encontrado somente no intervalo 15-10 cm. Os não identificados constituíram 2,2%.

As morfologias “Cone-shape” (0,8%) e “Tracheid” (0,9%) foram contabilizadas com maior representatividade nos intervalos até 25-20 cm.

6.1.3.3 Céu Azul - Ponto 3

A assembleia fitolítica do P3 distingue-se das anteriores, devido à baixa quantidade de fitólitos em toda a amostra. Foram identificadas 20 morfologias com total de 306 fitólitos (Figuras 28 e 32). As maiores concentrações estabeleceram-se nos intervalos 35-30 cm (19,61%) e 25-20 cm (25,82%) compondo 45,43% do total quantificado.

Entre os “Globulares psilate” (Figura 30 I) (13,07%), “G. granulate” (Figura 30 J1-J2) (3,92%) e “G. echinate” (Figura 30 K) (1,31%) o primeiro foi confirmado com maior incidência, só não constando no intervalo 50-45 cm. A morfologia “Tree” (23,86%) foi contabilizada em praticamente todo o perfil, com ausência do morfotipo no intervalo 05-0 cm.

A morfologia “Cone-shape” foi detectada nos intervalos 35-30 cm, 25-20 cm e 20-15 cm. Quantificou-se o morfotipo “Tracheid” nos mesmos intervalos. O morfotipo “Bilobate” (Figura 30 F) foi contabilizado em maior quantidade da base ao meio da tradagem (1,96%).

Ademais, quantificou-se também as morfologias “Unciform hair cell”, “Scutiform hair cell”, “Acicular hair cell”, “Trapeziform”, “Elongates psilate”, “E. sinuate”, “E. echinate”, “Bilobate”, “Rondel”, “Block”, “Bulliform cuneiform”, “B. paralelepipedal” e “B. paralelepipedal echinate” (50,65%).

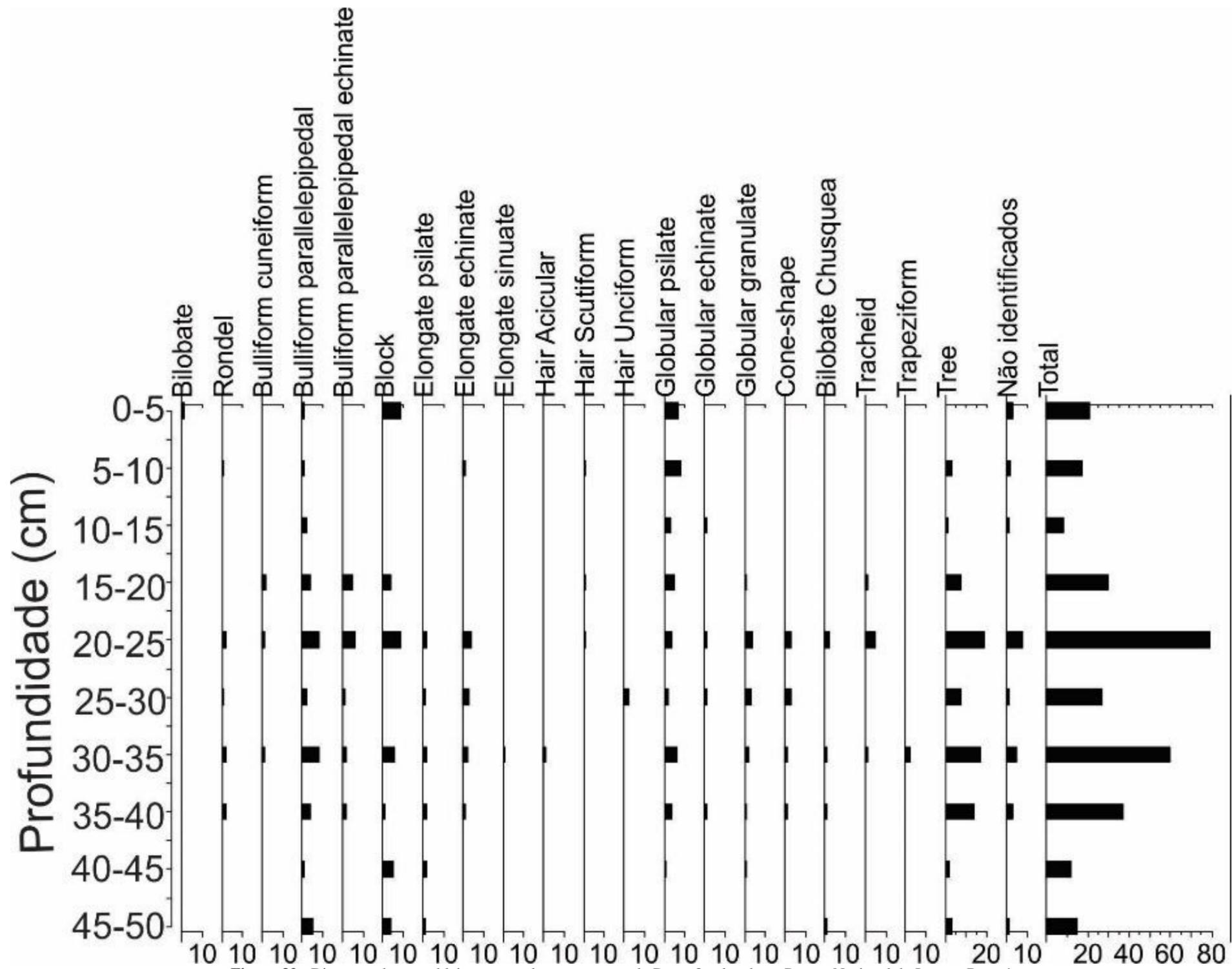


Figura 32 - Diagrama da assembleia recuperada nas amostras do Ponto 3 coletada no Parque Nacional do Iguazu, Paraná

6.1.3.4 Céu Azul - Ponto 4

Foram identificadas 25 morfologias de fitólitos. Identificou-se quatro picos de deposição nos intervalos 45-40 cm (425 fitólitos), 25-20 cm (489 fitólitos), 20-15 cm (1.123 fitólitos) e 10-05 cm (588 fitólitos) (Figura 33). Esses intervalos representaram 10,40%, 11,97%, 27,48% e 14,39%, respectivamente, do total de fitólitos identificados, representando mais de 64% do total quantificado.

As morfologias “Shorts cells” representaram 17,89%, sendo os morfotipos “Trapeziform” e “Rondel” prevalentes. As morfologias recuperadas que não apresentam padrão taxonômico foram caracterizadas por “Bulliform cells” e “Long cells”, sendo o “Elongate psilate”, “Elongate echinate”, “Elongate sinuate”, “Bulliform cuneiform”, “Bulliform parallelepipedal”, “Bulliform parallelepipedal echinate”, “Bulliform lanceolot” e “Brachiform”.

Das morfologias “Long cells” o “Elongate psilate” ocorreu com quantidade superior em todas as amostras analisadas nesse ponto, totalizando 22,37%. Os morfotipos “Bulliform cells” representaram 42,85%. As morfologias “Block” e “Bulliform parallelepipedal” foram mais representativas entre as seis identificadas com 21,46% e 14,42% respectivamente.

Os fitólitos “Unciform hair cell”, “Acicular hair cell”, “Scutiform hair cell”, compõem 0,86% das morfologias fitolíticas.

O “Cone-shape” foi identificado nos intervalos 45-40 cm, 35-30 cm, 30-25 cm, 25-20 cm, 15-10 cm e 10-05 cm, com no máximo cinco fitólitos em cada intervalo, apresentando baixa produção/conservação dessa morfologia.

Os “Globulares granulate”, “G. echinate” e “G. psilate” corresponderam a 1%, 2,47% e 3,62% respectivamente, totalizando mais de 7% das morfologias recuperadas.

O morfotipo “Oblong” foi encontrado nos intervalos 40-35 cm, 35-30 cm, 30-25 cm, 25-20 cm, 15-10 cm, 10-05 cm, com poucos fitólitos em cada intervalo, no máximo três.

A morfologia “Tracheid” apresentou baixa expressividade nas amostras (0,54%). Sendo identificada nos intervalos de 50-45 cm a 45-40 cm e 25-20 cm a 10-05 cm. O “Tree” foi determinado em todos os intervalos com pico de deposição em 45-40 cm.

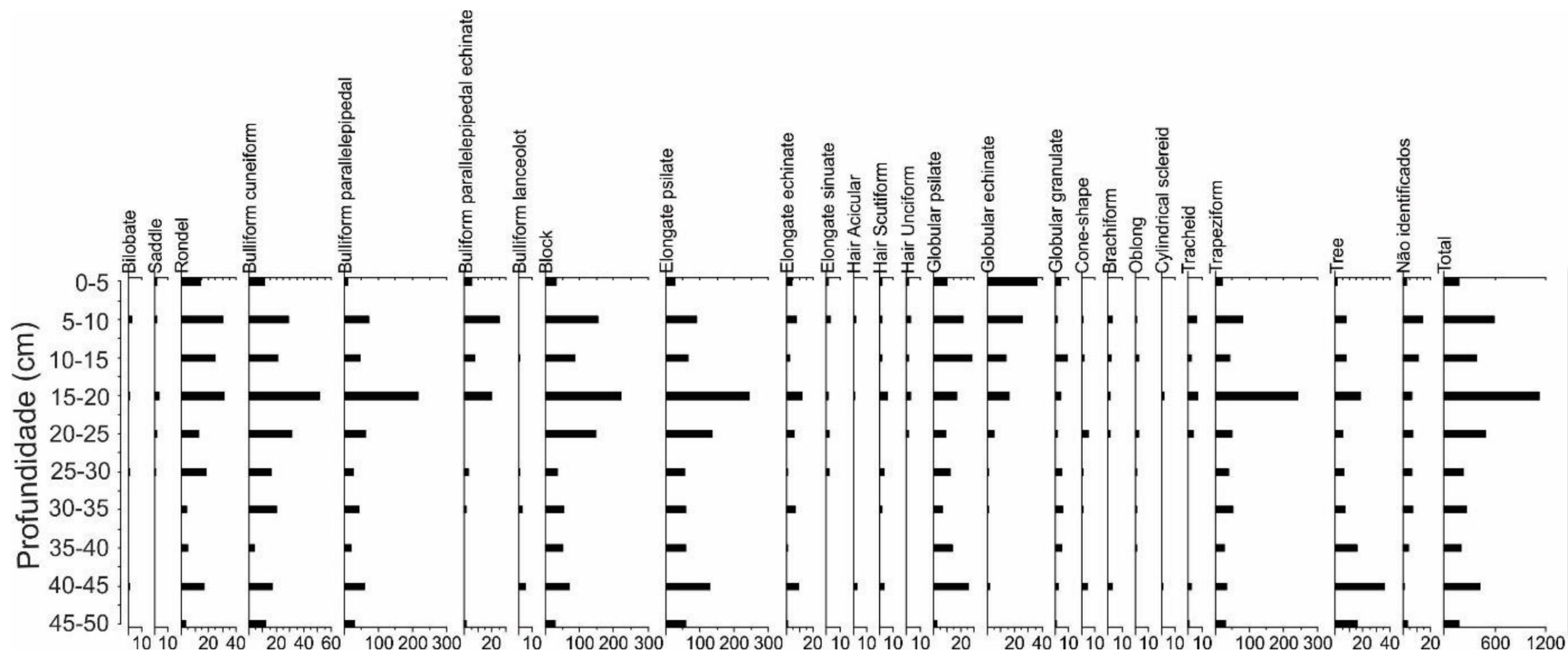


Figura 33 - Diagrama da assembleia recuperada nas amostras do Ponto 4 coletada no Parque Nacional do Iguçu, Paraná

A morfologia “Cylindrical sclereid” foi contabilizada nos intervalos 45-40 cm e 20-15 cm com três fitólitos no total.

6.1.3.5 Céu Azul - Ponto 5

Foram identificadas 25 morfologias ao longo da trincheira, com maior concentração nos intervalos 180-170 cm (17,28%), 200-190 cm (12,68%) e 190-180 cm (9,71%). Se incluso o intervalo 210-200 cm aos três supracitados, o somatório resulta em 46,93% do total da assembleia fitolítica recuperada (Figura 34).

Desse modo, evidencia-se que os quatro últimos intervalos representam quase 50% do total quantificado. Salienta-se ainda que o intervalo 210-200 cm é 0,20% superior ao quantitativo do primeiro intervalo (10-0 cm). Evidenciando, assim, a distribuição heterogênea entre as morfologias ao longo da trincheira.

Dentre as morfologias encontradas, o morfotipo “Tree” (31,19%) foi o mais representativo (Figura 34), ocorrendo ao longo de toda a trincheira, com oscilações, mas não ausente. Os intervalos com as maiores concentrações foram 210-200, 200-190, 190-180, 180-170, 80-70, 70-60 e 10-0 cm respectivamente.

Os morfotipos “Globulares echinate” (1,94%), “G. psilate” (2,66%) e “G. granulate” (1,23%) totalizaram 5,83%. O morfotipo “Pteridophyte” totalizou 4,70% com pico de deposição no intervalo 200-190 cm. A morfologia “Cone-shape” (2,04%) foi encontrado nas primeiras e últimas profundidades e foi a mais expressiva em 180-170 cm. A morfologia “Sclereid” (0,10%) ocorreu somente no intervalo 180-170 cm.

Para as morfologias “Hair cells” quantificou-se 8,79% com maior representatividade a “Acicular hair cell” (5,62%). Dos morfotipos “Elongates psilate” (10,74%), “E. echinate” (1,53%), “E. sinuate” (0,10%) e “E. Cylindrical” (0,10%). O primeiro foi o único que se apresentou em todas as profundidades. Essas morfologias totalizaram 12,47%.

As morfologias “Bulliform cells” (23,31%) ocorreram ao longo de toda a trincheira. A morfologia “Block” (12,78%) foi a mais representativa e apresentou melhor distribuição, não ocorrendo somente em 150-140 cm, mas, com maior prevalência, nos quatro últimos intervalos.

Dos morfotipos “Short cells” (6,54%) – “Bilobate” (1,73%), “Rondel” (3,99%), “Saddle” (0,92%) e “Trapeziform” (1,48%), o morfotipo “Rondel” prevaleceu entre as morfologias com pico no intervalo 180-170 cm.

As morfologias “Circular” e “Oblong” não foram expressivas ao longo da trincheira, com total de 0,20% e 0,41%, respectivamente. As morfologias não identificadas quantificaram-se 2,86%.

Com relação à conservação fitolítica utilizou-se os parâmetros estabelecidos por Strömberg (2004) e Piperno (2006) – utilizado recentemente por Seixas et al. (2019); solos com pH entre 2 e 9 tendem a preservar melhor o fitólito. O pH das amostras da trincheira oscilou entre 4,35 e 5,07.

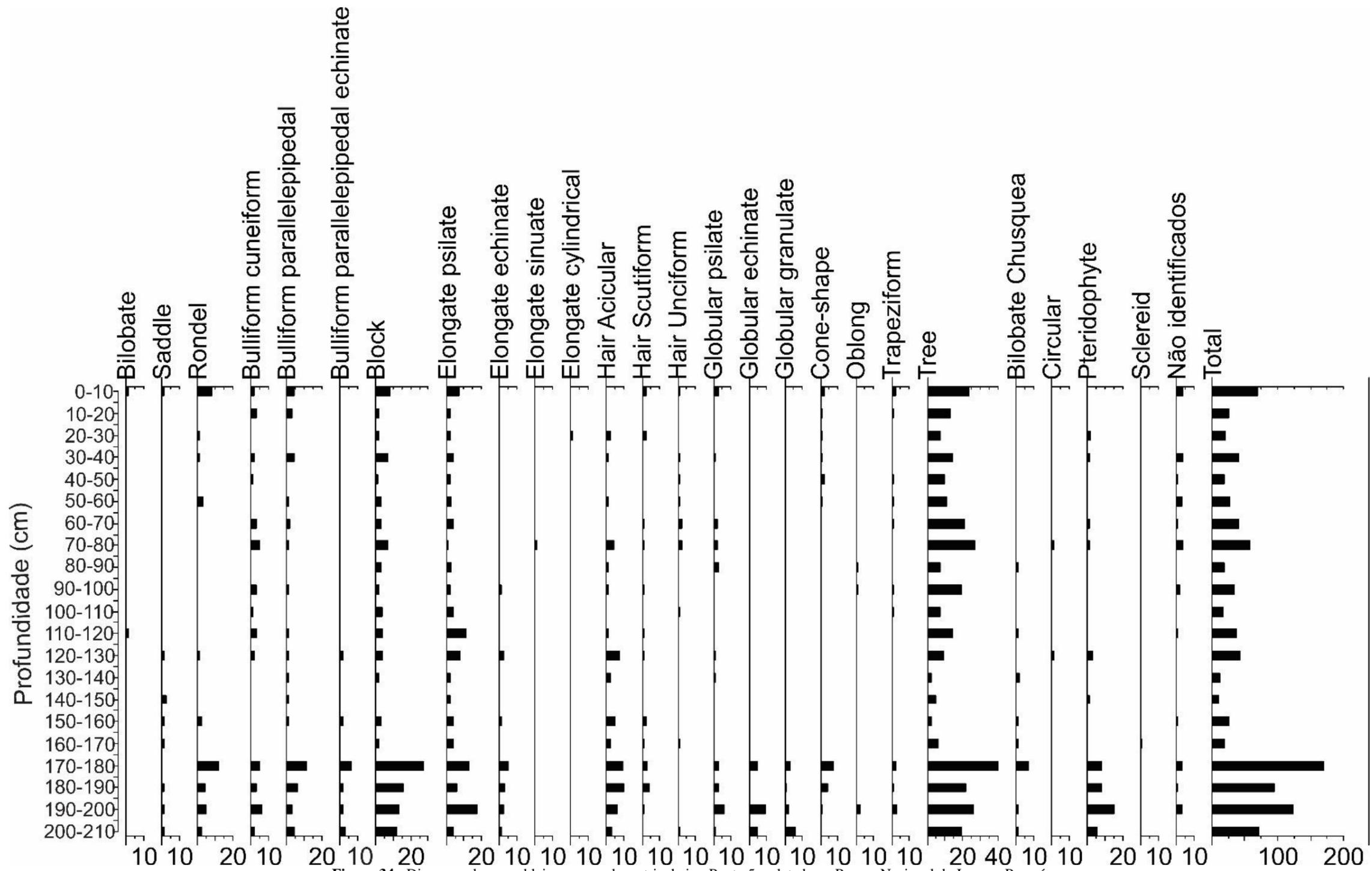


Figura 34 - Diagrama da assembleia recuperada na trincheira, Ponto 5, coletada no Parque Nacional do Iguaçu, Paraná

6.1.3.6 Céu Azul - Ponto 6

Das 25 morfologias fitolíticas identificadas, o morfotipo com maior ocorrência foi o “Tree” (17,56%), sequenciado pelo “Globular echinate” (14,17%) e “Block” (12,09%). Essas três morfologias totalizaram 43,82% da assembleia total recuperada. A assembleia apresentou-se destoante nas amostras analisadas (Figuras 28 e 35).

As morfologias “Short cells” totalizaram 7,28%, sendo o morfotipo “Rondel” (4,55%) prevalente. O morfotipo “Bilobate Chusquea” (1,04%) foi identificado nos primeiros e últimos intervalos da amostragem e as morfologias “Bulliform cells” totalizaram 19,90%.

Os morfotipos “Elongates psilate” (8,58%), “E. echinate” (1,30%) e “E. sinuate” (0,13%) totalizaram 10,01%, sendo o primeiro o único que ocorreu em todos os intervalos. O pico de deposição ocorreu no intervalo 10-05 cm.

A morfologia “Acicular hair cell” (6,76%) predominou entre a “Scutiform hair cell” (1,69%) e “Unciform hair cell” (1,69%).

Os morfotipos “Globulares psilate”, “G. echinate” e “G. granulate” apresentaram característica atípica no que concerne aos percentuais encontrados. Nessas amostras a morfologia “Globular echinate” (14,17%) foi predominante em relação ao “G. psilate” (7,28%) e “G. granulate” (0,13%). Em campo, visualizou-se muitos indivíduos da espécie *Euterpe edulis* Mart. (Arecaceae) sob dossel frondoso. O morfotipo “Globular echinate” esteve ausente no intervalo 50-45 cm e apresentou maior concentração no intervalo 15-10 cm.

O morfotipo “Cone-shape” (2,60%) foi encontrado nos intervalos 40-35 cm e 25-20 a 05-0 cm. A morfologia “Pteridophyte” (6,63%) ocorreu ao longo de todas as amostras desse ponto, com pico de deposição no intervalo 10-05 cm. O morfotipo “Tree” (17,56%) também ocorreu em todos os intervalos, com pico de deposição em 25-20 cm e valor próximo em 10-05 cm.

As morfologias “Tracheid” e “Circular” (0,13%) foram contabilizadas nos intervalos 50-45 cm. A morfologia “Brachiform” (0,13%) no intervalo 10-05 cm, o morfotipo “Oblong” (0,26%) nos intervalos 25-20 e 15-10 cm. Os não classificados totalizaram 2,60%.

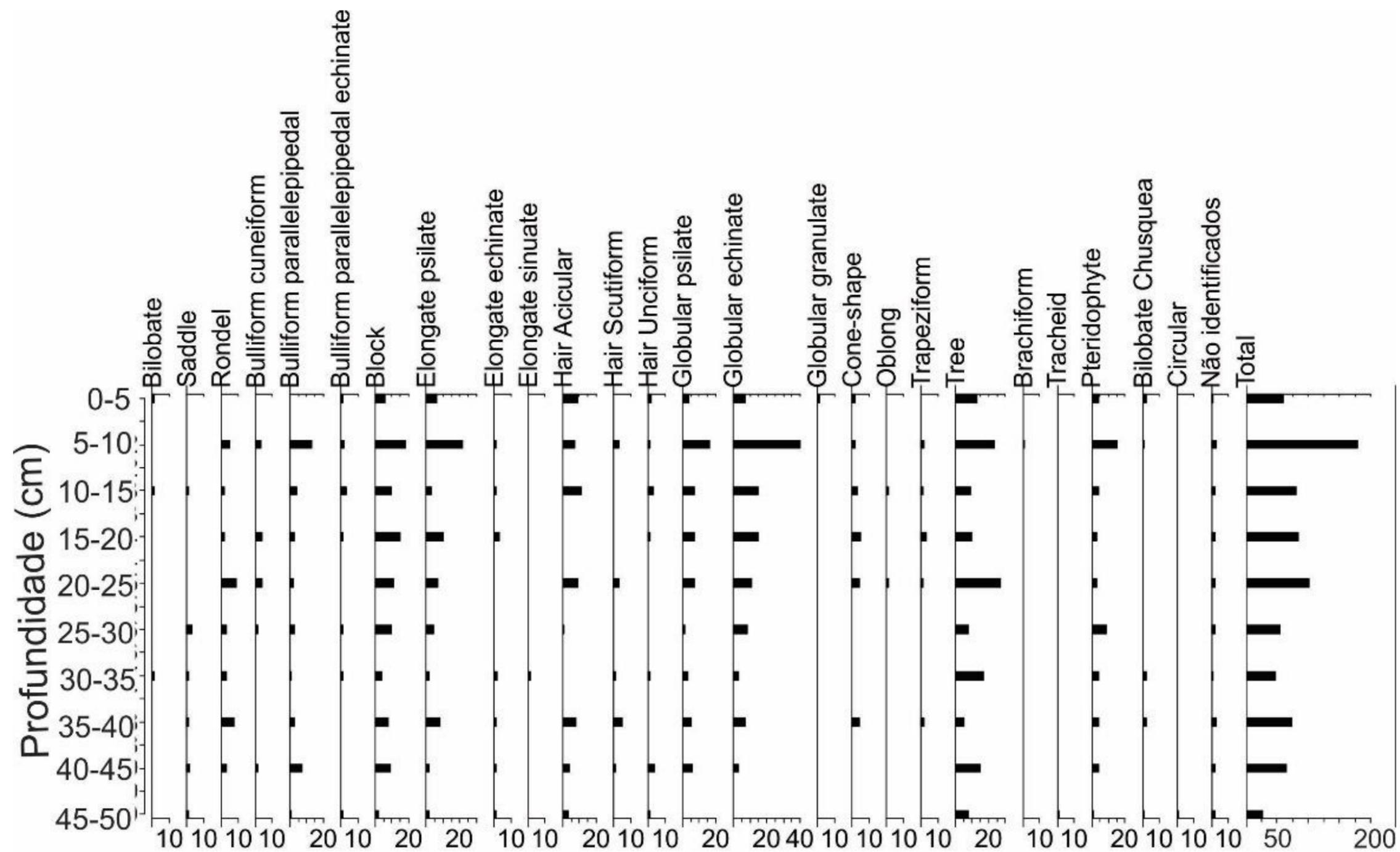


Figura 35 - Diagrama da assembleia recuperada nas amostras do Ponto 6 coletada no Parque Nacional do Iguaçu, Paraná

6.1.3.7 Céu Azul - Ponto 7

Encontrou-se 17 morfologias fitolíticas nas amostras desse ponto. A concentração fitolítica ocorreu em maior expressão no topo (25,44%) com tendência de decaimento em direção à base, todavia, as concentrações foram sequenciadas por queda e ascensão. As morfologias “Bulliform paralelepipedal” e “Block” apresentaram maior dispersão em relação às demais. Com relação aos totais fitolíticos, a distribuição demonstra-se heterogênea (Figuras 28 e 36).

Os fitólitos de pteridófitas (“Pteridophyte”) compuseram 5,65% da assembleia recuperada, estando presente em 70% do testemunho. As morfologias “Short cells” totalizaram 8,83%; a morfologia “Saddle” apresentou valor superior aos morfotipos “Rondel” e “Trapeziform”, sendo o “Saddle” 33,40% superior em relação às outras duas morfologias, encontrando-se em mais intervalos.

Os morfotipos “Globulares echinate”, “G. granulate” e “G. psilate” quantificaram 18,02% da assembleia fitolítica. As morfologias “Globular echinate” (9,19%) e “G. granulate” (6,71%) foram contabilizadas em mais intervalos no comparativo com o “G. psilate” (2,12%).

A morfologia “Tree” (9,54%) não esteve presente nos três últimos intervalos e o pico desse morfotipo ocorreu no topo do testemunho (05-0 cm).

As morfologias “Bulliform cells” totalizaram 28,27% da assembleia total. As duas morfologias mais expressivas foram “Block” (17,31%) e “Bulliform paralelepipedal” (7,77%) em relação aos morfotipos “Bulliform paralelepipedal echinate” e “Bulliform cuneiform”.

As morfologias “Long cells” não foram encontradas nos intervalos 50-45 e 40-35 cm, mas estiveram presentes em praticamente todas as amostras desse ponto. Os morfotipos identificados foram os “Elongates psilate” (13,07%) e “E. echinate” (4,24%).

Os morfotipos “Acicular hair cell” e “Scutiform hair cell” totalizaram 7,77%, não ocorrendo no intervalo 25-20 cm. Quantificou-se o morfotipo “Oblong” em 1,06% nos intervalos 35-30 e 05-0 cm. Os não identificados corresponderam a 3,53% da assembleia total recuperada.

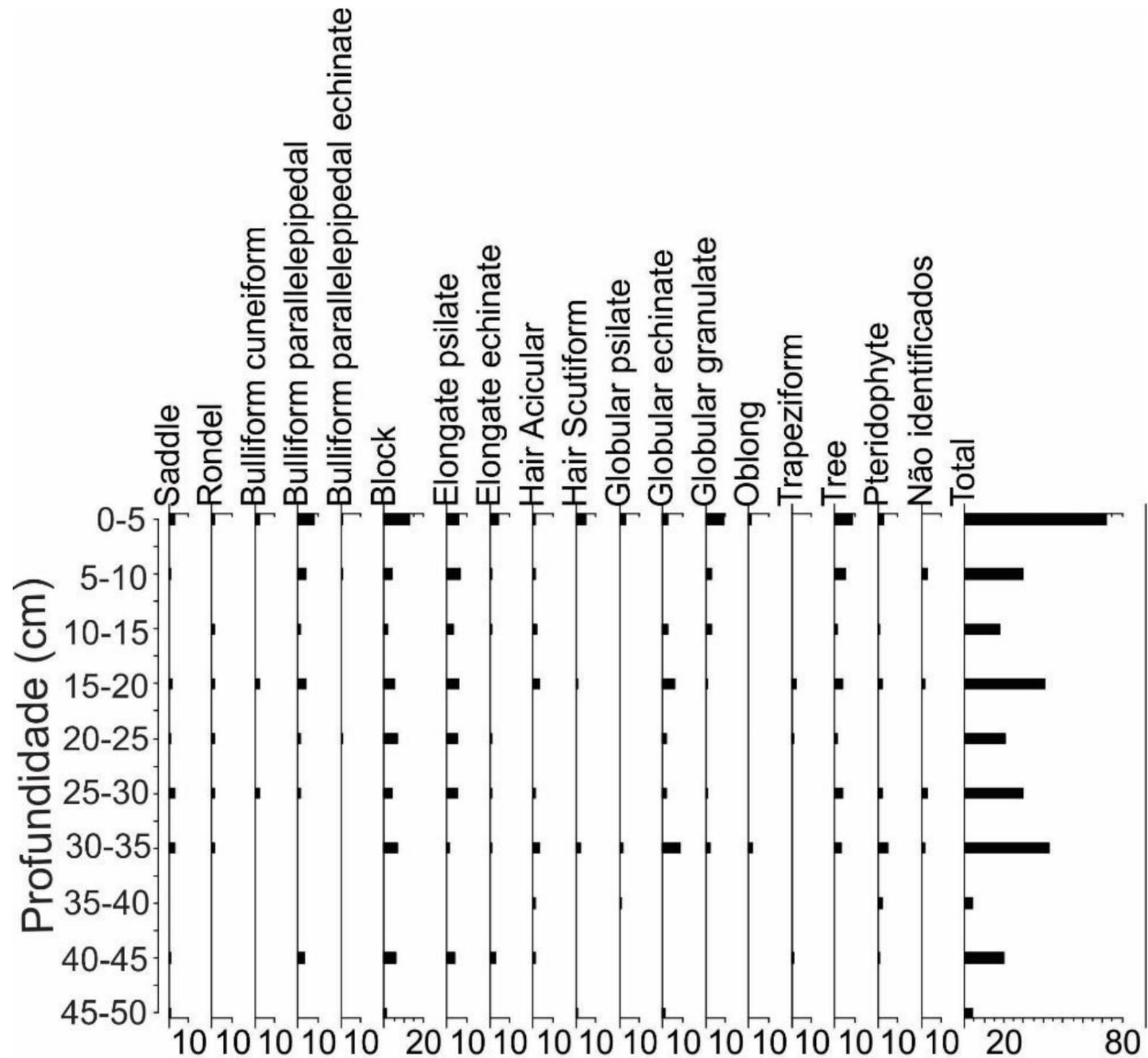


Figura 36 - Diagrama da assembleia recuperada nas amostras do Ponto 7 coletada no Parque Nacional do Iguaçu, Paraná

6.1.3.8 Céu Azul - Ponto 8

Na base desse testemunho, ocorreu contato com rocha de origem vulcânica. Com relação às morfologias encontradas identificou-se 21, com distribuição heterogênea ao longo da tradagem. As maiores concentrações ocorreram no topo e diminuição em direção à base.

Nesse ponto de amostragem localiza-se a nascente do rio Manoel Gomes. Quantificou-se frústulas de diatomáceas ao longo da tradagem, não sendo encontrada somente na base do testemunho (50-45 cm). Esse “proxy” totalizou 17,74% do total recuperado, ocorrendo com expressividade do intervalo 20-15 ao 05-0 cm (Figura 37).

O morfotipo “Cone-shape” (3,04%) foi encontrado em quantidades superiores nos dois primeiros intervalos. As maiores proporções foram quantificadas nas profundidades 40-35, 35-30, 25-20 e 05-0 cm.

O morfotipo “Globular echinate” (3,19%) novamente foi prevalente entre o “G. granulate” (0,15%) e “G. psilate” (2,45%). Essas morfologias totalizaram 5,79% da tradagem assim como no P6, entretanto com quantidade inferior. O morfotipo “G. psilate” não ocorreu nos três últimos intervalos e o morfotipo “G. echinate” nos dois últimos.

A morfologia “Tree” (20,94%) foi diagnosticada em todo o testemunho com prevalência no primeiro intervalo apresentando decréscimo até a base. O morfotipo “Pteridophyte” (7,65%) obteve maior concentração no primeiro intervalo, apresentando decréscimo de praticamente 50% para o segundo intervalo e decaindo sentido à base.

As morfologias “Hair cells” (4,53%) ocorreram em quase todo o perfil, principalmente o morfotipo “Acicular hair cell” (3,49%) em relação à “Scutiform hair cell” (1,04%), em que o primeiro não ocorreu no último intervalo.

Os morfotipos “Elongates” totalizaram 15,44% com predomínio da morfologia “Elongate psilate” (14,25%) em relação aos morfotipos “Elongates sinuate” (0,22%) e “E. echinate” (0,97%). O “Elongate psilate” foi o único que ocorreu do topo à base, essa morfologia apresentou pico de deposição no intervalo 30-25 cm.

As morfologias “Bulliform cells” integraram 17,74% da assembleia recuperada. O morfotipo prevalente foi o “Block” (10,32%), sequenciado pelos morfotipos “Bulliform parallelepipedal” (5,64%), “Bulliform parallelepipedal echinate” (0,07%) e “Bulliform cuneiform” (1,71%). A morfologia “Block” e “B. cuneiform” foram as morfologias que ocorreram do topo à base.

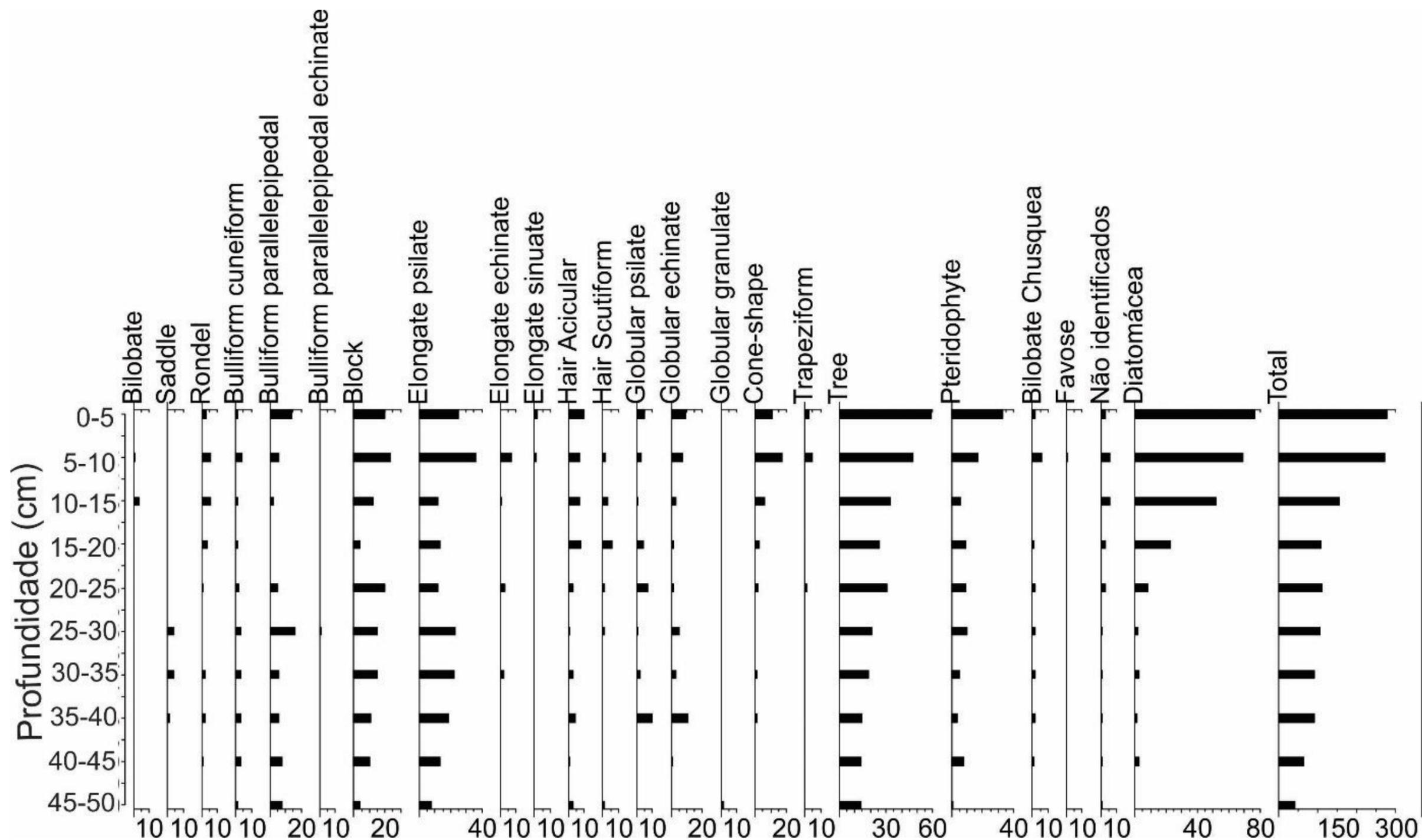


Figura 37 - Diagrama da assembleia recuperada nas amostras do Ponto 8 coletada no Parque Nacional do Iguçu, Paraná

Das morfologias “Short cells” (4,98%) o morfotipo “Rondel” (1,93%) apresentou valores superiores às morfologias “Saddle” (0,67%), “Bilobate” (1,71%) e “Trapeziform” (0,67%). O morfotipo “Rondel” não ocorreu nos intervalos 50-45 e 30-25 cm, os picos de conservação/deposição dessa morfologia ocorreram nos intervalos 15-10 e 10-05 cm.

O morfotipo “Favose” (0,07%) foi encontrado no intervalo 10-05 cm. A morfologia “Bilobate chusquea” totalizou na assembleia 1,34% com pico de deposição no intervalo 10-05 cm. Os não classificados somaram 2,08%.

6.1.3.9 Foz do Iguaçu - Ponto 9

O testemunho P9 apresentou conservação fitolítica superior no topo com diminuição em direção à base (Figura 38), com picos significativos (mas inferiores aos do topo) na maior parte das morfologias nos intervalos 25-20 cm.

Foram identificadas 23 morfologias com concentração de mais de 200 fitólitos em cada profundidade, compondo os intervalos 25-20 cm (13,82%), 20-15 (9,72%), 15-10 (17,06%), 10-05 (21,33%) e 05-0 cm (19,08%). Esses intervalos concentraram 88,43% da amostragem realizada e nas três primeiras profundidades 57,46%, ou seja, mais da metade da concentração levantada está nos 15 cm iniciais e quase 90% até a metade do testemunho. O intervalo 30-25 cm concentrou 7,42% com 188 fitólitos. Nos demais intervalos foram contabilizados menos de 100 fitólitos por intervalo.

Com 96 fitólitos no total, o intervalo 45-40 cm (3,79%) atinge o último aumento fitolítico predominando as morfologias “Bulliform cells”, “Long cells” e morfotipos produzidos por famílias arbóreas. Diante do exposto, as morfologias concentraram-se no testemunho heterogeneamente (Figuras 28 e 38).

Os não identificados somaram 1,58% da assembleia total. O morfotipo “Oblong” (0,67%) não foi encontrado nos intervalos 50-45 e 40-35 cm. A morfologia “Brachiform” (1,70%) não foi quantificada no intervalo 40-35 cm. As “Hair cells” (1,78%) apresentaram as maiores concentrações do topo até o intervalo 25-20 cm.

As morfologias “Short cells” quantificaram 7,58%. O morfotipo “Rondel” (4,07%) foi prevalente entre essa categoria fitolítica, sequenciado por “Trapeziform” (2,76%), “Saddle” (0,47%) e “Bilobate” (0,28%).

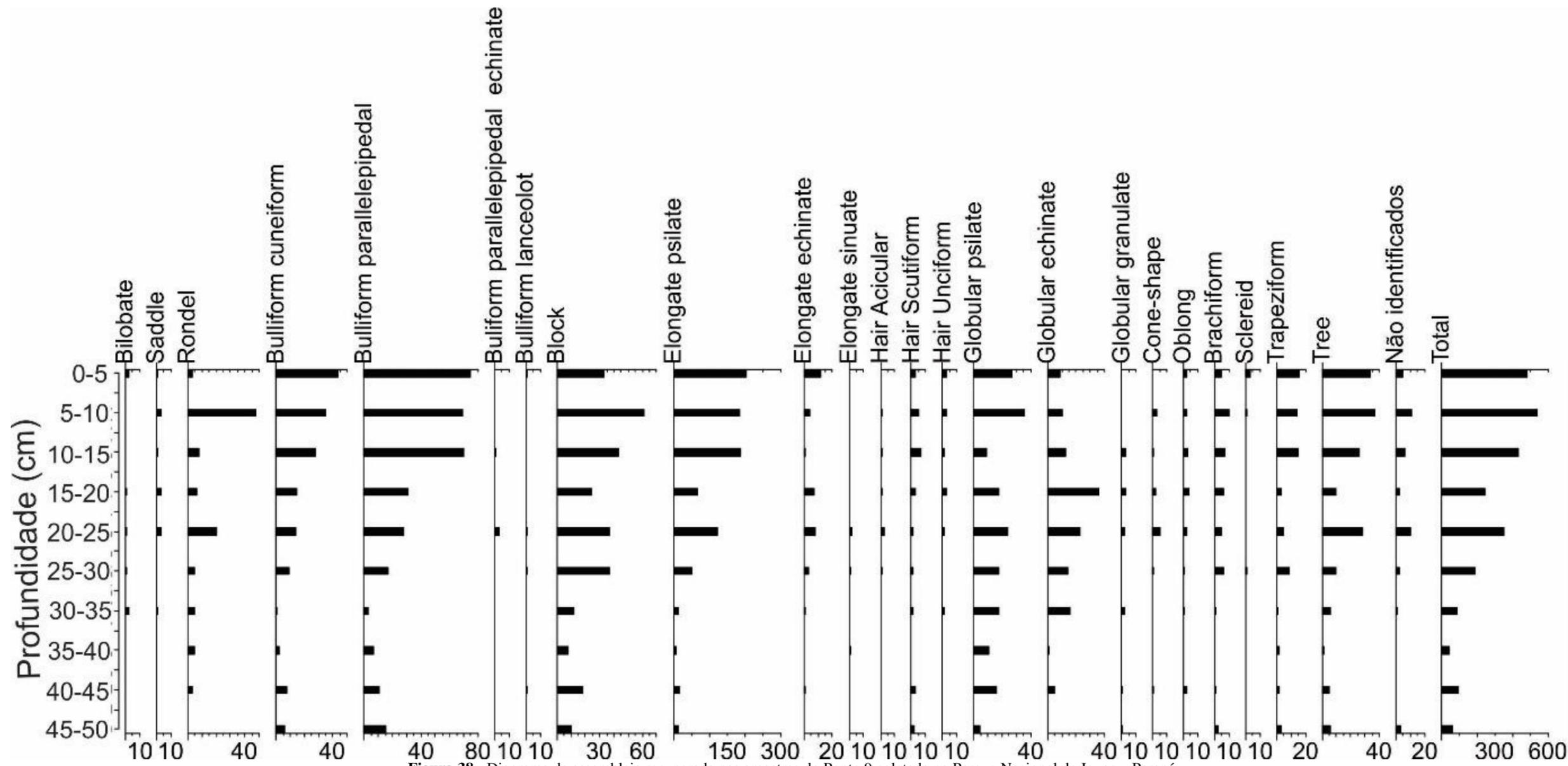


Figura 38 - Diagrama da assembleia recuperada nas amostras do Ponto 9 coletada no Parque Nacional do Iguazu, Paraná

O morfotipo “Cone-shape” (0,51%) esteve presente em 60% dos intervalos. O pico de deposição ocorreu no intervalo 25-20 cm (38,46%).

As morfologias “Bulliform cells” (30,77%) corresponderam a quase 1/3 da assembleia fitolítica recuperada. As três morfologias com maior representatividade foram “Block” (11,18%), “Bulliform paralelepipedal” (12,88%) e “Bulliform cuneiform” (6,40%), que ocorreram ao longo de todo o testemunho. O “Bulliform paralelepipedal echinate” e “Bulliform lanceolat”, ambos com 0,16%, ocorreram esparsos nos 50 cm amostrados.

Os morfotipos “Elongates psilate”, “E. echinate” e “E. sinuate” quantificaram mais de 1/3 da assembleia total (36,14%). O morfotipo “Elongate psilate” (34,52%) ocorreu ao longo de todo o testemunho e as morfologias “E. echinate” (1,46%) e “E. sinuate” (0,16%) com ausência em alguns intervalos, o primeiro menos que o segundo. O morfotipo “Elongate echinate” não ocorreu nos intervalos 50-45 e 40-35 cm, com maior ausência o “Elongate sinuate” ocorreu nos intervalos 40-35, 30-25 e 25-20 cm.

O morfotipo “Globular echinate” (5,02%) não esteve presente no intervalo 50-45 cm, assim, compondo praticamente todo o testemunho. As morfologias “Globulares psilate” (7,15%), “G. granulate” (0,47%), “Tree” (6,44%) e “Sclereid” (0,20%) totalizaram 14,26% da assembleia recuperada. O “Globular psilate” e “Tree” se distribuíram ao longo de toda a tradagem. A distribuição do primeiro foi mais homogênea em relação ao segundo, uma vez que o “Tree” apresentou maior concentração nos primeiros intervalos, 25-20 até 05-0 cm. O “Sclereid” foi encontrado nas profundidades 30-25, 10-05 e 05-0 cm. O “Globular granulate” foi contabilizado nos intervalos 50-45, 45-40, 35-30 e 25-20 ao 15-10 cm.

6.1.3.10 Céu Azul - Tubo 1

Ao analisar a quantificação dos totais do T1, determinou-se que a conservação dos fitólitos encontrados nas amostras distingue-se dos anteriores pela conservação do quantitativo fitolítico distribuído entre os intervalos de solo, uma vez que a conservação ocorre desde a base até o topo. Todavia, ao avaliar a expressividade nos percentuais fitolíticos, não há diferenças elevadas no comparativo com outras amostras (Figuras 28 e 39). Nesse testemunho foram identificadas 29 morfologias.

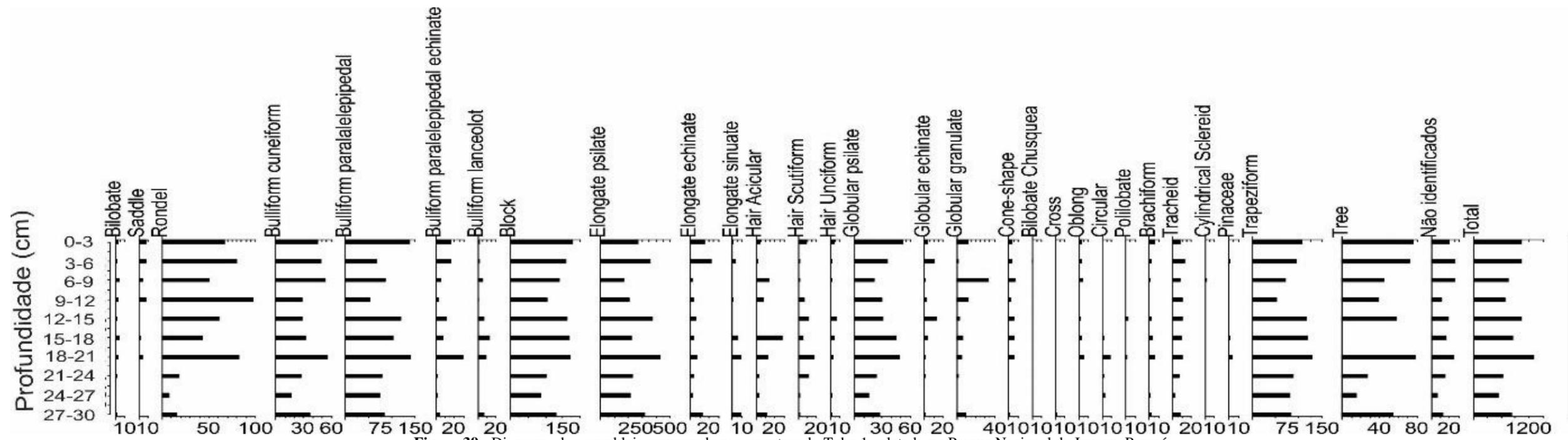


Figura 39 - Diagrama da assembleia recuperada nas amostras do Tubo 1 coletado no Parque Nacional do Iguaçu, Paraná

Entre as morfologias “Short cells” os morfotipos “Rondel” e “Trapeziform” ocorreram em todo o testemunho. Com relação aos percentuais de ocorrência, as “Short cells” corresponderam a 17,75%, valores semelhantes ao testemunho P4. O morfotipo “Rondel” teve pico de deposição no intervalo 12-9 cm com 97 fitólitos.

As morfologias “Bulliform cells” distribuíram-se da base ao topo do testemunho, com exceção do “Bulliform lanceolot” que não foi encontrado nos intervalos 27-24 e 24-21 cm. Esse morfotipo apresentou baixa ocorrência (0,50%) nos intervalos amostrados, distinto, dos demais morfotipos “Bulliform cells” – “Bulliform cuneiform” (4,29%), “Bulliform parallelepipedal” (10,79%), “Block” (16,15%) e “Bulliform parallelepipedal echinate” (1,11%).

As morfologias “Elongate psilate”, “E. echinate” e “E. sinuate” corresponderam a 33,16% do testemunho T1 (Figuras 28 e 39). O primeiro morfotipo supracitado foi predominante (31,96%), bem como nas amostras anteriores.

O morfotipo “Tracheid” totalizou 0,96% com presença uniforme da base ao topo com suave acentuação de decaimento no intervalo de 27-24 cm. Os morfotipos “Globulares psilate” (3,80%), “G. echinate” (0,39%) e “G. granulate” (0,95%) foram identificados no testemunho em todos os intervalos com exceção dos “G. echinate” e “G. granulate” em 27-24 cm. A morfologia “Tree” (5,35%) não foi encontrada no intervalo 18-15 cm. O fitólito produzido por Pinaceae (0,06%) foi identificado nos intervalos 21-18 cm, 18-15 cm e 06-03 cm.

O morfotipo “Cone-shape” (0,38%) não foi encontrado nos intervalos 27-24 e 24-21 cm. Nos demais, ele mostrou-se em quantidade superior e inferior conforme o intervalo de deposição.

As morfologias “Hair cells” corresponderam a 2% do total amostrado. Outras morfologias presentes em alguns intervalos foram “Oblong”, “Circular”, “Polilobate” e “Brachiform”.

6.1.3.11 Foz do Iguaçu - Represa Rio São João

Nas amostras da RPS ocorreu distribuição atípica em relação as anteriores. As maiores concentrações ocorreram no topo e base, tendo o topo melhor conservação fitolítica, haja vista que as morfologias são mais recentes (Figura 40). A base e topo conservaram mais de 50%, sendo 15,15% (50-45 cm) e 35,02% (05-0 cm) respectivamente. Foram identificados 28 morfotipos fitolíticos.

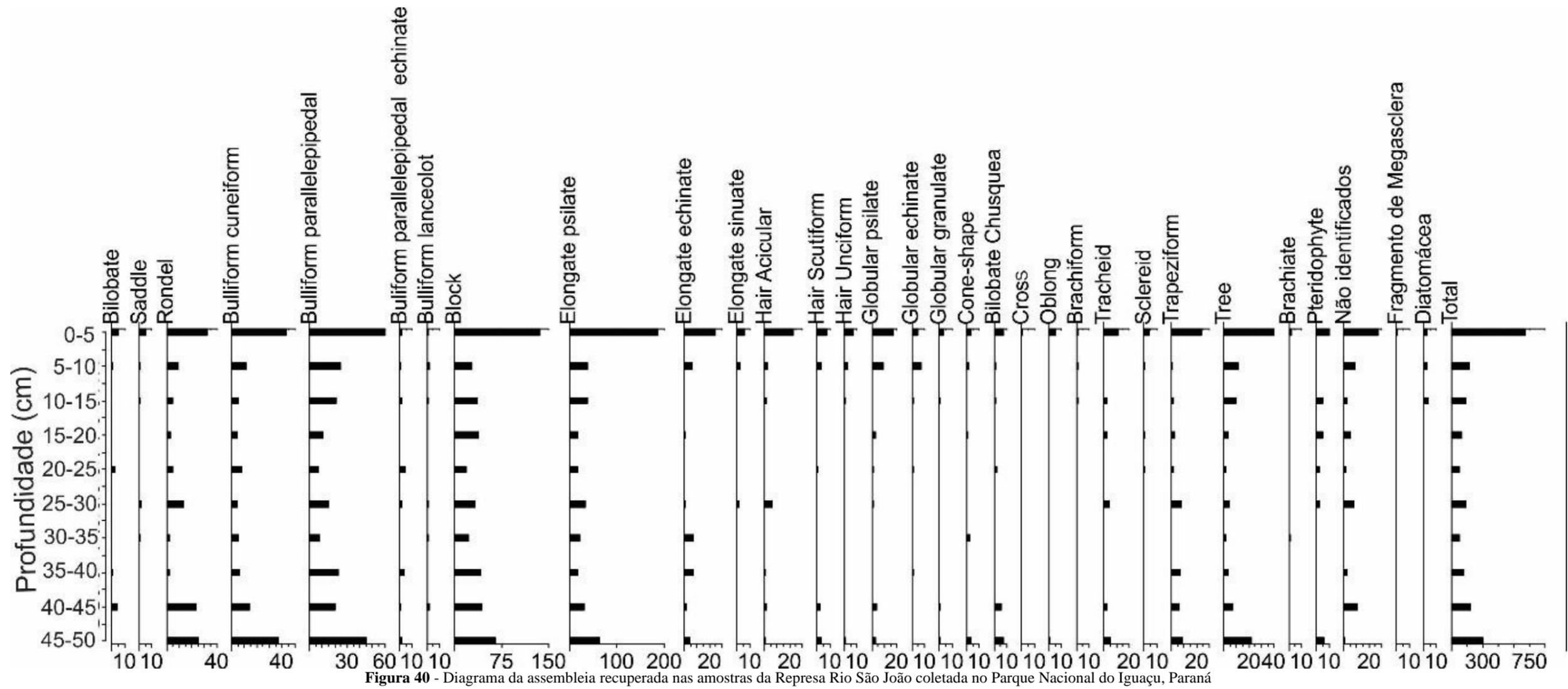


Figura 40 - Diagrama da assembleia recuperada nas amostras da Represa Rio São João coletada no Parque Nacional do Iguaçu, Paraná

Os intervalos iniciais apresentaram-se com características de presença de lâmina d'água intermitente, tal fato, se deve a tradagem ter ocorrido próximo da superfície com água. Ressalta-se o termo características, pois no topo do testemunho foi encontrado um fragmento de megasclera, e, nos três primeiros (15-10, 10-05, 05-0 cm), constatou-se 10 frústulas de diatomáceas, 40%, 30% e 30% na devida ordem.

As morfologias “Globulares” totalizaram 2,94%, sendo o morfotipo “G. psilate” (1,89%) prevalente no testemunho em relação aos morfotipos “G. granulate” (0,30%) e “G. echinate” (0,75%).

As morfologias “Bulliform cells” totalizaram 42,62% da assembleia total (Figuras 28 e 40). As morfologias com mais representatividade em quantidade foram “Block” (22,90%), “Bulliform paralelepipedal” (11,67%) e “Bulliform cuneiform” (6,81%). As demais, “Bulliform paralelepipedal echinate” e “Bulliform lanceolot” valores inferiores a 1% cada, constituindo 0,84% e 0,40% na devida ordem.

As morfologias “Long cells” expressaram 26,13%. O morfotipo “Elongate psilate” (23,05%) foi prevalente entre as três morfologias encontradas, uma vez que os “Elongates echinate” e “E. sinuate” somaram 3,08%.

As morfologias “Short cells” constituíram 11,37% da amostragem realizada. O morfotipo “Rondel” totalizou 5,96% da assembleia total e 58,54% dessa categoria fitolítica. O “Saddle” (0,50%), “Bilobate” (1,84%) e “Trapeziform” (3,08%) caracterizaram os 41,46% das morfologias “Short cells”.

As morfologias “Unciform hair cell”, “Acicular hair cell” e “Scutiform hair cell” integraram 3,33% da assembleia total. Outros morfotipos quantificados foram o “Oblong” (0,30%), “Cross” (0,05%), “Brachiform” (0,15%), “Brachiate” (0,15%), “Pteridophyte” (1,49%), “Cone-shape” (0,70%), “Tracheid” (1,29%), “Tree” (5,17%) e “Sclereid” (0,35%). Os não identificados totalizaram 3,43%.

6.1.3.12 Foz do Iguaçu - Fazenda Salinet

As amostras da Fazenda Salinet foram coletadas em uma área de banhado. No presente ponto amostrado, visualizou-se marcas da degradação da floresta, que é área dominada por gramíneas da antiga Fazenda Salinet. Ressalta-se que o banhado por se tratar de uma área alagada foi menos afetado que o entorno. A tradagem (75 cm) foi coletada a 1,5 metros da lâmina d'água.

Foram encontradas 28 morfologias com maior conservação fitolítica nos primeiros 25 cm (Figura 41). A distribuição das morfologias é heterogênea. Os morfotipos “Short cells” apresentaram decréscimo em relação aos primeiros pontos amostrados. Essas morfologias somaram 10,58% do total da assembleia recuperada. Os morfotipos “Bilobate” e “Cross” apresentaram os menores valores 0,87% e 0,09% respectivamente; o morfotipo “Rondel” é o mais representativo 4,93%; com percentuais intermediários as morfologias “Trapeziform” (3,79%) e “Saddle” (1%).

As morfologias representativas de “Pteridophyte” totalizaram 4,38% (Figuras 28 e 41). A morfologia “Cone-shape” (10,13%) não esteve presente nas profundidades 75-70 e 70-65 cm. A presença dessa morfologia com maior intensidade ocorreu até o intervalo 25-20 cm e pico de conservação/produção em 15-10 cm.

Como indicador de estresse hídrico as morfologias “Bulliform cells” recuperadas totalizaram 24,77%. Os morfotipos contabilizados em maior quantidade foram “Block” (10,17%) e “Bulliform paralelepipedal” (8,62%), sequenciadas por “Bulliform cuneiform” (3,70%) e “Bulliform paralelepipedal echinate” (2,28%).

A morfologia “Tree” correspondeu a 15,10%. Por se tratar de um banhado essa morfologia foi superior à soma das morfologias “Short cells”. Para essa categoria morfofitolítica o quantitativo recuperado é notoriamente elevado e qualifica um indicador da predominância de ambiente florestal para composição fitofisionômica regional.

O morfotipo “Tree” ocorreu em todo o testemunho, com prevalência até o intervalo 25-20 cm e pico de conservação/produção 15-10 cm, coincidindo com o pico do morfotipo “Cone-shape” e decréscimo do morfotipo “Rondel”. A morfologia “Sclereid” (0,14%) foi localizada nos intervalos 50-45 e 40-35 cm. O morfotipo “Bilobate” (2,28%) não ocorreu nos intervalos 75-70, 65-60 a 55-50 cm. A morfologia “Tracheid” (1,14%) ocorreu somente nos dois primeiros intervalos.

O morfotipo “Globular psilate” (3,42%) apresentou-se em quantidade superior em relação ao “G. echinate” (0,68%) e “G. granulate” (0,09%).

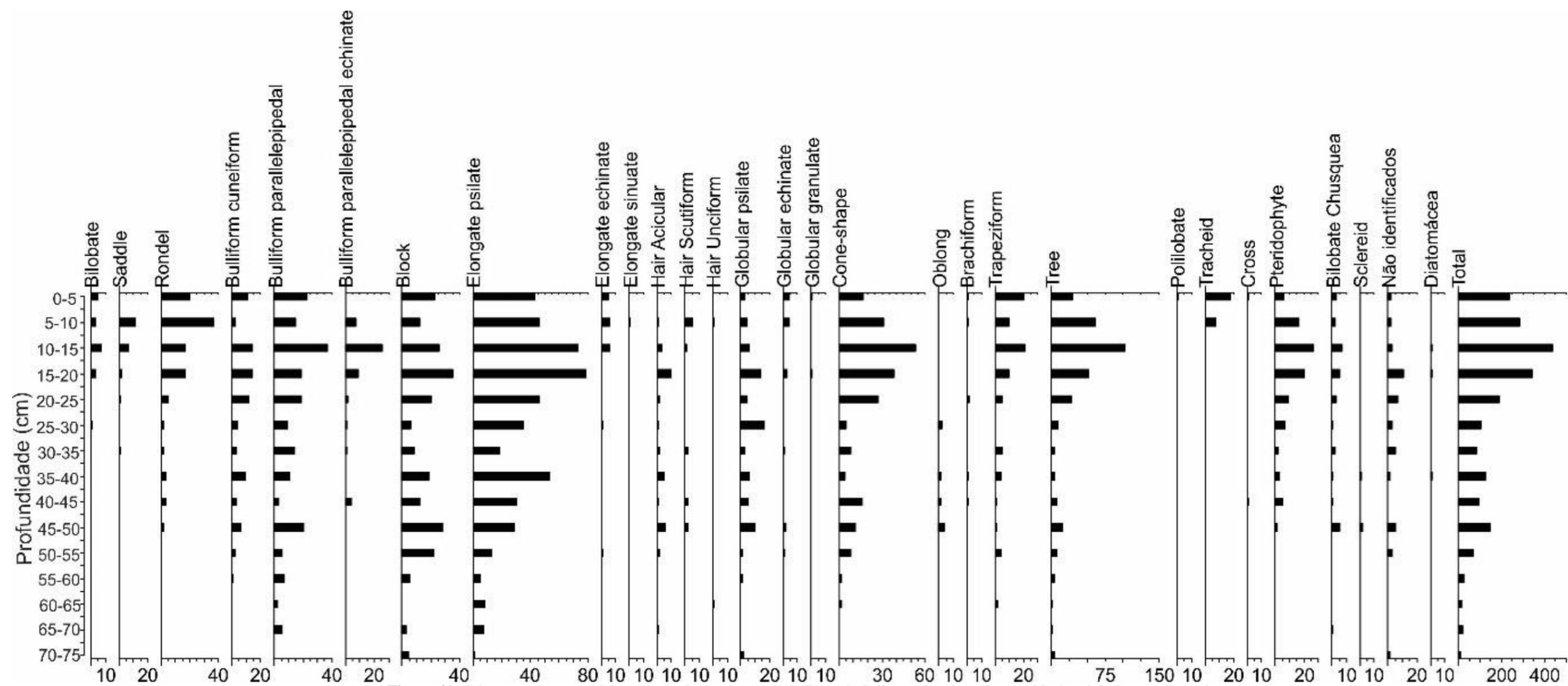


Figura 41 - Diagrama da assembleia recuperada nas amostras da Fazenda Salinet coletada no Parque Nacional do Iguazu, Paraná

As morfologias “Hair cells”, “Acicular” (1,55%), “Scutiform” (0,55%) e “Unciform” (0,09%), totalizaram 2,19%, tendo a primeira distribuição superior no testemunho em relação às demais. A morfologia “Acicular hair cell” não ocorreu em 26,67% das amostras.

Os morfotipos “Long cells” totalizaram 23,08%. A morfologia predominante foi o “Elongate psilate” (22,17%). Os morfotipos “Elongate echinate” e “E. sinuate” somaram 0,92%, tendo o “E. echinate” maior ocorrência em relação ao “E. sinuate”.

Os morfotipos “Oblong” (0,36%), “Brachiform” (0,27%) e “Polilobate” (0,05%) totalizaram 0,68%. Os não identificados somaram 1,96% da assembleia recuperada. Encontrou-se também na assembleia recuperada frústulas de diatomáceas em 20% das amostras, nos intervalos 40-35, 20-15 e 15-10 cm.

6.1.3.13 Foz do Iguaçu - Lagoa do Jacaré

A Lagoa do Jacaré localiza-se na face sul do PNI (Figura 14), distante aproximadamente 84 metros do Rio Iguaçu, sendo a floresta a “barreira” que os dividem. A tradagem com 80 cm foi realizada na borda da LJ. Na figura 42 A e B pode-se observar duas vistas da lagoa.

Em torno da tradagem foram identificadas três espécies de gramíneas *Polygonum hydropiperoides* Michaux, *Acroceras zizanioides* (Kunth) Dandy, *Hymenachne pernambucensis* (Spreng.) Zuloaga, além de outros indivíduos botânicos da família Poaceae.

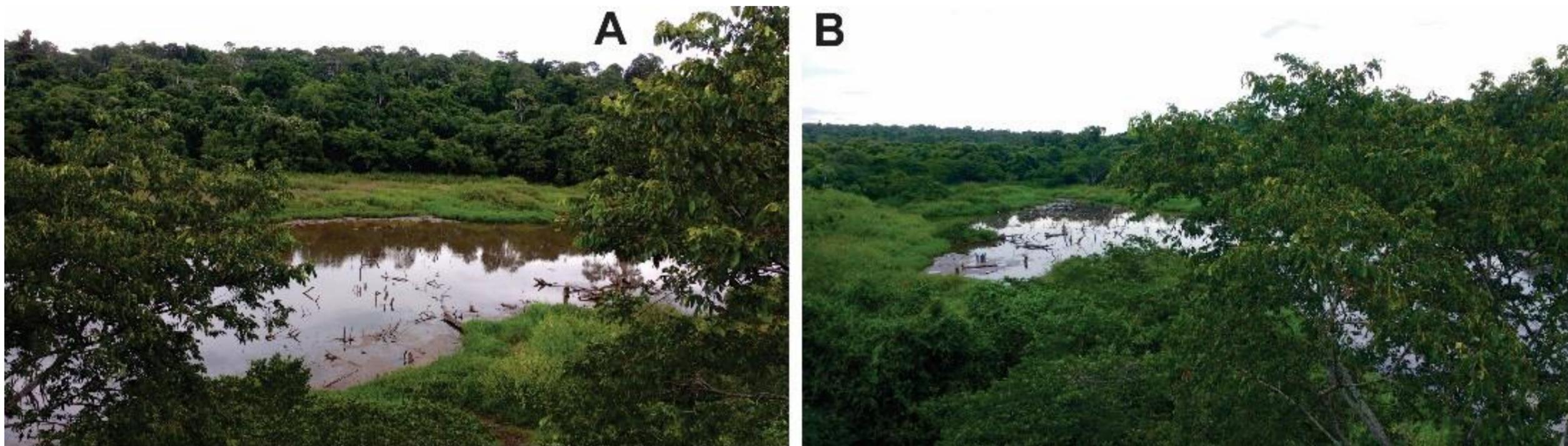


Figura 42 – Lagoa do Jacaré. A e B correspondem às vistas distintas da lagoa, Foz do Iguaçu, Paraná

Elaborou-se um transecto com 4,20 quilômetros do interflúvio (ponto A) ao rio Iguazu (ponto B). Do ponto A (285 metros) até o B (191 metros) o desnível é de 94 metros; até 192 metros o relevo é coberto por vegetação arbórea e, em seguida há aumento de elevação de 04 metros onde localiza-se a LJ (196 metros). Da lagoa até o rio o declínio é de 5 metros (Figura 43).

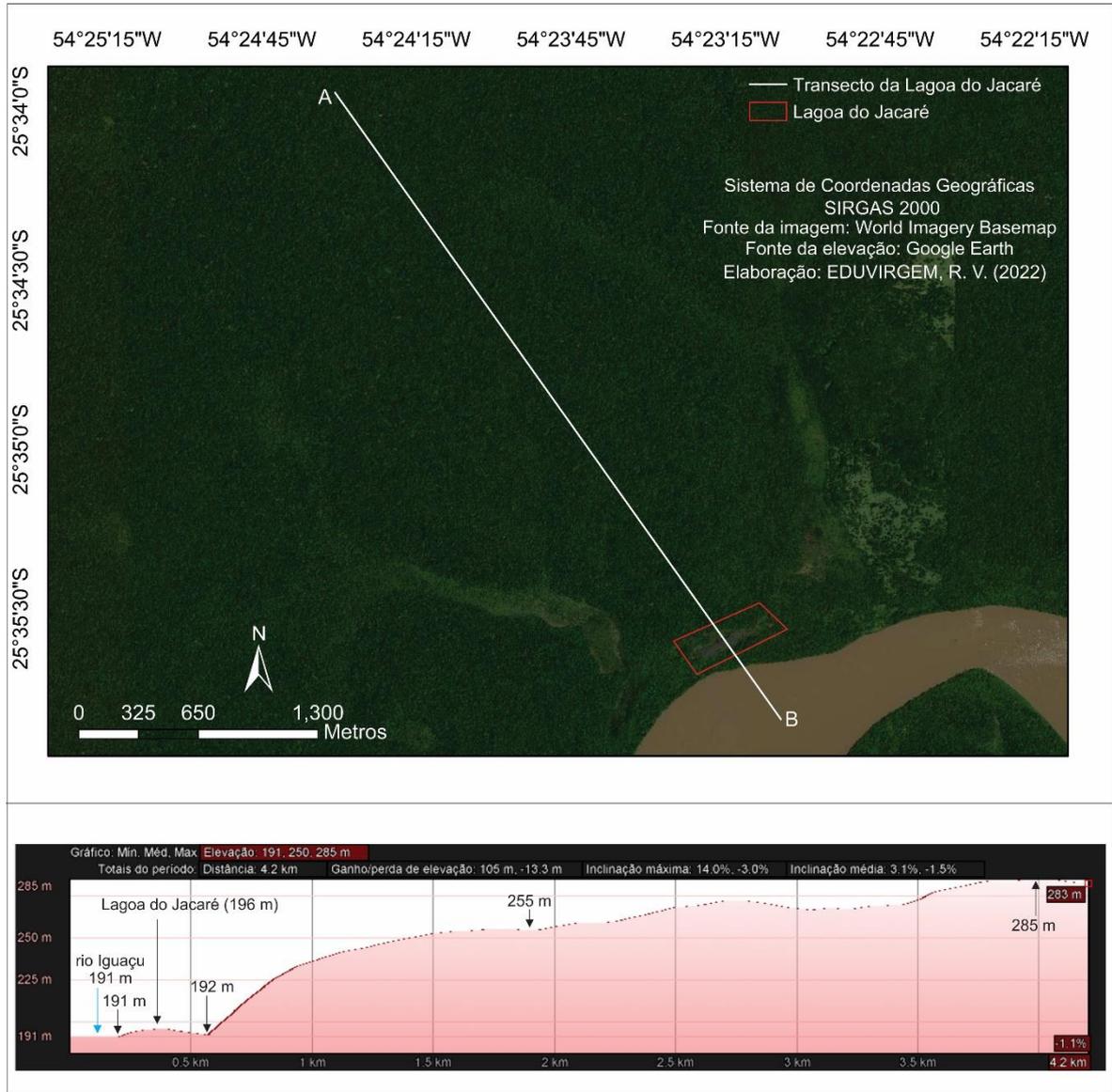


Figura 43 – Transecto do interflúvio ao rio Iguazu, Foz do Iguazu, Paraná

Com relação aos microfósseis (fitólitos e espículas de esponjas de água doce) foram identificadas 29 morfologias fitolíticas e 04 espécies de esponjas (Figura 44).

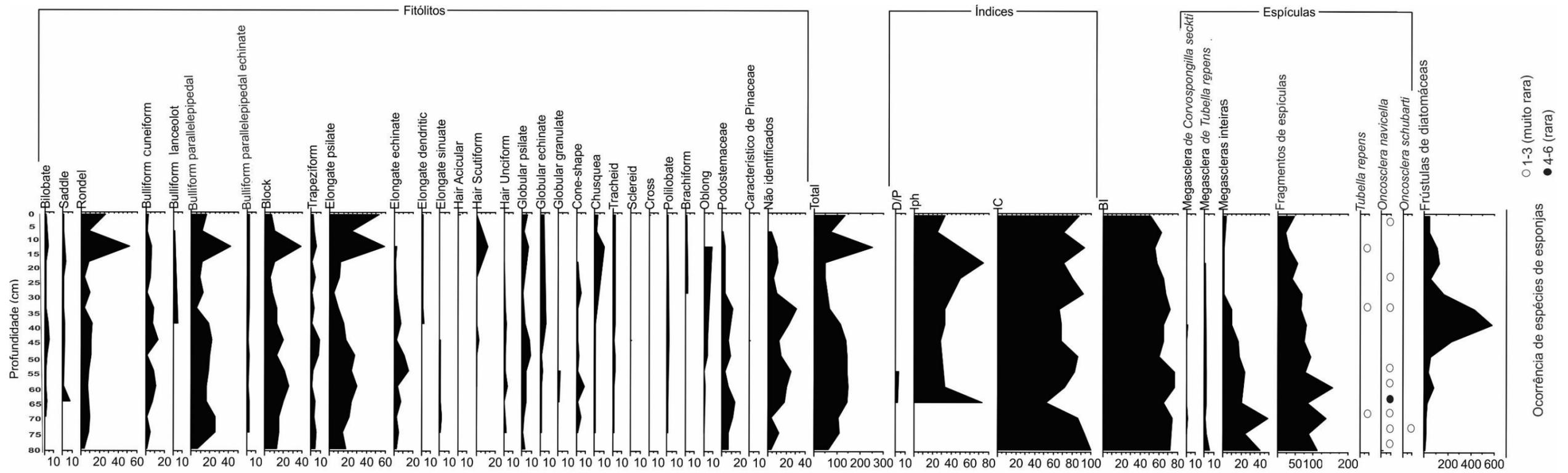


Figura 44 – Diagrama da assembleia da Lagoa do Jacaré no Parque Nacional do Iguaçu, Foz do Iguaçu, Paraná, Brasil

A distribuição dos morfotipos fitolíticos ao longo do testemunho foi heterogênea. Do intervalo 35-30 cm ao 20-15 cm ocorreu queda acentuada no quantitativo, com aumento e baixa oscilação nos intervalos 75-70 cm ao 40-35 cm e, no último intervalo (80-75 cm), houve queda de 42,34% em relação à profundidade anterior. O pico de produção/conservação fitolítica ocorreu na profundidade 15-10 cm (14,09%) (Figura 44).

As frústulas de diatomáceas (Figura 45 - F) eclodiram expressivamente na profundidade 40-35 cm (28,49%) (Figura 44), sendo esse o pico de concentração. Todavia, os três intervalos que corresponderam majoritariamente a maioria desse “proxy” foram 45-40 cm ao 35-30 (61,27%). Assim, os demais 38,73% estão distribuídos ao longo do testemunho. Tal fato é indicativo de uma possível mudança ambiental que proporcionou diminuição da lâmina d’água e colmatação por matéria orgânica.

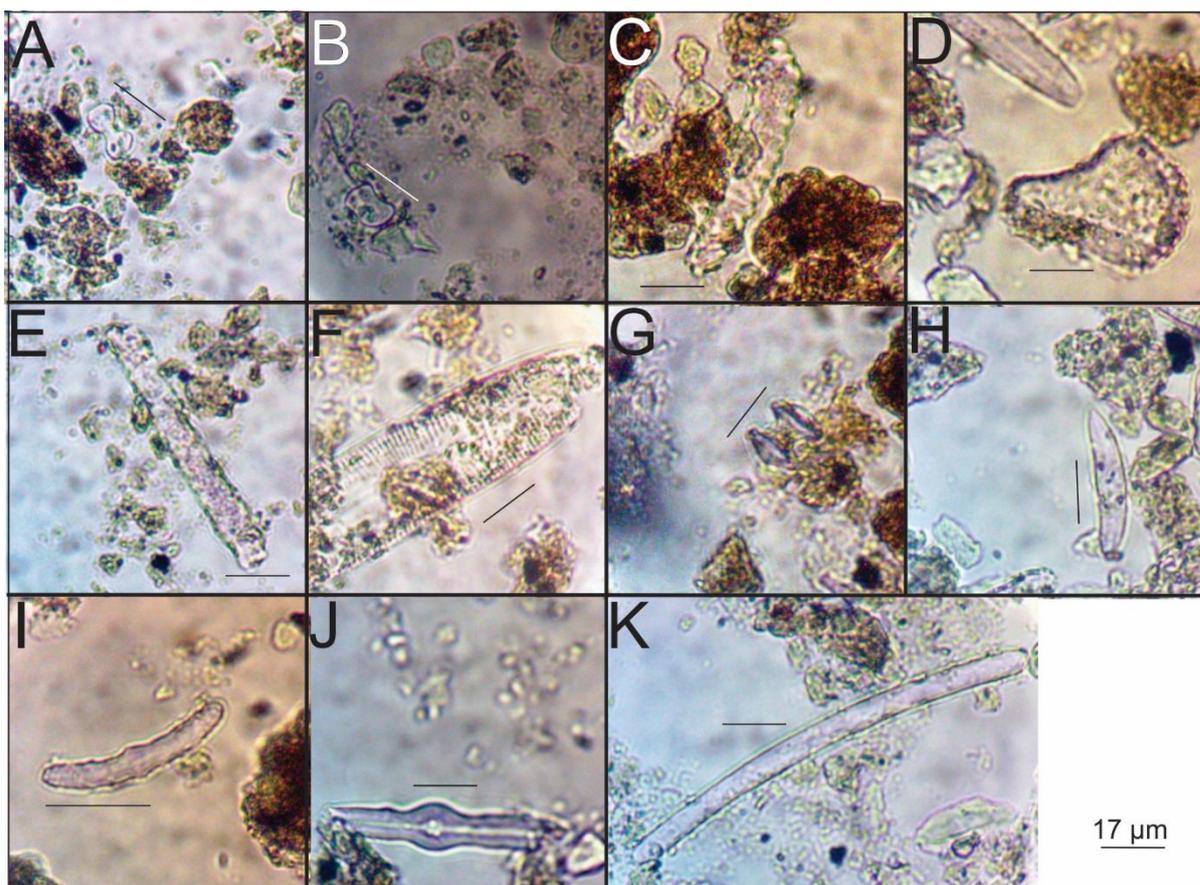


Figura 45 – Fotomicrografias dos fitólitos, frústula de diatomácea e espículas de esponjas de água doce da Lagoa do Jacaré, Foz do Iguaçu, Paraná. A, “Bilobate”; B, “Saddle”; C, Podostemaceae; D, “Bulliform cuneiform”; E, “Elongate psilate”; F, Frústula de diatomácea, G, Gemosclera de *Tubella repens* Hinde, 1888; H, Gemosclera de *Oncosclera navicella* Carter, 1881; I, Gemosclera de *Oncosclera schubarti* Bonetto e Ezcurra de Drago, 1967; J, espícula fragmentada; K, Megasclera (provavelmente *Corvospongilla seckti* Bonetto & Ezcurra de Drago, 1966)

Os índices fitolíticos da Lagoa do Jacaré são expressos na tabela 01 e figura 44. Calculou-se o índice D/P para os intervalos 55-50 e 65-60 cm – 12,50% das amostras–, o Iph para 56,25%, o Ic e o Bi para 100% das amostras.

Tabela 01 – Índices fitolíticos da Lagoa do Jacaré no Parque Nacional do Iguaçu, Foz do Iguaçu, Paraná, Brasil

Profundidade	Índice			
	D/P	Iph	Ic	Bi
0-5 cm	-	16,7	82,4	43,8
5-10 cm	-	16,7	66,7	60,0
10-15 cm	-	-	80,6	50,9
15-20 cm	-	75,0	71,4	58,3
20-25 cm	-	50,0	80,0	65,6
25-30 cm	-	-	91,7	67,6
30-35 cm	-	33,3	70,0	70,7
35-40 cm	-	28,6	65,0	64,2
40-45 cm	-	28,6	74,1	65,1
45-50 cm	-	-	86,4	60,3
50-55 cm	2,78	-	84,6	76,2
55-60 cm	-	33,3	72,7	77,1
60-65 cm	1,49	72,7	54,2	64,8
65-70 cm	-	-	86,7	74,1
70-75 cm	-	-	93,3	72,3
75-80 cm	-	-	100,0	72,4

Ressalta-se que foram calculados índices fitolíticos somente para a Lagoa do Jacaré, porque ela apresentou os percentuais necessários para assegurar a confiabilidade do resultado, que é expresso por pelo menos 5% de morfologias “Short cells” (COE et al., 2017).

Dos fitólitos classificados como “Short cells” (18,10%), a morfologia “Rondel” (10,86%) foi majoritariamente superior às demais: “Trapeziform” (3,23%), “Bilobate” (1,89%), “Bilobate chusquea” (0,95%), “Saddle” (1,11%) e “Cross” (0,06%).

A morfologia “Polilobate” correspondeu a 0,33% da assembleia recuperada, sendo contabilizada nos intervalos 75-70, 65-60, 45-40, 10-05 e 05-0 cm, em baixa quantidade.

Os “Globulares psilate” (3,01%), “G. echinate” (1,28%) e “G. granulate” (0,17%) compuseram 4,46% da assembleia recuperada, tendo predomínio o G. psilate. A morfologia “Tracheid” totalizou 0,84% ocorrendo com continuidade expressiva do centro do testemunho até a base.

Ainda correspondente às espécies arbóreas, todavia, encontrada em quantidade não expressiva, tem-se a morfologia produzida por Pinaceae (0,06%) e o morfotipo “Sclereid” (0,06%).

O morfotipo “Cone-shape” (2,06%) foi quantificado do intervalo 20-15 cm até a base com pico de produção/conservação em 60-55 cm.

As “Bulliform cells” corresponderam a 35,30% da assembleia recuperada. O “Bulliform paralelepipedal” (15,26%) e “Block” (13,81%) quantificaram quase 30% do total recuperado. O “Bulliform cuneiform” (4,62%), “Bulliform lanceolot” (0,33%) e “Bulliform paralelepipedal echinate” (1,28%) totalizaram 6,23%.

Os fitólitos produzidos por Podostemaceae (Figura 45 – C) totalizaram 5,29% sendo encontrado em praticamente em todo o testemunho, com ausência nos intervalos 25-20, 20-15 e 05-0 cm. O pico de conservação ocorreu em 65-60 cm.

Sem valor taxonômico as “Hair cells” corresponderam a 2,23% do total fitolítico; as “Long cells” (24,39%) – “Elongates psilate” (20,27%), “E. echinate” (3,56%), “E. sinuate” (0,33%) e “E. dendritic” (0,22%); o “Oblong” (1,17%) e “Brachiform” (0,28%).

No que tange as espículas de esponjas encontrou-se fragmentos do topo à base do testemunho; não se encontrou megascleras inteiras nos intervalos 60-55 e 20-15 cm. No primeiro intervalo supracitado ocorreu pico de fragmentos de espículas; para as megascleras inteiras deu-se em 70-65 cm e queda abrupta no quantitativo em 35-30 cm até o topo (Figura 44).

Encontrou-se megascleras nos intervalos 80-75 ao 65-60, 55-50, 45-40 e 40-35, e 20-15 cm. As gemoscleras encontradas no testemunho correspondem às espécies *O. navicella* (Potamolepidae), *T. repens* (Spongillidae) e *Oncosclera schubarti* Bonetto e Ezcurra de Drago, 1967 (Potamolepidae); encontrou-se também megascleras que correspondem provavelmente a *C. seckti* (Spongillidae). Assim, totalizando quatro espécies de duas famílias de esponjas de água doce (Figura 44). A taxonomia consta no Apêndice 01.

Classificou-se a ocorrência de esponjas pelo número de gemoscleras encontradas – de 1 a 3 muito rara e de 4 a 6 rara. As gemoscleras de *O. navicella* ocorreram nas profundidades 80-75, 75-70, 70-65, 60-55, 55-50, 35-30, 25-20 e 05-0 cm, classificada com ocorrência muito rara; classificada como rara no intervalo 65-60 cm; as gemoscleras de *T. repens* foram encontradas nos intervalos 70-65, 35-30 e 15-10 (muito rara); as de *O. schubarti* em 75-70 cm (muito rara).

6.1.4 Análises complementares

6.1.4.1 Coeficiente de correlação empregado à matéria orgânica do solo, profundidade e totais fitolíticos

Calculou-se o coeficiente de correlação de Spearman das variáveis profundidade, MOS e totais fitolíticos (TFT). Encontrou-se forte correlação positiva (MOS) no P1 e P7, negativa (profundidade) no P1, P7 e Fazenda Salinet; negativa e moderada (profundidade) no P2; positiva e moderada no (MOS) P5; muito forte e positiva (MOS) e negativa (profundidade) no P9 e P8. As demais correlações não foram estatisticamente significantes no nível de confiança de 95% (Tabela 02).

Tabela 02 – Coeficiente de correlação de Spearman das variáveis: matéria orgânica do solo, profundidade e totais fitolíticos

	TFT (P1)	TFT (P2)	TFT (P3)	TFT (P4)	TFT (P9)	TFT (T1)	TFT (RPS)	TFT (Fazenda Salinet)	TFT (P5)	TFT (P6)	TFT (P7)	TFT (P8)	TFT (LJ)
MOS	0,80*	0,60	-0,34	-0,17	0,90*	0,33	0,26	-0,18	0,45*	0,33	0,78*	0,95*	-0,24
Profundidade	-0,82*	-0,67*	0,08	-0,30	-0,93*	-0,34	-0,36	-0,84*	0,23	-0,57	-0,74*	-0,91*	0,15

*estatisticamente significativa ao nível de confiança de 95% (α : 0,05).

6.1.4.2 Análises isotópicas

Realizou-se análises isotópicas de $\delta^{13}\text{C}$ e $\delta^{15}\text{N}$ para a Lagoa do Jacaré. Os resultados de $\delta^{13}\text{C}$ oscilaram entre -29,27‰ (60-65 cm) e -31,22‰ em 70-75 cm (Tabela 03), sendo mais negativo nas profundidades 60-65 e 20-25 cm; o valor médio do $\delta^{13}\text{C}$ foi determinado em -30,20‰. O valor mais enriquecido encontra-se na profundidade 70-75 cm (-31,22‰).

Com relação ao $\delta^{15}\text{N}$ (Tabela 03) os maiores valores determinados foram nas profundidades 40-45 e 75-80 cm, 6,98‰ e 6,92‰, respectivamente. Não obstante, os menores valores enquadram-se muito próximo dos supracitados, com amplitude de 0,63‰.

Tabela 03 – Resultados isotópicos de $\delta^{13}\text{C}$ e $\delta^{15}\text{N}$

Amostra	$\delta^{15}\text{N}$	%N	$\delta^{13}\text{C}$	%C
	(‰ AIR)		(‰ VPDB)	
PNI LJ-0-5	6,29	0,21	-30,09	1,71
PNI LJ-20-25	6,83	0,23	-29,86	1,58
PNI LJ-30-35	6,88	0,13	-30,51	0,76
PNI LJ-40-45	6,98	0,1	-30,03	0,83
PNI LJ-50-55	6,44	0,13	-30,18	0,76
PNI LJ-60-65	6,84	0,1	-29,27	0,8
PNI LJ-70-75	6,81	0,1	-31,22	0,71
PNI LJ-75-80	6,92	0,09	-30,42	0,65

6.1.4.3 Análise do Componente Principal

Realizou-se a Análise do Componente Principal (PCA) com a finalidade de promover o entendimento e descrição da condição e correlação entre as variáveis e aquisição de combinação que possibilitem interpretações, além da redução da dimensionalidade dos dados. Assim, tornando possível verificar se as morfologias correspondentes às famílias ocorrem destoantes ou em consonância.

Outra vantagem ao utilizar a PCA é a flexibilidade proporcionada pela utilização, uma vez que, não necessariamente, é preciso haver normalidade dos dados. Tabachnick e Fidell (2001) afirmaram que, havendo normalidade, a análise é engrandecida. Todavia se há ausência de normalidade, ela ainda vale a pena.

Com relação ao conjunto de dados usados, houve pouca perda de dados devido à quantidade de profundidades utilizadas (Tabela 04). Dessa forma, utilizando mais de 90% da variância dos dados, com exceção do P7 (83,20%). Por tal fato, a análise pautou-se somente na análise das morfologias com ênfase nos estratos da vegetação.

Tabela 04 – Componentes Principais dos pontos amostrados

Pontos amostrados	% variância		
	CP 1	CP 2	Total
P1	91,07	4,13	95,2
P2	90,71	4,61	95,32
P3	80,9	15,46	96,36
P4	92,63	4,01	96,64
P5	84,55	9,33	93,88
P6	74,92	17,34	92,26
P7	55,33	27,87	83,20

P8	76,34	15,67	92,01
P9	95,42	2,28	97,7
T1	81,3	9,66	90,96
RPS	96,28	2,39	98,67
Fazenda Salinet	88,82	5,67	94,49
Lagoa do Jacaré	81,90	9,81	91,71

Ao analisar os Componentes Principais (CP), tornou-se possível diagnosticar que a vegetação coabita em consonância entre famílias que compõem o estrato arbóreo e rasteiro, sendo que, há variação entre os pontos amostrados no que concerne a ocorrência de gramíneas. Desse modo, há pontos com maior produção e preservação, principalmente, do morfotipo “Rondel” produzido sobretudo por Pooideae (C₃) e Bambusoideae (C₃); no mesmo sentido as variações das morfologias “Globulares echinate”, “G. granulate”, “G. psilate” e “Tree” (Figura 46 A e B).

Para a Lagoa do Jacaré a PCA tornou possível realçar afirmativas realizadas. O componente 1 (eixo x, 81,9% da variância) permitiu a diferenciação entre fitólitos de Podostemaceae (família aquática) e morfologias de famílias terrestre. O componente 2 (eixo y, 9,81%) permitiu diferenciar as morfologias correspondentes às famílias arbóreas e herbáceas. A PCA possibilitou corroborar afirmativas realizadas referentes à assembleia fitolítica recuperada, no que tange a baixa expressividade de famílias arbóreas (Figura 46 B).

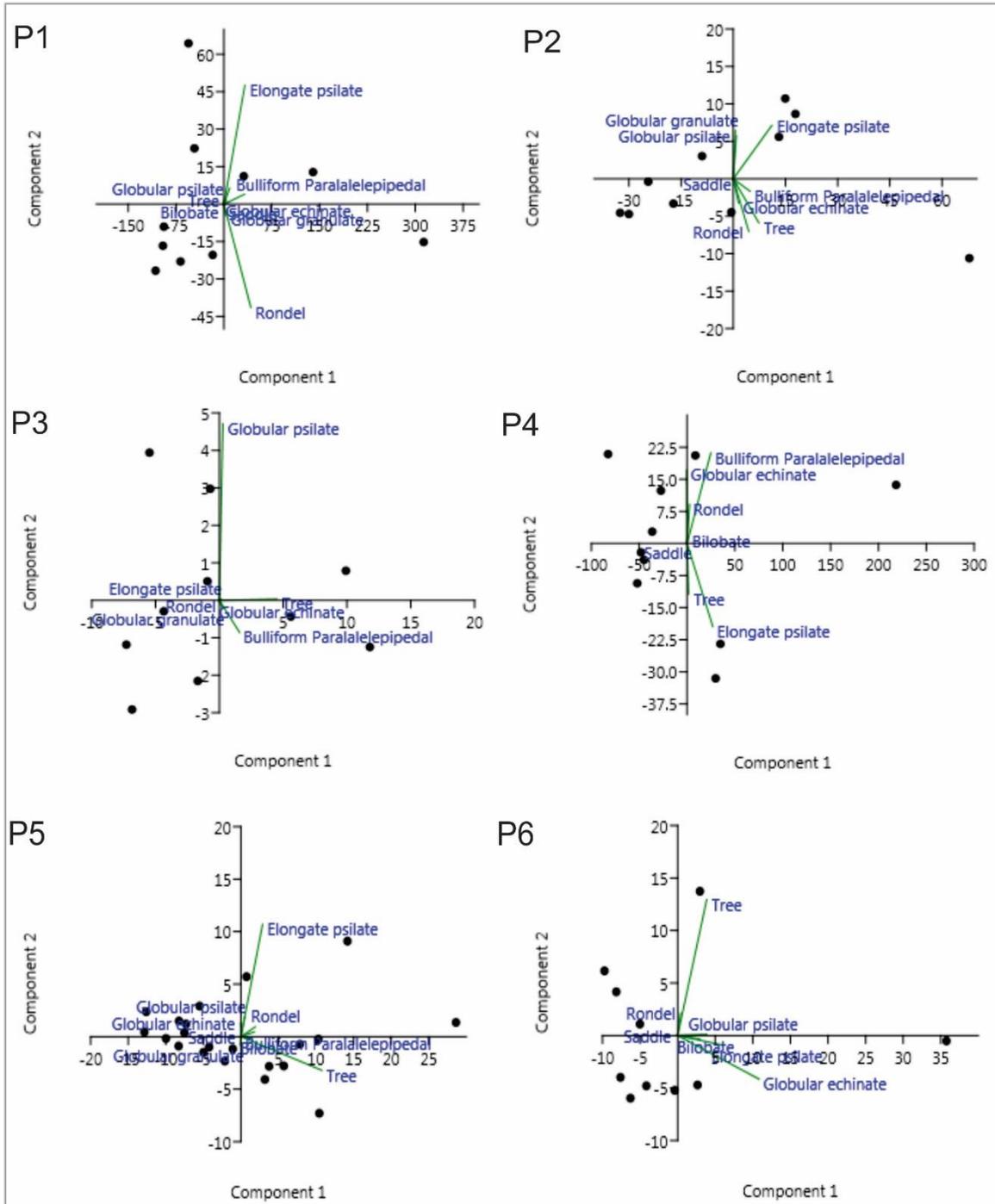


Figura 46 A – Análise do Componente Principal dos pontos P1, P2, P3, P4, P5, P6

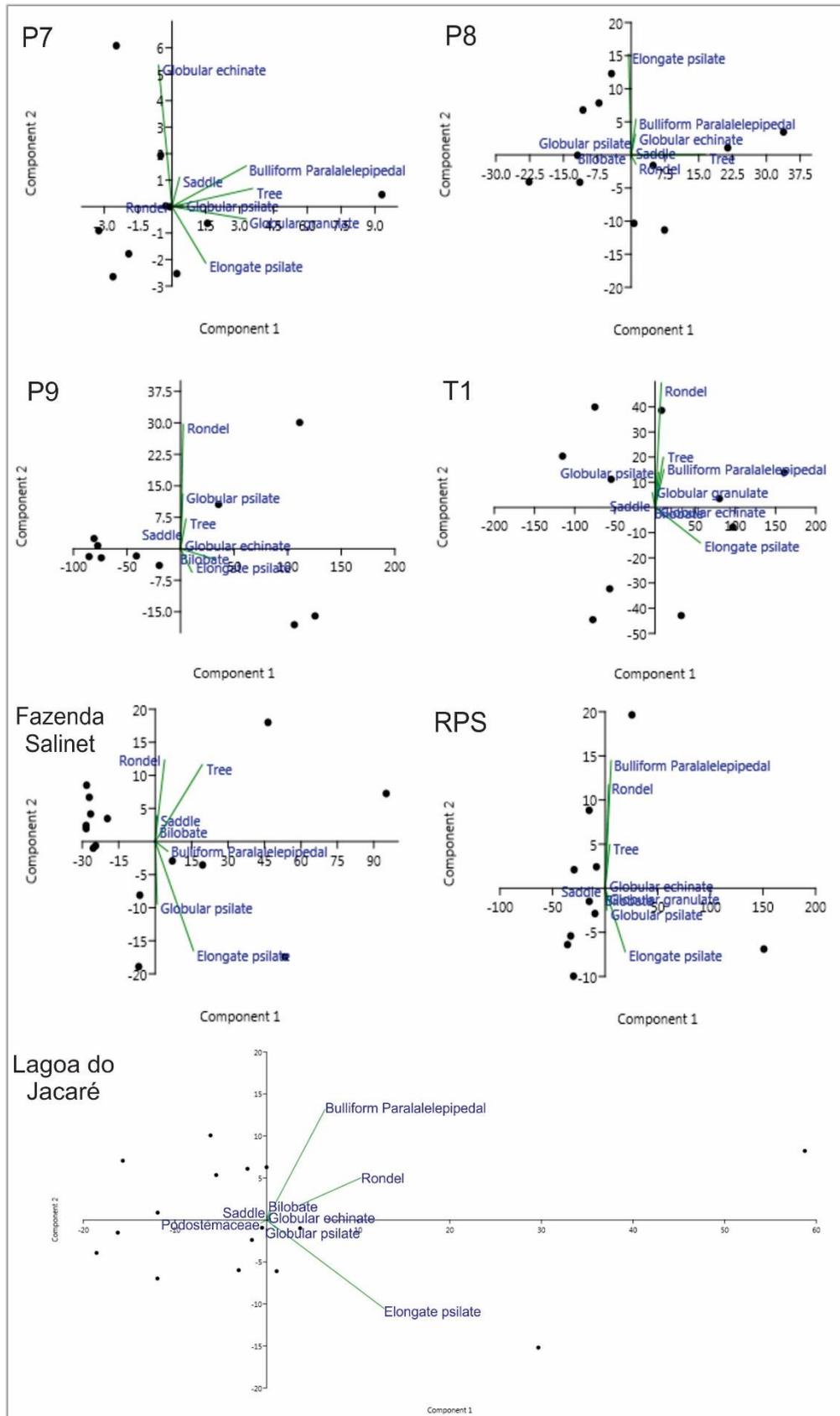


Figura 46 B – Análise do Componente Principal dos pontos P7, P8, P9, T1, Fazenda Salinet, RPS e Lagoa do Jacaré

6.2 DISCUSSÃO

O resultado da Tabela 02 (Coeficiente de correlação de Spearman das variáveis: matéria orgânica do solo, profundidade e totais fitolíticos) evidencia, para os conjuntos de dados analisados, que nem sempre a melhor conservação fitolítica ocorre no primeiro intervalo de solo, com diminuição em direção à base, uma vez que os picos fitolíticos podem ocorrer nos intervalos próximos à base, ou mesmo no centro do testemunho; os picos nessas situações podem ser influenciadores na correlação. Desse modo, os valores com forte correlação (negativa) ocorreram para os testemunhos com conservação (fitolítica) superior no topo e diminuição em direção à base.

Com relação a MOS, comprovou-se com a correlação que nem sempre quando há maiores concentrações de matéria orgânica, há quantitativo fitolítico superior às profundidades com valores menores de MOS.

Com alusão ao pH do solo realizado no P5 (amostrado por trincheira), Costa et al. (2010) encontraram valores de pH semelhantes ao desse estudo em diferentes estados (CE, MG e PE), oscilando entre 4,80 e 5,61. Os autores utilizaram o pH como variável para compreensão da possibilidade de os fitólitos estarem por maior período no solo. Seixas et al. (2019) também encontraram resultado semelhante.

No que tange a granulometria realizada na trincheira a fração argila predominou em relação às demais, tendo a areia menor expressividade percentual. Essas características são típicas de solos de rochas vulcânicas básicas.

Com relação aos fitólitos, as morfologias “Short cells” – “Bilobate”, “Cross”, “Rondel”, “Saddle” e “Trapeziform” – estão associadas a distintas subfamílias de Poaceae e, por tal fato, podem apresentar mudanças de vegetação (RASBOLD et al., 2016).

O morfotipo “Rondel” é produzido nas células epidérmicas curtas de Pooideae (C₃) e por Bambusoideae (C₃) (TWISS et al., 1969; TWISS, 1992; BARBONI et al. 1999; GU et al., 2016). O “Trapeziform” também é produzido por Pooideae – família Poaceae (PAISANI et al., 2016). Ambas as morfologias podem caracterizar ambientes de clima frio e zonas temperadas de regiões intertropicais ou mesmo altas elevações (TWISS, 1992; COE et al., 2012; PAISANI et al., 2016).

O fitólito “Bilobate” é produzido por diversas gramíneas, inclusive Panicoideae que possui ciclo fotossintético C₄. Elas se desenvolvem em áreas quentes e úmidas com disponibilidade de água no solo, abaixo do dossel de florestas tropicais (BREMONT et al.,

2005a; COE, 2009). A subfamília Pooideae (C₃) também produz essa morfologia. Na subfamília Bambusoideae (C₃) encontra-se as tradicionais morfologias de “Bilobate” e o morfotipo denominado de “Bilobate chusquea”, que na literatura pode ser encontrado com a denominação de “Concave dumbbell” (PIPERNO, 1988; PIPERNO, 2006; MONTTI et al., 2009; MONTEIRO, 2015; GU et al., 2016).

O morfotipo “Saddle” é gerado por Chloridoideae (C₄), Arundinoideae (C₃) e algumas espécies de Bambusoideae (C₃); já o morfotipo “Cross”, por Panicoideae, Pooideae (C₃) e Bambusoideae (C₃). O primeiro encontra-se com frequência maior em áreas secas de baixa latitude e altitude, a segunda morfologia em zonas tropicais e temperadas/intertropicais frias e/ou quentes sob dossel florestal (TWISS, 1969; KONDO et al., 1994; FREDLUND; TIESZEN, 1994; COE, 2009; MONTTI et al., 2009; COE et al., 2013; GU et al., 2016; BADGAL et al. 2022).

A morfologia “Polilobate” é atribuída à subfamília (de Poaceae) Panicoideae, característica de ambientes quentes e úmidos (COE, 2009; COE et al., 2013).

Os morfotipos “Bulliforms” caracterizam indicador de estresse hídrico, estando sua produção majoritária relacionada com a evapotranspiração de gramíneas (BREMONT, 2003; BREMONT et al., 2005b). Assim, quanto mais à planta sofre estresse hídrico ou transpira, maior é a taxa de produção de células “Bulliforms” (LORENTE et al., 2015). Essa característica – de estresse hídrico – demonstrou-se presente em todos os testemunhos, havendo variação entre pontos e profundidades.

Em vegetação rasteira, a produção de sílica pode atingir valores em torno de 5% da massa orgânica; por tal fato a produção de fitólitos em gramíneas é superior às famílias arbóreas (WELLE, 1976; WEBB; LONGSTAFFE, 2000; MOTOMURA et al., 2004; RASBOLD et al., 2012).

A morfologia “Bulliform parallelepipedal echinate” é atribuída a Bambusoideae encontrada em espécimes *Chusquea* (MONTTI et al., 2009; GU et al., 2016; CALEGARI et al., 2017). Monteiro (2015) atribuiu a árvores, contabilizando esse morfotipo no grupo das morfologias “Tree”. Na literatura pode ocorrer variação com relação à nomenclatura podendo ser encontrado como “Cubic”/“Parallelepipedal sinuate bulliform cells” e “Chusquea bulliform phytoliths”. Nesse estudo, na coleção de referência moderna, encontrou-se essa morfologia em Euphorbiaceae; a diferença do morfotipo produzido por Bambusoideae está no tamanho dos espinhos que compõem a morfologia.

A morfologia “Elongate psilate” não tem valor taxonômico, pelo fato de sua produção ocorrer na epiderme de todas as gramíneas (BREMONT, 2003). Os morfotipos “Elongates” com suas distinções morfológicas e quantitativas, são encontrados com facilidade na literatura, como pode ser observado nos estudos de Martínez et al. (2013), Rasbold et al. (2016), Zucol et al. (2018) e Contreras et al. (2019).

O morfotipo “Brachiform” também é produzido por diversas famílias de gramíneas (RASBOLD et al., 2016) não possuindo valor taxonômico. As morfologias “Poliedro articulado”, “Fusiform” e “Poligonal epidermal” também não apresentam valor taxonômico.

Também sem grupo taxonômico característico encontrou-se a morfologia “Block”, que, geralmente, possui dimensões menores em relação ao morfotipo “Bulliform parallelepipedal”, como pode ser observado em (MADELLA et al., 2005; PIPERNO, 2006; COE et al., 2013; LORENTE et al., 2015; VILLWOCK, 2018; VILLWOCK et al., 2019). Coe (2009) encontrou as dimensões $>$ ou $<$ 20 μm . Santos (2013) encontrou essa morfologia com aproximadamente 35 μm . Esse morfotipo é produzido tanto por subfamílias de Poaceae como por eudicotiledôneas lenhosas (PIPERNO, 2006; COE et al., 2013; GAO et al., 2018).

Os fitólitos “Unciform hair cell”, “Acicular hair cell”, “Scutiform hair cell” são produzidos por gramíneas (TWISS et al., 1969; GE et al., 2010; BARBONI et al., 2007). Palmeiras (Arecaceae) e outras plantas também são produtoras desses morfotipos (PIPERNO, 1988; STRÖMBERG, 2004).

O morfotipo “Cone-shape” corresponde à família botânica Cyperaceae (PIPERNO, 2006; HONAINÉ et al., 2009; RASBOLD et al., 2011; STEVANATO et al., 2019). Essa família tem preferência por ambientes úmidos (LONGHI-WAGNER, 2003; SPELLMEIER et al., 2009), incluindo lagoas (PAROLIN et al., 2017), margem de rios (KALINOVSKI et al., 2016) e banhados (LONGHI-WAGNER, 2003; SPELLMEIER et al., 2009). Tavares et al. (2007) completam denotando a ocorrência dessa família em solo úmido, rico em minerais e matéria orgânica, características presentes no PNI.

O “Globular psilate” é produzido por Euphorbiaceae, Fabaceae, Proteaceae (MERCADER et al., 2009) e Clusiaceae (SANTOS et al., 2015). Essa morfologia também é encontrada em monocotiledôneas herbáceas (PIPERNO, 1988; KONDO et al., 1994) e em raízes de algumas gramíneas (COE, 2009); o “Globular echinate” é produzido por Arecaceae (KONDO et al., 1994; RUNGE, 1999; MACEDO et al., 2015; COE et al., 2017), Marantaceae e Bromeliaceae (PIPERNO, 2006); o “Globular granulate” por eudicotiledôneas lenhosas,

troncos de árvores e arbustos tropicais, inclusive Rubiaceae (Angiosperma) (SCURFIELD et al., 1978; WELLE, 1976; KONDO et al., 1994; COE et al., 2017).

Classificadas com elevada produção do morfotipo “G. echinate”, as famílias Arecaceae (RASBOLD et al., 2011; COE et al., 2017) e Bromeliaceae (COE et al., 2017) são forte indicativo da presença no ambiente. Piperno (2006) também ressaltou a produção por Marantaceae. No PNI em Céu Azul (parte norte do Parque) encontrou-se densa quantidade de *E. edulis*, sob dossel frondoso, bem como elevada quantidade do morfotipo “G. echinate” nos pontos amostrados.

A morfologia “Circular” foi detectada em Chloridoideae por Raitz (2012) em folhas da espécie *C. elata* (Poaceae), e, em Chrysophyte por Neumann et al., (2019).

O morfotipo “Oblong” foi descrito por Piperno (1988) na família Poaceae. Raitz (2012) encontrou o mesmo em Pteridaceae (*Adiantum trapeziform* L.). O gênero da espécie analisada por Raitz é encontrada em ambiente florestal primário e secundário (SAKAGAMI, 2006; MATOS, 2009; WINTER et al., 2011), inclusive em Floresta Ombrófila Mista (RAITZ et al., 2015).

A morfologia “Tracheid” foi identificada nas famílias Fabaceae e Erythroxylaceae por Coe et al. (2017). Santos et al. (2015) encontraram em *Garcinia* sp., *Calophyllum* sp., *Stigmaphyllon paralias* A. Juss. (Malpighiaceae). Piperno (2006), Rasbold et al. (2011), Monteiro et al. (2012), Pereira et al. (2013; 2014) diagnosticaram em Arecaceae e, Iriarte e Paz (2009) em Euphorbiaceae e Loranthaceae.

A família Pinaceae também é produtora de fitólitos. As morfologias dessa família podem ser observadas em Piperno (2006) e na figura 30.

A baixa quantidade da morfologia “Tree” (PIPERNO, 2006; GU et al., 2008; PAROLIN et al., 2011; RAITZ, 2012; AN et al., 2015; MONTEIRO, 2015; TRAORÉ et al., 2015; GAO et al., 2018; ZHANG et al., 2019) pode estar associada a não ocorrência de espécies produtoras de fitólitos “in situ” ou mesmo baixa produtividade de fitólitos como é característico das famílias arbóreas em relação à Poaceae.

As morfologias “Sclereid” e “Cylindrical sclereid” são atribuídas para famílias arbóreas (PIPERNO, 2006; IRIARTE; PAZ, 2009; AN et al., 2015; GAO et al., 2018). Piperno (2006) encontrou em Annonaceae; An et al. (2015) identificaram em ambiente florestal e mencionaram ser característico de plantas de folhas largas (WANG; LU, 1993; GU et al., 2008).

As pteridófitas são encontradas em ambientes da Floresta Ombrófila Mista (FOM) e Floresta Estacional Semidecidual (FES) (CERVI; BORGGO, 2007; SILVA, 2014), sendo

encontradas no PNI. Foram identificadas as morfologias “Pteridophyte” (MAZUMDAR, 2011; ZHANG et al., 2019) nos testemunhos RPS, Fazenda Salinet, P5, P6, P7 e P8.

Os fitólitos produzidos por Podostemaceae (COSTA et al., 2011; RASBOLD, 2016) são encontrados em rios, porque essa família tem “sua preferência aos ambientes lóticos em vez dos lênticos” (BOVE, 2018, p. 329). Podostemaceae está presente no PNI, tanto na literatura (TUR, 1997; FONTANA, 2008) quanto pela evidência fitolítica. Outra evidência ocorre pelos dados de herbários, disponibilizados virtualmente na base de dados do “Species Link”¹⁰, que constam as espécies *Tristicha trifaria* (Bory ex Willd.) Sprengl (número de tombo: NYBG 527531, HCF 27591, HCF 17208), *Podostemum fruticulosum* (Tul. & Wedd.) Wedd (número de tombo: NYBG 527541), *Apinagia yguazuensis* Chodat & Vischer (número de tombo: HCF 23131) e *Mourera aspera* (Bong.) Tul. (número de tombo: UPCB 89572, UPCB 54941).

Ao verificar a distribuição dos conjuntos fitolíticos tornou-se possível corroborar a afirmativa realizada por Barboni et al. (2007), cujos autores afirmaram que a melhor preservação fitolítica ocorre nos primeiros centímetros de solo. Resultados semelhantes foram encontrados por Ranulpho (2016) e Crifò e Strömberg (2020).

Mediante a densidade de dados trabalhados, tornou-se possível determinar que na FOM 77,78% das amostras apresentaram variações significativas da vegetação; e na FES em 100% das amostras analisadas. Levando-se em consideração a variação conforme o grupo de solos, todos apresentaram variações significativas da vegetação. Não obstante, em duas amostras não foram identificadas variações significativas, sendo o Tubo 1 (FOM/solo mal drenado) e o Ponto 3 (FOM/solo bem drenado). No Tubo 1 acredita-se que não foi encontrada variação significativa pela profundidade atingida – 30 cm; e no Ponto 3 pela baixa quantidade de fitólitos presente nas amostras.

Ante ao exposto, com a assembleia fitolítica recuperada pode-se inferir que a área sempre foi dominada por espécies arbóreas concomitantes a ocorrência das famílias Poaceae e Cyperaceae sob as copas do dossel. Mercader et al. (2011) chegaram em resultado semelhante em análise de fitólitos conservados em solo de ambiente florestal em Moçambique. Ao quantificarem e qualificarem os fitólitos os autores determinaram que mais de 50% corresponderam a famílias arbóreas.

A assembleia fitolítica está de acordo com as características do clima e vegetação presente, com dominância da vegetação arbórea, em relação à vegetação rasteira com ocorrência abaixo do dossel, pela presença dos morfotipos “Bilobate”, “Saddle”, “Rondel”,

¹⁰ Disponível em: <<http://www.splink.org.br/>>.

“Cone-shape”, “Elongates”, “Globular granulate”, “Tracheid”, “Tree” e “Sclereid”, além da ocorrência de Bambusoideae com a abertura de clareiras pela queda de árvores, indicativo pelos fitólitos “Rondel” e “Bilobate chusquea”.

Com alusão aos índices calculados para a LJ, os valores do Ic variaram de 54,2% (65-60 cm) a 100%, os valores mais altos ocorreram na base do testemunho (100%) e nos intervalos 15-10 cm (93,1%) e 05-0 cm (88%). Valores superiores a 70% indicam predominância de gramíneas Pooideae (C₃), enquanto <30% predomínio de gramíneas C₄ (TWISS, 1992; FREDLUND; TIESZEN, 1994). Desse modo, houve predomínio de gramíneas C₃ no testemunho, com excessão do intervalo 65-60 cm que se infere mistura entre C₃ e C₄.

Não foi calculado o Iph para os intervalos 80-75, 75-70, 70-65, 55-50, 50-45, 30-25 e 15-10 cm porque não houve o morfotipo “Saddle” nesses intervalos. Os menores valores de Iph ocorreram nos intervalos 10-05 e 05-0 cm (16,67%), já os maiores valores em 65-60 cm (72,73%) e 20-15 cm (75%). Valores inferiores a 20-40% indicam predomínio de Panicoideae, permitindo inferir clima quente e úmido ou mesmo elevada quantidade de água disponível nos sedimentos (BREMONT et al., 2005a). Bremond et al. (2005b) em estudo no leste da África, determinaram que condições climáticas secas e quentes estão diretamente relacionadas com a ascensão deste índice. Desse modo, ao longo do testemunho observou-se adaptação à aridez pelas plantas com variações entre momentos mais secos e úmidos ao longo do tempo, sendo prevalente períodos de maior umidade.

Com o índice Bi encontrou-se valor máximo em 60-55 cm (77,1%) e menor valor em 05-0 cm (43,8%), o valor da base do testemunho foi de 72,4%. Chueng et al. (2018) encontraram valores de 30 a 48% e classificaram como baixo e de 60 a 62% moderado. Assim, o testemunho da LJ na maior parte classifica-se com elevado e moderado estresse hídrico e somente no topo com baixo Bi.

O índice D/P foi possível calcular somente para os intervalos 65-60 cm (1,5) e 55-50 (2,8), devido às morfologias que correspondem à fórmula utilizada. Os valores correspondem à densidade arbórea reduzida na área da lagoa devido à baixa quantidade de fitólitos atribuídos às espécies arbóreas que compõem o testemunho. Índice D/P com valores inferiores a 5 foi obtido por Parolin et al. (2017) em amostragem realizada na lagoa sem nome; os autores concluíram que a vegetação arbórea na área sempre foi reduzida.

As análises de $\delta^{13}\text{C}$ corroboram as afirmativas da composição biogeográfica (flora) ser florestal, com valores oscilando de -29,27‰ a -31,22‰. Valores semelhantes de $\delta^{13}\text{C}$ foram determinados nos estudos de Santos (2013), Santos et al. (2014) e Golovati (2015). Exemplo

de valores que confirmam tais percentuais para floresta podem ser verificados em Vitória et al. (2018).

No que diz respeito ao $\delta^{15}\text{N}$, os valores determinados nas amostras correspondem a formação florestal, uma vez que os valores são baixos; essa afirmativa é corroborada pelos resultados obtidos por Amazonas (2010), Brearley et al. (2011) e Couto et al. (2017).

Com relação às espículas de esponjas de água doce (da Lagoa do Jacaré), foram identificadas espécies correspondentes a ambientes preferencialmente lóticos, que podem ser encontradas aderidas em rochas e fragmentos (BONETTO; EZCURRA DE DRAGO, 1973; VOLKMER-RIBEIRO et al., 1975; EZCURRA DE DRAGO, 1993; VOLKMER-RIBEIRO; PAULS, 2000; BATISTA; VOLKMER-RIBEIRO, 2002; PINHEIRO et al., 2003; BATISTA et al., 2007; TAVARES-FRIGO et al., 2015).

Apesar de ocorrerem em ambientes lóticos, não raramente são encontradas em ambientes lênticos. Evidências científicas sobre *O. navicella*, *C. sekti* e *T. repens* encontradas em planícies de inundação, lagoas e reservatórios foram denotados por Batista et al. (2003), Batista et al. (2007), Volkmer-Ribeiro et al. (2010).

Analisando do topo para base do testemunho da LJ, o pico fitolítico ocorreu no intervalo 15-10 cm, em que as morfologias “Rondel”, “Bulliform paralelepipedal”, “Block”, “Elongate psilate” e “Scutiform hair cell” possuem valores máximos de produção/conservação expressivamente notórios, em contrapartida há diminuição de megascleras inteiras (até o intervalo 30-25 cm). É justamente entre os intervalos 20 a 10 cm que os índices Bi, Ic e Iph possuem os maiores percentuais no início do testemunho. Assim, permitiu inferir possível diminuição na lâmina d’água da LJ.

De 35-30 cm até o topo as gemoscleras de *T. repens* e *O. navicella* apareceram intercaladas. Entretanto, do intervalo 55-50 cm até a base o quantitativo de *O. navicella* é majoritariamente superior. As megascleras inteiras e fragmentadas também foram ascendentes, todavia, os fragmentos, em quantidades maiores. A partir do intervalo 35-30 cm até a base os fitólitos produzidos por Podostemaceae tornaram-se expressivos na assembleia.

Desse modo, infere-se que ocorreu um período de maior atividade d’água da base até 50 cm, com o maior número de espículas de esponjas e menor de diatomáceas; seguido por diminuição do contato com o rio Iguaçu, assim, passando de ambiente lótico para semilótico. A evidência de maior umidade no paleoambiente é expressa também com o pico de deposição da morfologia “Cone-shape” em 60-55 cm.

Do intervalo 50-45 até 35-30 cm concretiza-se a formação do ambiente lântico e as esponjas passam por adaptação nesse período, uma vez que, em 35-30 cm encontrou-se novamente gemoscleras.

Essa adaptação é necessária, pelo fato de as espécies serem características de ambiente fluvial, de fundos pedregosos rasos e condição de redução da temperatura da água no inverno (TAVARES-FRIGO et al., 2015). Por se tratar de ambiente lântico no verão a água é aquecida em maior intensidade, no entanto, no inverno há os benefícios de a temperatura manter-se aquecida por mais tempo pelo acúmulo de temperatura e falta/pouca movimentação d'água. Na LJ essa adaptação ocorreu com êxito por duas das quatro espécies identificadas – *O. navicella* e *T. repens*.

Por fim, esse estudo corrobora os resultados encontrados por Monteiro et al. (2018) nessa UC, pois também afirmaram vegetação florestal por meio da assembleia fitolítica recuperada.

Resultado semelhante ao deste estudo foi inferido por Parolin et al. (2017), na reconstrução paleoambiental em Ortigueira, Paraná. Os autores determinaram estresse hídrico ao longo do perfil e incremento de umidade (após o Holoceno Médio) a partir do intervalo 12-10 cm em direção ao topo da sondagem, indicada pela presença do fitólito “Cone-shape”. As morfologias “Tree” e “Rondel” estiveram presentes em quase todo o perfil amostrado, auxiliando os autores nas considerações paleoambientais durante o Holoceno. Tais morfologias foram importantes para os apontamentos realizados nesse estudo.

6.3 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A conservação fitolítica em quantidade superior ocorreu na maioria dos pontos no topo com decaimento em direção à base.

Os testemunhos que apresentaram os maiores valores no quantitativo fitolítico foram P1, T1, P4, P9, Fazenda Salinet, RPS, LJ, P8, P2, P5, P6, P3 e P7 respectivamente.

A análise fitolítica, índices, frústulas de diatomáceas e espículas de esponjas de água doce permitiram inferir que o ambiente na área da LJ apresentou oscilações entre momentos mais e menos úmidos; o estresse hídrico pelas plantas foi moderado a elevado, devido à variação de temperatura e evapotranspiração ao longo do tempo. Foi possível identificar oscilações climáticas entre quente e úmido, quente e menos úmido e sequenciado novamente por clima quente e úmido - característica atual - (analisando da base do testemunho para o topo).

A vegetação na área da LJ, até a profundidade analisada, consistiu no predomínio de gramíneas C₃, com baixa densidade de espécies arbóreas, havendo o indicativo de início de (re)estabelecimento nos primeiros centímetros, assim, sinalizando que o sistema aquático até 80 cm sempre foi presente.

Na LJ encontrou-se quatro espécies de duas famílias de esponjas de água doce: a) Spongillidae – *T. repens* e *C. seckti* e b) Potamolepidae - *O. navicella* e *O. schubarti*. É muito provável que a origem dessas espículas seja alóctone, sendo seu depósito resultado de períodos de cheia ou inundação do rio Iguaçu.

O pico fitolítico no intervalo 15-10 cm das morfologias “Rondel”, “Bulliform parallelepipedal”, “Block”, “Elongate psilate”, e, diminuição do tipo Podostemaceae e das espículas de esponjas e frústulas de diatomáceas sinalizam o ressecamento da LJ, tendo assim, a possibilidade de futuramente tornar-se uma lagoa seca.

Desse modo, pode-se afirmar que até as profundidades estudadas – de todas as amostras coletadas – a vegetação arbórea e rasteira no PNI sempre coabitaram com prevalência do estrato arbóreo. Na LJ a vegetação arbórea, possivelmente, sempre prevaleceu em seu entorno, comprovando-se pela baixa quantidade de morfologias correspondentes a eudicotiledôneas lenhosas. Acredita-se que foram depositadas devido aos processos de erosão laminar e transporte até a lagoa.

7 RECONSTRUÇÃO PALEOBIOGEOGRÁFICA NA LAGOA DOS PEIXES DA ESTAÇÃO ECOLÓGICA MUNICIPAL FRANCISCO PASCHOETO EM RESERVA DO IGUAÇU, PARANÁ

Essa seção tem como objetivo, promover a reconstrução paleobiogeográfica da Lagoa dos Peixes na EEMFP por meio de análise “multiproxy”.

7.1 RESULTADOS

7.1.1 Descrição geral da lagoa, matéria orgânica e “proxies” encontrados

Na EEMFP a Lagoa dos Peixes é assim conhecida por ser a única lagoa com a ocorrência de peixes. Na lagoa visualizou-se macrófitas em seu interior, circundada por gramíneas e, essas cercadas pela vegetação arbórea da FOM (Figura 47).

A área em que o testemunho (Tubo 2) foi coletado - na borda da lagoa - caracteriza-se com baixa declividade (Figura 12), além de contemplar uma das áreas mais elevadas da EEMFP, que possui cota máxima de 1.165 m (Figura 11), ocorrendo à coleta na cota 1.155 m, na parte noroeste da Estação Ecológica. O testemunho coletado possui tamanho de 47 cm, chegando à rocha em tal profundidade.



Figura 47 – A) Testemunho de coleta na borda da Lagoa dos Peixes na Estação Ecológica Municipal Francisco Paschoeto em Reserva do Iguaçu, Paraná. B) Lagoa dos Peixes. C) Entorno da lagoa

A MOS apresentou decaimento do topo em direção à base do testemunho. Os maiores valores foram determinados nas profundidades 0-3 e 12-15 cm com 41% e 39,2% respectivamente. O menor percentual foi determinado na base do testemunho com 10,2% (Figura 48). Ao determinar o percentual de matéria orgânica e análise do testemunho em laboratório, verificou-se tratar de uma turfeira.

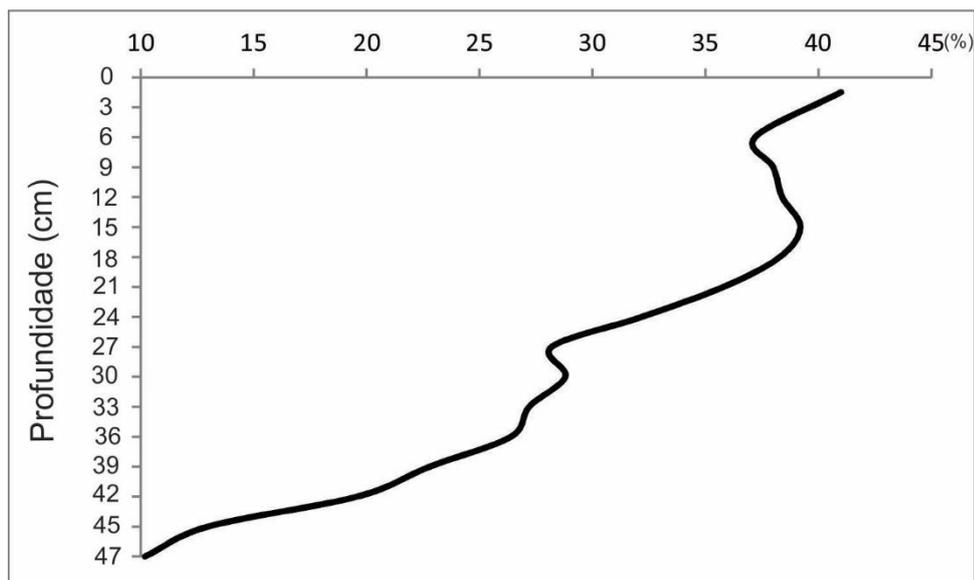


Figura 48 – Matéria orgânica obtida do testemunho coletado na Lagoa dos Peixes na Estação Ecológica Municipal Francisco Paschoeto em Reserva do Iguaçu, Paraná

Com relação às morfologias de fitólitos identificadas as “Short cells” – “Bilobate”, “Cross”, “Rondel”, “Saddle” e “Trapeziform” – representaram 16,06% da assembleia recuperada. Os morfotipos “Rondel” e “Saddle” totalizaram mais de 11% dos 16,06 % (Figuras 49 A, 49 B e 50).

Os morfotipos “Bulliforms cells” corresponderam a 31,05% do total fitolítico. Na devida ordem, as morfologias com maior proporção foram “Block”, “Bulliform paralelepipedal”, “Bulliform cuneiform” e “Bulliform paralelepipedal echinate” (Figuras 49 B e 50).

As morfologias “Globulares psilate” e “G. echinate” apresentaram baixa expressividade perante o total, sendo 1,79%, em que a primeira foi majoritária com 1,67% (Figuras 49 A e 50).

As morfologias “Elongates psilate” e “E. echinate”, apresentaram quantidade expressiva totalizando valor próximo a 1/3 da assembleia recuperada, totalizando a primeira 28,09% e a segunda 1,37%. A morfologia “Cone-shape” foi quantificada em 6,19% (Figuras 49 A, 49 B e 50).

Os morfotipos “Acicular hair cell” e “Scutiform hair cell” somaram 4,34%, tendo a segunda morfologia menos representatividade (0,27%). Outros morfotipos que foram quantificados em baixa quantidade foram “Polilobate” (0,12%), “Brachiform” (0,02%), “Circular” (0,12%), “Tracheid” (0,07%), “Sclereid” (0,17%), Pinaceae (0,37%), “Pteridophyte” (0,83%) e “Tree” (1,59%). Os não classificáveis totalizaram 4,07%. As frústulas de diatomáceas ocorreram com percentual inferior a 4% (Figuras 49 A, 49 B e 50).

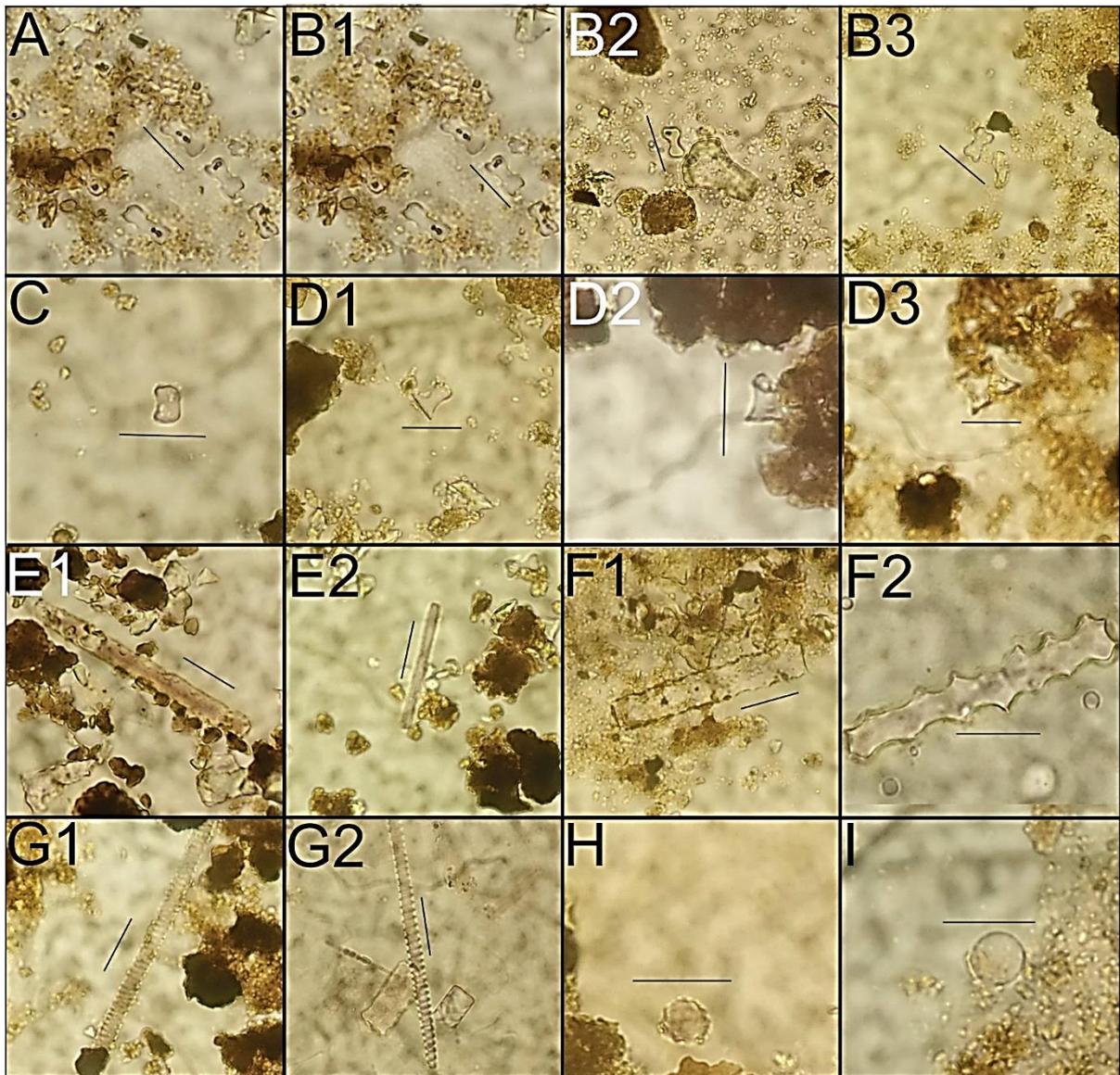


Figura 49 A – Principais microfósseis recuperados no testemunho coletado na Lagoa dos Peixes da Estação Ecológica Municipal Francisco Paschoeto em Reserva do Iguaçu, Paraná. A, “Polilobate”; B1-B3, “Bilobate”; C, “Saddle”; D1-D3, “Rondel”; E1-E2, “Elongate psilate”; F1-F2, Elongate echinate”; G1-G2, “Tracheid”; H, “Globular echinate”; I, “Globular psilate”. Escala 17 µm

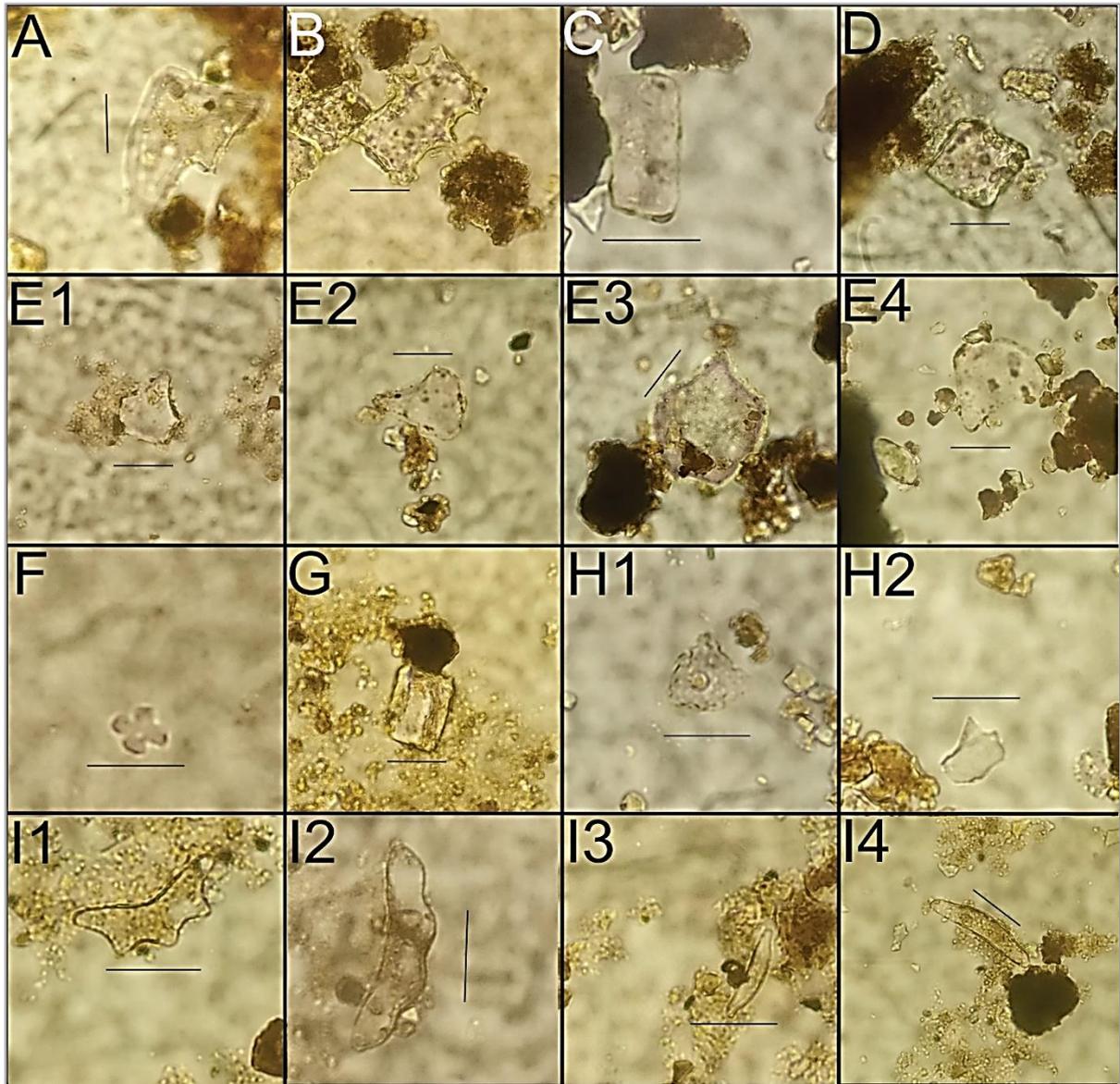


Figura 49 B – Principais microfósseis recuperados no testemunho coletado na Lagoa dos Peixes da Estação Ecológica Municipal Francisco Paschoeto em Reserva do Iguçu, Paraná. A, “Tree”; B, “Bulliform parallelepipedal echinate”; C, “Bulliform parallelepipedal”; D, “Block”; E1-E4, “Bulliform cuneiform”; F, “Cross”; G, “Trapeziform”; H1-H2, “Cone-shape”; I1-I4, Frústulas de diatomáceas. Escala 17 µm

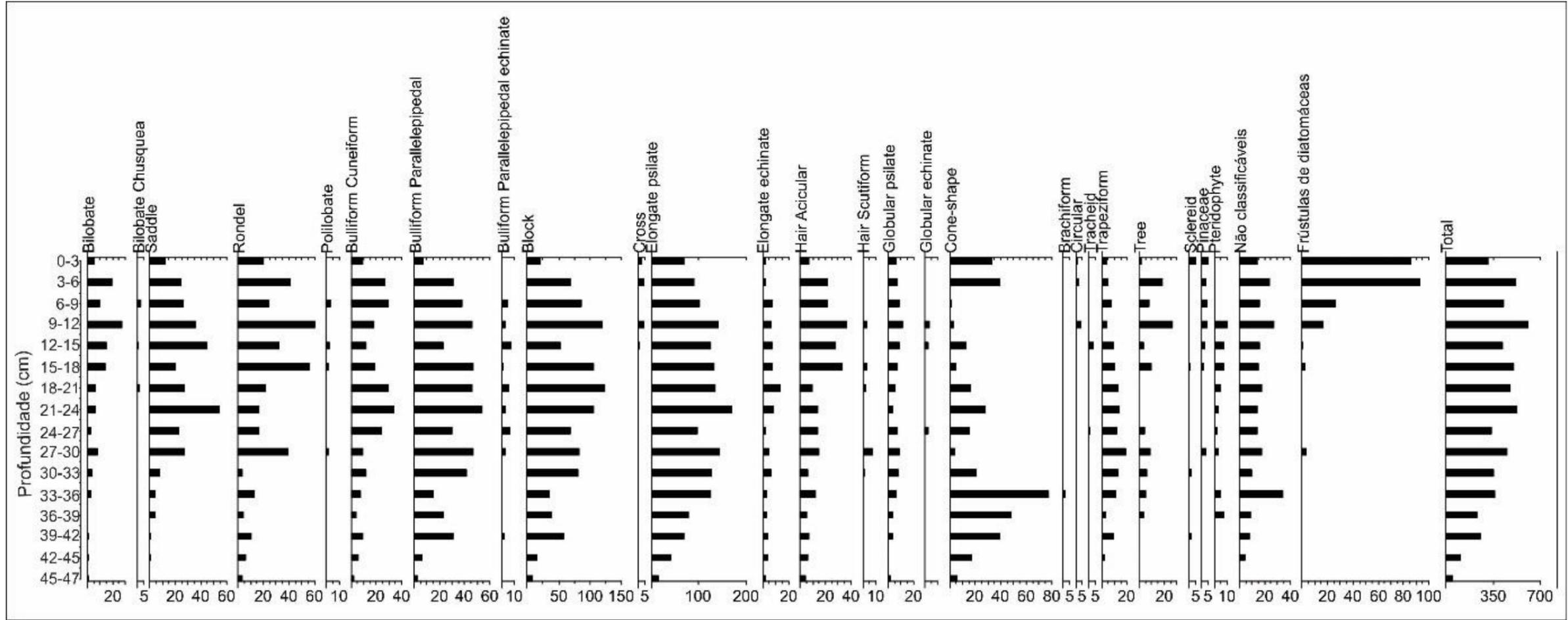


Figura 50 – Diagrama da assembleia recuperada no testemunho coletado na Lagoa dos Peixes da Estação Ecológica Municipal Francisco Paschoeto em Reserva do Iguçu, Paraná

7.2 DISCUSSÃO

As morfologias “Short cells” são produzidas por distintas subfamílias de Poaceae, permitindo a distinção pelas morfologias fitolíticas (RASBOLD et al., 2016). O morfotipo “Saddle” é produzido por gramíneas das subfamílias Chloridoideae, Arundinoideae e Bambusoideae; a morfologia “Rondel” também é produzida por Bambusoideae e Pooideae; a morfologia “Cross” por Panicoideae, Pooideae e Bambusoideae; o morfotipo “Polilobate” por Panicoideae; o morfotipo “Bilobate” tem ocorrência, principalmente, em Panicoideae, Bambusoideae e Pooideae (TWISS et al., 1969; TWISS, 1992; BARBONI et al. 1999; PIPERNO, 2006; COE, 2009; MONTTI et al., 2009; GU et al., 2016). A subfamília Bambusoideae produz também uma morfologia que, na literatura, pode ser encontrada com a denominação de “Bilobate chusquea” (MONTEIRO, 2015), “Bilobate convex” (MONTTI et al., 2009) e “Concave dumbbell” (PIPERNO, 1988). O morfotipo “Trapeziform” é atribuído a Pooideae subfamília de Poaceae (PAISANI et al., 2016).

O morfotipo “Globular echinate” é produzido por Bromeliaceae e Arecaceae (RUNGE, 1999; PIPERNO, 2006). A morfologia “Globular psilate” tem origem das famílias Proteaceae, Euphorbiaceae, Fabaceae (MERCADER et al., 2009) e Clusiaceae (SANTOS et al., 2015); essa morfologia pode ser também encontrada em algumas gramíneas e monocotiledôneas herbáceas (PIPERNO, 1988; KONDO et al., 1994; COE, 2009).

As morfologias “Bulliforms cells” são indicadoras de estresse hídrico, por tal fato, sendo relacionadas com a evapotranspiração de gramíneas (BREMONT, 2003; BREMONT et al., 2005b). Lorente et al. (2015) denotaram que quanto maior for o estresse hídrico, maior será a produção dessas morfologias, apresentando assim, relação diretamente proporcional. Não obstante, esse estresse pode ser ocasionado não somente pela falta de água no solo, mas também por oscilação no lençol freático.

A morfologia “Cone-shape” (“Papillae”) é denotada com maior frequência na literatura como indicadora de umidade no ambiente (PIPERNO, 2006), sendo caracterizada com alta produção pela família Cyperaceae (PIPERNO, 2006; HONAINÉ et al., 2009; RASBOLD et al., 2011; STEVANATO et al., 2019; DIAS et al., 2020). Dias et al. (2020) encontraram essa morfologia com rara ocorrência na espécie *Eugenia dysenterica* correspondente à família botânica Myrtaceae.

As morfologias atribuídas às famílias arbóreas encontradas no testemunho foram “Tree” e “Sclereid” (MONTEIRO, 2015; AN et al., 2015; GARNIER et al., 2013; TESTÉ et al., 2020),

ocorrendo em praticamente todos os intervalos. Fitólitos de Pinaceae (PIPERNO, 2006) foram identificados e quantificados principalmente na parte superior do testemunho.

A morfologia “Tracheid” foi encontrada nas famílias Erythroxylaceae e Fabaceae por Coe et al. (2017). Santos et al. (2015) identificaram em *Calophyllum* sp., *Garcinia* sp., *Stigmaphyllon paralias* A. Juss. (Malpighiaceae). Piperno (2006), Rasbold et al. (2011), Monteiro et al. (2012), Pereira et al. (2013; 2014) determinaram em Arecaceae e, Iriarte e Paz (2009) em Loranthaceae e Euphorbiaceae.

As morfologias produzidas por pteridófitas “Pteridophyte” (MAZUMDAR, 2011; ZHANG et al., 2019) foram encontradas na parte central do testemunho em direção a base.

O morfotipo “Acicular hair cell” foi quantificado em todos os intervalos do testemunho. Essa morfologia é produzida tanto por gramíneas (TWISS et al., 1969; GE et al., 2010; BARBONI et al., 2007) quanto por Arecaceae e outras famílias (PIPERNO, 1988; STRÖMBERG, 2004).

As morfologias “Elongates” são atribuídas às gramíneas de distintas famílias (BREMONT, 2003; RAMÍREZ et al., 2019), assim, não apresentando padrão taxonômico.

Outras morfologias presentes no testemunho, sem valor taxonômico e baixa ocorrência foram “Brachiform” e “Circular” (RAITZ, 2012; RASBOLD et al., 2016; NEUMANN et al., 2019), que são produzidas por diversas gramíneas. Raitz (2012) encontrou a segunda morfologia em folhas da espécie *C. elata* (Poaceae).

As frústulas de diatomáceas ocorreram, principalmente, nas quatro primeiras profundidades, indicando condições geoquímicas, ambientais e permanência de água no ambiente, permitindo a sobrevivência e reprodução de diatomáceas.

A prevalência da morfologia “Cone-shape” nos últimos 25 cm – próximo à base, permite inferir que o ambiente na área da lagoa sempre apresentou umidade; nesse estágio as morfologias “Bulliforms” apresentaram distribuição inversamente proporcional, em relação ao morfotipo “Cone-shape”.

Com a diminuição abrupta da morfologia “Cone-shape”, há o aumento dos morfotipos “Short cells”, bem como variações dessas morfologias ao longo do testemunho, possibilitando inferir que na área da lagoa, ocorreram processos de avanços e regressões da lâmina d’água, assim, com possíveis períodos mais úmidos e mais secos.

Com relação às morfologias correspondentes aos indivíduos botânicos arbóreos e pteridófitas, entende-se que são oriundos da vegetação florestal que circunda a Lagoa dos Peixes.

Saia (2006) em estudo realizado na Lagoa Vermelha, localizada no Vale do Ribeira, São Paulo, que é circundada pela Mata Atlântica, determinou famílias arbóreas, pteridófitas e herbáceas ao longo do testemunho analisado, bem como flutuações climáticas durante o Quaternário.

7.3 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os “proxies” conservados e extraídos da turfeira, permitiram verificar que o paleoambiente da área apresentou umidade, sendo constituída com o tempo a Lagoa dos Peixes. A vegetação prevalente foi herbácea, sendo os fitólitos de eudicotiledôneas lenhosas oriundos da vegetação florestal dos arredores da lagoa.

Por fim, levando-se em conta os fitólitos qualificados e quantificados, infere-se que houve paleoclima mais úmido que o atual nos intervalos 47-45 cm ao 36-33 cm; nos demais intervalos até o topo, acredita-se que ocorreram momentos mais secos e mais úmidos.

8 CONCLUSÕES

A conservação fitolítica dos pontos amostrados foi prevalente no topo com decaimento em direção à base. Todavia, houve exceções, perante o conjunto de testemunhos analisados.

A paleovegetação do PNI foi majoritariamente florestal, coabitando com o estrato herbáceo, com exceção da área da LJ em que se determinou o predomínio de gramíneas, com baixa densidade de arbóreas; o estrato arbóreo esteve presente ao redor da LJ.

Devido as variações de temperatura e evapotranspiração ao longo do tempo, a paleovegetação da área da LJ passou por estresse hídrico, sendo classificado como moderado a elevado estresse hídrico.

Até as profundidades estudadas verificou-se que na área da LJ o sistema aquático sempre foi presente, com oscilações no tempo de residência de água.

Com relação a turfeira presente na EEMFP, em Reserva do Iguaçu, a área sempre foi úmida – até as profundidades estudadas. A vegetação predominante foi herbácea na Lagoa dos Peixes, com vegetação arbórea nos arredores; assim como na LJ em Foz do Iguaçu. Inferiu-se também que ocorreram variações paleoclimáticas em ambas as áreas estudadas.

Por fim, essa tese apresentou contribuições inéditas tanto para o PNI, quanto para a EEMFP, utilizando fitólitos, frústulas de diatomáceas, espículas de esponjas, e análises isotópicas $\delta^{13}\text{C}$ e $\delta^{15}\text{N}$.

REFERÊNCIAS

- AGUIAR, A. E. X.; COE, H. H. G.; MADELLA, M.; CRUZ, M. L. B. O uso do bioindicador fitólito em estudos ambientais e arqueológicos no Brasil. **Revista GeoNordeste**, n. 1, p. 80-104, 2019.
- ALBERT, R. M.; BAMFORD, M. K.; ESTEBAN, I. Reconstruction of ancient palm vegetation landscapes using a phytolith approach. **Quaternary International**, v. 369, p. 51-66, 2015.
- ALBERT, R. M.; SHAHACK-GROSS, R.; CABANES, D.; GILBOA, A.; LEV-YADUN, S.; PORTILLO, M.; SHARON, I.; BOARETTO, E.; WEINER, S. Phytolith-rich layers from the Late Bronze and Iron Ages at Tel Dor (Israel): mode of formation and archaeological significance. **Journal of Archaeological Science**, v. 35, n. 1, p. 57-75, 2008.
- ALEXANDRE, A.; MEUNIER, J. D.; LÉZINE, A. M.; VINCENS, A.; SCHWARTZ, D. Phytoliths: indicators of grassland dynamics during the late Holocene in intertropical Africa. **Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology**, v. 136, p. 213-229, 1997.
- ALMEIDA, A. C. S.; VOLKMER-RIBEIRO, C.; VARAJÃO, A. F. D. C.; GOMES, N. S.; VARAJÃO, C. A. C. Espículas de esponjas continentais nos sedimentos Cenozóicos do noroeste de Minas Gerais, como indicadores paleoambientais. **Revista Brasileira de Paleontologia**, v. 12, n. 2, p. 123-138, 2009.
- AMAZONAS, N. T.; **Ciclagem de nitrogênio em uma cronosequência formada por florestas restauradas e floresta natural**. 2010. 93 f. Dissertação (Mestrado em Ciências) – Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2010.
- AN, X.; LU, H.; CHU, G. Surface soil phytoliths as vegetation and altitude indicators: a study from the southern Himalaya. **Scientific Reports**, 5:15523, p. 1-13, 2015.
- ARMITAGE, P. L. The extraction and identification of opal phytoliths from teeth of ungulates. **Journal of Archaeological Science**, v. 2, p. 187-197, 1975.
- ANDERSSON, A. J.; MACKENZIE, F. T.; LERMAN, A. Coastal Ocean and carbonate systems in the high CO₂ world of the Anthropocene. **American Journal of Science**, v. 305, p. 875-918, 2005.
- BADGAL, P.; CHOWDHARY, P.; BHAT, M. A.; SOODAN, A. S. Phytolith profile of *Acrachne racemosa* (B. Heyne ex Roem. & Schult.) Ohwi (Cynodonteae, Chloridoideae, Poaceae). **PLoS ONE**, v. 17, n. 2, e0263721, 2022.
- BAKER, G. Opal phytoliths in some Victorian soils and "red rain" residues. **Australian Journal of Botany**, v. 7, n. 1, p. 64-87, 1959.
- BARTH, O. M.; BARBOSA, H. S. MACIEIRA, E. G. Morfologia de pólen anemófilo e alergizante no Brasil VI – Graminae, Palmae, Typhaceae, Cupressaceae e Combretaceae. **Memórias do Instituto Oswaldo Cruz**, v.74, n. 3/4, p. 347-359, 1976.

BALL, T.; VRYDAGHS, L.; HAUWE, V. D.; MANWARING, J.; LANGHE, E. Differentiating banana phytoliths: wild and edible *Musa acuminata* and *Musa balbisiana*. **Journal of Archaeological Science**, v, 33, n. 9, p. 1228-1236, 2006.

BARBONI, D.; BREMOND, L. Phytoliths of East African grasses: An assessment of their environmental and taxonomic significance based on floristic data. **Review of Palaeobotany and Palynology**, v. 158, p. 29-41, 2009.

BARBONI, D.; BREMOND, L.; BONNEFILLE, R. Comparative study of modern phytolith assemblages from inter-tropical Africa. **Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology**, v. 246, n. 2-4, p. 454-470, 2007.

BARBONI, D.; BONNEFILLE, R.; ALEXANDRE, A.; MEUNIER, J.-D. Phytoliths as paleoenvironmental indicators, West Side Middle Awash Valley, Ethiopia. **Palaeogeography, Paleoclimatology, Paleoecology**, v.152, p.87-100, 1999.

BATISTA, G. N. **Taxonomia de esponjas de águas continentais do estado de Pernambuco**. 2012. 96 f. Dissertação (Mestrado em Biologia Animal) – Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2012.

BATISTA, T. C. A. **Esponjas (Porífera, Demospongiae) indicadoras ambientais na Apa Meandros do Rio Araguaia, Brasil**. 2007. 177 f. Tese (Doutorado em Ciências) - Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2007.

BATISTA, T. C. A.; VOLKMER-RIBEIRO, C. Comunidades de esponjas do curso superior dos rios Paraná (Goiás) e Paraguai (Mato Grosso), Brasil, com redescrição de *Oncosclera schubarti* (Bonetto e Ezcurra de Drago). **Revista Brasileira de Zoologia**, v. 19, n. 1, p. 123-136, 2002.

BATISTA, T. C. A.; VOLKMER-RIBEIRO, C.; DARWICH, A.; ALVES, L. F. Freshwater sponges as indicators of floodplain lake environments and of river rocky bottoms in Central Amazonia. **Amazoniana**, v. 17, n. 3-4, p. 525-549, 2003.

BATISTA, T. C. A.; VOLKMER-RIBEIRO, C.; MELÃO, M. G. G. Espongofauna da Área de Proteção Ambiental Meandros do rio Araguaia (GO, MT, TO), Brasil, com descrição de *Heteromeyenia sp. nov.* (Porifera, Demospongiae). **Revista Brasileira de Zoologia**, v. 24, n. 3, p. 608-630, 2007.

BAUERMANN, S. G.; NEVES, P. C. P. Métodos de estudos em Palinologia do Quaternário e de Plantas Atuais. **Cadernos La Salle**, Canoas, v. 2, p. 99-107, 2005.

BAUERMANN, S. G.; RADAESKI, J. N.; EVALDT, A. C. P.; QUEIROZ, E. P.; MOURELLE, D.; PRIETO, A. R.; SILVA, C. I. **Pólen nas angiospermas diversidade e evolução**. Canoas: Ed. ULBRA, 2013. 214 p.

BOVE, C. P. *Check-list* da família Podostemaceae do estado do Mato Grosso do Sul, Brasil. **Iheringia. Série Botânica**, v. 73 (supl.), p. 329-334, 2018.

BREARLEY, F. Q.; FINE, P. V. A.; PERREIJN, K. Does nitrogen availability have greater control over the formation of tropical heath forests than water stress? A hypothesis based on nitrogen isotope ratios. **Acta Amazonica**, v. 41, n. 4, p. 589-592, 2011.

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Mapa de Solos do Estado do Paraná**: Legenda Atualizada. 2º Ed. Rio de Janeiro: Embrapa Florestas, Embrapa Solos, IAPAR, 2008. 74p.

BIFFI, V. H. R. **Evolução de encosta em contexto de cabeceira de drenagem na bacia do rio Capão Grande - superfície geomórfica de cimeira de Pinhão/Guarapuava**. 2019. 192 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Francisco Beltrão, 2019.

BISSA, W. M.; YBERT, J.-P.; CATHARINO, E. L. M.; KUTNER, M. Evolução paleoambiental na planície costeira do Baixo Ribeira durante a ocupação sambaquieira. **Revista do Museu de Arqueologia e Etnologia**, v. 10, p. 89-102, 2000.

BONETTO, A. A.; EZCURRA DE DRAGO, I. D. Nuevos aportes al conocimiento de las esponjas argentinas. **Physis**, v. 26, n. 71, p. 129-140, 1966.

BONETTO, A. A.; EZCURRA DE DRAGO, I. D. Las esponjas del género *Trochospongilla Vejdovsky* en aguas argentinas. **Physis**, v. 32, n. 84, p. 13-18, 1973.

BOYADJIAN, C. H. C. **Microfósseis contidos no cálculo dentário como evidência do uso de recursos vegetais os sambaquis de Jabuticabeira II (SC) e Moraes (SP)**. 2007. 147 f. Dissertação (Mestrado em Ciências) – Universidade de São Paulo, São Paulo. 2007.

BREMOND, L. **Calibration des Fonctions de Transfert entre Assemblages Phytolithiques, Structure des Vegetations et Variables Bioclimatiques Actuelles, pour L'integration de la Ynamique des Biomes Herbaces Dans les Modeles de Vegetation**. 2003. 197 f. Docteur de l'Universite de Droit, d'Économie et des Sciences D'Aix-Marseille, Universite de Droit, D'Économie et des Sciences D'Aix-Marseille, Année, Thèse, 2003.

BREMOND, L.; ALEXANDRE, A.; VÉLA, E.; GUIOT, J. Advantages and disadvantages of phytolith analysis for the reconstruction of Mediterranean vegetation: an assessment based on modern phytolith, pollen and botanical data (Luberon, France). **Review of Palaeobotany and Palynology**, v. 129, n. 4, p. 213-228, 2004.

BREMOND, L.; ALEXANDRE, A.; HÉLY, C.; GUIOT, J. A phytolith index as a proxy of tree cover density in tropical areas: calibration with Leaf Area Index along a forest-savanna transect in southeastern Cameroon. **Global and Planetary Change**, v. 45, n.4, p.277-293, 2005a.

BREMOND, L.; ALEXANDRE, A.; PEYRON, O.; GUIOT, J. Grass water stress estimated from phytoliths in West Africa. **Journal of Biogeography**, v. 32, p.311–327, 2005b.

BRUSCA, R. C.; BRUSCA, G. J. **Invertebrados**. 2ª ed. Rio de Janeiro: Editora Guanabara Koogan, 2007.

CARVALHO, I. S. **Paleontologia**: conceitos e métodos. 3ª ed. Rio de Janeiro: Interciência, 2010. 734 p.

CAMPOS, A. C.; LABOURIAU, L. G. Corpos silicosos de gramíneas dos cerrados. II. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 4, p. 143-151, 1969.

CALEGARI, M. R.; PAISANI, S. D. L.; CECCHET, F. A.; EWALD, P. L. L.; OSTERRIETH, M. L.; PAISANI, J. C.; PONTELLI, M. E. Phytolith signature on the Araucarias Plateau e Vegetation change evidence in Late Quaternary (South Brasil). **Quaternary International**, v. 434, p. 117-128, 2017.

CAMARGO, O. A.; MONIZ, A. C.; JORGE, J. A.; VALADARES, J. M. A. S. **Métodos de Análise Química, Mineralógica e Física de Solos do Instituto Agrônomo de Campinas**. Campinas, Instituto Agrônomo, 2009. 77 p. (Boletim técnico, 106, Edição revista e atualizada).

CARTER, J. A.; LIAN, O. B. Palaeoenvironmental reconstruction from the last interglacial using phytolith analysis, southeastern North Island, New Zealand. **Journal of Quaternary Science**, v. 15, n. 7, p. 733-743, 2000.

CASSINO, R. F. **Reconstituição da vegetação e do clima do chapadão dos gerais durante o Holoceno, a partir da análise palinológica da vereda laçador**. 2011. 199 f. Dissertação (Mestrado em Geologia) – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2011.

CERVI, A. C.; BORGIO, M. Epífitos vasculares no Parque Nacional do Iguaçu, Paraná, (Brasil). Levantamento preliminar. **Fontqueria**, v. 51, n. 55, p. 415-422, 2007.

CHEVALIER, M.; HILLEY, G.; TAPPONNIER, P.; WOERD, J. V. D.; LIU-ZENG, J.; FINKEL, R. C.; RYERSON, F. J.; LI, H.; LIU, X. Constraints on the late Quaternary glaciations in Tibet from cosmogenic exposure ages of moraine surfaces. **Quaternary Science Reviews**, v. 30, p. 528-554, 2011.

CHUENG, K. F. **Reconstituição paleobiogeoclimática de áreas cársticas, arqueológicas e turfeiras na Serra do Espinhaço Meridional, MG, através de biomineralizações de sílica**. 2020. 199 f. Tese (Doutorado em Oceanografia) - Universidade Federal Fluminense, Niterói, 2020.

CHUENG, K. F.; COE, H. H. G.; FAGUNDES, M.; VASCONCELOS, A. M. C.; RICARDO, S. D. F. Reconstituição Paleoambiental da Área Arqueológica de Serra Negra, Face Leste do Espinhaço Meridional (Minas Gerais), através da Análise de Fitólitos. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 11, n. 7, p. 2260-2275, 2018.

CRUTZEN, P. J. Geology of mankind. **Nature**, v. 415, n. 23, 2002.

CRUTZEN, P. J.; STOERMER, E. F. The “Anthropocene”. **Global Change Newsletter**, n. 41, p. 17-18, 2000.

COE, H. H. G. **Fitólitos como indicadores de mudanças na vegetação xeromórfica da região de Búzios/Cabo Frio, RJ, durante o quaternário**. 2009. 304 f. Tese (Doutorado em Geologia e Geofísica marinha) – Universidade Federal Fluminense, Niterói, 2009.

COE, H. H. G.; ALEXANDRE, A.; CARVALHO, C. N.; SANTOS, G. M.; SILVA, A. S.; SOUZA, L. O. F.; LEPSCH, I. F. Changes in Holocene tree cover density in Cabo Frio (Rio de Janeiro, Brazil): Evidence from soil phytolith assemblages. **Quaternary International**, n. 287, p.63-72, 2013.

COE, H. H. G.; CHUENG, K. F.; GOMES, J. G. Reconstituições da vegetação e inferências de paleoclimas através da utilização dos indicadores fitólitos e isótopos de carbono – exemplos de estudos no Brasil. **Revista Geonorte**, Edição Especial, v.1, n.4, p.248-261, 2012.

COE, H. H. G.; GOMES, J. G.; CHUENG, K. F. Exemplos de reconstituições da vegetação e inferências de paleoclimas no estado do Rio de Janeiro através da utilização de biomineralizações de sílica (fitólitos) e isótopos de carbono. **Revista Tamoios**, v. 9, n. 1, p. 86-106, 2013.

COE, H. H. G.; RICARDO, S. F.; SOUSA, L. O. F.; DIAS, R. R. Caracterização de fitólitos de plantas e assembleias modernas de solo da caatinga como referência para reconstituições paleoambientais. **Quaternary and Environmental Geosciences**, v. 8, n. 2, p. 09-21, 2017.

COELHO, L. G.; BARTH, O. M. Morfologia polínica e habitat das espécies do gênero *Alchornea* (Euphorbiaceae) presentes nas matas de Santa Catarina, Sul do Brasil. **Revista Universidade de Guarulhos, Geociências**, v. 5, (nº especial), p. 228-230, 2000.

CONTRERAS, S.; ZUCOL, A. F.; MÉNDEZ, C.; ZURITA, A. Phytolith analysis in Pliocene-Pleistocene fluvial sediments from northeastern Argentina. **Journal of South American Earth Sciences**, n. 90, p. 296-313, 2019.

COSTA, C. R. **Reconstituição paleoambiental utilizando uma abordagem multi-proxy em um registro de turfeira tropical de montanha, Minas Gerais, Brasil**. 2018. 117 f. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) - Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri, Diamantina, 2018.

COSTA, F. G. C. M.; BOVE, C. P.; ARRUDA, R. C. O.; PHILBRICK, C. T. Silica bodies and their systematic implications at the subfamily level in Podostemaceae. **Rodriguésia**, v. 62, n. 4, p. 937-942, 2011.

COSTA, L. M.; KELLER, W. D.; JOHNS, W. D. Espículas de esponjas em solos de João Pinheiro, Minas Gerais; **Revista Ceres**, v. 39, n. 226, p. 597-603, 1992.

COSTA, L. M.; SANTOS, R. F.; SCHAEFER, C. E. G. R.; MOREAU, A. M. S. S.; MOREAU, M. S. Ocorrência de corpos silicosos em horizontes superficiais de solos de diferentes ecossistemas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 34, p. 871-879, 2010.

COUTO, W. H.; ANJOS, L. H. C.; PEREIRA, M. G.; GUARESCHI, R. F.; ASSUNÇÃO, S. A.; WADT, P. G. S. Carbono, Nitrogênio, Abundância Natural de $\Delta^{13}\text{C}$ e $\Delta^{15}\text{N}$ do Solo sob Sistemas Agroflorestais. **Floram Floresta e Ambiente**, v. 24, e00117614, 2017.

CRIFÒ, C.; STRÖMBERG, C. A. E. Small-scale spatial resolution of the soil phytolith record in a rainforest and a dry forest in Costa Rica: applications to the deep-time fossil phytolith record. **Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology**, v. 537, 109107, 2020.

DAS, S.; GHOSH, R.; PARUYA, D. K.; YAO, Y.; LI, C.; BERA, S. Phytolith spectra in respiratory aerial roots of some mangrove plants of the Indian Sunderbans and its efficacy in ancient deltaic environment reconstruction. **Quaternary International**, v. 325, p. 179-196, 2014.

DIAS, R.R.; COE, H.H.G.; VASCONCELOS, A.M.C.; CARVALHO, A.; MENDONÇA FILHO, C.V.; CHUENG, K.F.; RICARDO, S.D.F. & SOUSA, L.O.F. Fitólitos de plantas do cerrado. In: LEMOS, J. R. (Org.). **Os percursos da botânica e suas descobertas**, Ponta Grossa: Atena, p. 98-116, 2020.

DICKAU, R.; WHITNEY, B. S.; IRIARTE, J.; MAYLE, F. E.; SOTO, D.; METCALFE, P.; STREET-PERROTT, F. A.; LOADER, N. J.; FICKEN, K. J.; KILLEEN, T. J. Differentiation of neotropical ecosystems by modern soil phytolith assemblages and its implications for palaeoenvironmental and archaeological reconstructions. **Review of Palaeobotany and Palynology**, v. 193, p. 15-37, 2013.

DIESTER-HAASS, L.; SCHRADER, H. -J.; THIEDE, J. Sedimentological and paleoclimatological investigations of two pelagic ooze cores off Cape Barbas, North-West Africa. **Meteor Forshungergebnisse**, v.16, p.19–66, 1973.

DOCIO, L.; PAROLIN, M.; PINHEIRO, U. A contribution to adequate use of freshwater sponges as a proxy in paleoenvironmental studies. **Zootaxa**, n. 4, v. 4915, p. 506-528, 2021a.

DOCIO, L.; RASBOLD, G. G.; CARVALHO da SILVA, A. L.; PAROLIN, M.; CAXAMBU, M. G.; PINHEIRO, U. An assessment of the wealth of information given by sponge spicules as a paleoenvironmental tool: The case of two lakes in northeast (Brazil). **Journal of South American Earth Sciences**, v. 107, p. 103099, 2021b.

DORMAAR, J. F.; LUTWICK, L. E. Infrared spectra of humic acids and opal phytoliths as indicators of palaeosols. **Canadian Journal of Soil Science**, v. 49, p.29-37, 1969.

DUTTON, A.; CARLSON, A. E.; LONG, A. J.; MILNE, G. A.; CLARK, P. U.; DECONTO, R.; HORTON, B. P.; RAHMSTORF, S.; RAYMO, M. E. Sea-level rise due to polar ice-sheet mass loss during past warm periods. **Science**, v. 349, n. 6244, p. aaa4019-1 - aaa4019-9, 2015.

EHRlich, H.; KALUZHNAJA, O.; BRUNNER, E.; TSURKAN, M. V.; ERESKOVSKY, A.; ILAN, M.; TABACHNICK, K. R.; BAZHENOV, V. V.; PAASCH, S.; KAMMER, M.; BORN, R.; STELLING, A.; GALLI, R.; BELIKOV, S.; PETROVA, O. V.; SIVKOV, V. V.; VYALIKH, D.; HUNOLDT, S.; WÖRHEIDE, G. Identification and first insights into the structure and biosynthesis of chitin from the freshwater sponge *Spongilla lacustris*. **Journal of Structural Biology**, v. 183, n. 3, p. 474-483, 2013.

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Manual de métodos de análise de solo**. 2.ed. Rio de Janeiro: Ministério da Agricultura e Abastecimento, 1997. 212 p.

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Centro Nacional de Pesquisa de solos. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 2.ed. Rio de Janeiro: EMBRAPA-SPI, 2006, 306 p.

EWALD, P. L. L. F. **Análise da assembleia fitolítica do solo aplicada no Holoceno Médio:** caso da Estação Ecológica da Mata Preta – Abelardo Luz (SC). 2015. 112 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Francisco Beltrão, 2015.

EZCURRA DE DRAGO, I. Distribución geográfica de las esponjas argentinas (Porifera: Spongillidae, Potamolepidae y Metaniidae). Relaciones zoogeográficas, vías de poblamiento. In: BOLTOVKOY, A.; LÓPEZ, Y. H. (eds.) **Conferencias de Limnología**, Buenos Aires: Argentina, p. 115-125, 1993.

FAEGRI, K.; IVERSEN, J. **Textbook of pollen analysis**. Blackwell Scientific Publications, 1975.

FENG, Y.; JIE, D.; GUO, M.; DONG, S.; CHEN, X.; LIU, H.; LIU, L.; LI, N. Phytolith loss and enrichment in soil phytolith assemblages revealed by comparisons of phytoliths in vegetation and surface soils of altitudinal belts in the Changbai Mountains, Northeast China. **Flora**, v. 236-237, p. 84-93, 2017.

FERREIRA, M. M. Caracterização física do solo. In: VAN LIER, Q. de J. **Física do solo**. 1. ed. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, p. 1-27, 2010.

FISHKIS, O.; INGWERSEN, J. STRECK, T. Phytolith transport in sandy sediment: Experiments and modeling. **Geoderma**, v. 151, n. 3-4, p. 168-178, 2009.

FOLGER, D. W.; BURCKLE, L. H.; HEEZEN, B. C. Opal phytoliths in a north Atlantic dust fall. **Science**, v. 155, p. 1243-1244, 1967.

FONSECA-SILVA, F. M. **Reconstituição paleoambiental com base na assembléia palinoflorística e palinofácies de sedimentos holocênicos do Parque Estadual do Rio Doce – MG**. 2017. 232 f. Tese (Doutorado em Ciências Naturais) – Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2017.

FONSECA-SILVA, F. M.; CARVALHO, M. A.; RIBEIRO, S. P. Palynological evidence of vegetation change during the last 10,000 years in the mid-valley of the Rio Doce, Brazil. **Acta Botanica Brasilica**, v. 33, n. 1, p. 29-38, 2019.

FONTANA, J. L. Aspectos ecológicos y nuevas citas de *Apinagia yguazuensis* (Podostemaceae). **Boletín de la Sociedad Argentina de Botánica**, v. 43, n. 3-4, p. 269-272, 2008.

FREDLUND, G. G.; TIESZEN, L. T. Modern Phytolith Assemblages from the North American Great Plains. **Journal of Biogeography**, v. 21, n.3, p.321-335, 1994.

GAISER, E. E.; BROOKS, M. J.; KENNEY, W. F.; SCHELSKE, C. L.; TAYLOR, B. E. Interpreting the Hydrological history of temporary ponds from chemical and microscopic characterization of siliceous microfossils. **Journal of Paleolimnology**, v. 31, p. 63-76, 2004.

GALAASEN, E. V.; NINNERNANN, U. S.; IRVALI, N.; KLEIVEN, H. F.; ROSENTHAL, Y.; CATHERINE, K.; HODELL, D. A. Rapid Reductions in North Atlantic Deep Water During the Peak of the Last Interglacial Period. **Science**, v. 343, n. 6175, p. 1129-1132, 2014.

GAO, G.; JIE, D.; WANG, Y.; LIU, L.; LIU, H.; LI, D.; LI, N.; SHI, J.; LENG, C. Phytolith reference study for identifying vegetation changes in the forest-grassland region of northeast China. **Boreas**, v. 47, n. 2, p. 481-497, 2018.

GARCIA, M. J. Palinologia de turfeiras quaternárias do Médio Vale do Rio Paraíba do Sul, estado de São Paulo, Brasil. Parte I: Fungos, Algas, Briófitas e Pteridófitas. **Revista Universidade de Guarulhos – Geociências**, v. II (nº especial), p. 148-165, 1997.

GARCIA, M. J. Palinologia de turfeiras quaternárias do Médio Vale do Rio Paraíba do Sul, Estado de São Paulo, Brasil. Parte II: Gymnospermae e Magnoliophyta. **Revista Universidade de Guarulhos – Geociências**, v. 3, n. 6, 84-107, 1998.

GARCÍA-RODRÍGUEZ, F.; STUTZ, S.; INDA, H.; PUERTO, L.; BRACCO, R.; PANARIO, D. A multiproxy approach to inferring Holocene paleobotanical changes linked to sea-level variation, paleosalinity levels, and shallow lake alternative states in Negra Lagoon, SE Uruguay. **Hydrobiologia**, v. 646, p. 5-20, 2010.

GARNIER, A.; NEUMANN, K.; EICHHORN, B.; LESPEZ, L. Phytolith taphonomy in the middle- to late-Holocene fluvial sediments of Ounjougou (Mali, West Africa). **The Holocene**, v. 23, p. 416-431, 2013.

GE, Y.; JIE, D. M.; GUO, J. X.; LIU, H. M.; SHI, L. X. Response of phytoliths in *Leymus chinensis* to the simulation of elevated global CO₂ concentrations in Songnen Grassland, China. **Chinese Science Bulletin**, v. 55, n. 32, p. 3703-3708, 2010.

GEORGE, A. M.; BRODIE, J.; DANIELL, J.; CAPPER, A.; JONKER, M. Can sponge morphologies act as environmental proxies to biophysical factors in the Great Barrier Reef, Australia? **Ecological Indicators**, v. 93, p. 1152-1162, 2018.

GOLOVATI, D. **Mudanças paleoambientais ocorridas durante o Holoceno nos municípios de Campo Mourão e Cianorte-PR**. 2015. 68 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Universidade Estadual de Maringá, Maringá, 2015.

GOLOVATI, D.; MONTEIRO, M. R.; PAROLIN, M. Assembleia fitolítica presente em solo superficial e serapilheira na Estação Ecológica do Cerrado, Campo Mourão, Paraná. In: I Simpósio Nacional de Métodos e Técnicas na Geografia e XXII Semana de Geografia UEM. **Anais...**2013.

GONÇALVES, A. C. **Estratigrafia e o uso de palinomorfos em um estudo da dinâmica sedimentar de formação da ilha Mutum, alto rio Paraná, Brasil**. 2014. 56 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais) – Universidade Estadual de Maringá, Maringá, 2014.

GOSLAR, T.; ARNOLD, M.; PAZDUR, M. The Younger Dryas cold event-was it synchronous over the North Atlantic region? **Radiocarbon**, v. 37, n. 1, p. 63-70, 1995.

GU, Y.; PEARSALL, D. M.; XIE, S.; YU, J. Vegetation and fire history of a Chinese site in southern tropical Xishuangbanna derived from phytolith and charcoal records from Holocene sediments. **Journal of Biogeography**, v. 35, p. 325-341, 2008.

GU, Y.; LIU, H.; WANG, H.; LI, R.; YU, J. Phytoliths as a method of identification for three genera of woody bamboos (Bambusoideae) in tropical southwest China. **Journal of Archaeological Science**, v. 68, p. 46-53, 2016.

HALL, K. V.; HERRMANN, S. J. Paleolimnology of three species of fresh-water sponges (Porifera:Spongilidae) from a sediment core of a Colorado semidrainage mountain lake. **Transactions of the American Microscopical Society**, v. 99, n. 1, p. 93-100, 1980.

HAMMER, Ø.; HARPER, D. A. T.; RYAN, P. D. Past: Paleontological Statistics Software Sackage for Education and Data Analysis. **Palaeontologia Electronica**, v. 4, n. 1, 2001.

HARRISON, F. W. Utilization of freshwater sponges in paleolimnological studies. **Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology**, v. 62, p. 387-397, 1988.

HARRISON, F. W.; GLEASON, P. J.; STONE, P. A. Paleolimnology of lake Okeechobee, Florida: an analysis utilizing specular components of freshwater sponges (Porifera: spongillidae). **Notulae Naturae**, v. 454, p. 1-6, 1979.

HAYES, C. T.; MARTÍNEZ-GARCÍA, A.; HASENFRATZ, A. P.; JACCARD, S. L.; HODELL, D. A.; SIGMAN, D. M.; HAUG, G. H.; ANDERSON, R. F. A stagnation event in the deep South Atlantic during the last interglacial period. **Science**, v. 346, n. 6216, p. 1514-1517, 2014.

HODSON, M. J. The development of phytoliths in plants and its influence on their chemistry and isotopic composition. Implications for palaeoecology and archaeology. **Journal of Archaeological Science**, v. 68, p. 62-69, 2016.

HONAINÉ, M. F.; ZUCOL, A.; OSTERRIETH, M. Phytolith analysis of Cyperaceae from the Pampean Region, Argentina. **Australian Journal of Botany**, v. 57, p. 512-523, 2009.

HORÁK, I. **Relações pedológicas, isotópicas e palinológicas na reconstrução paleoambiental da turfeira da Área de Proteção Especial (APE) Pau-de-Fruta, Serra do Espinhaço Meridional – MG.** 2009. 281 f. Dissertação (Mestrado em Ciências) – Universidade de São Paulo - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Piracicaba, 2009.

HORROCKS, M.; DENG, Y.; OGDEN, J.; SUTTON, D. G. A reconstruction of the history of a Holocene sand dune on Great Barrier Island, northern New Zealand, using pollen and phytolith analyses. **Journal of Biogeography**, v. 27, p. 1269–1277, 2000.

IRIARTE, J. Vegetation and climate change since 14,810 ¹⁴C yr B.P. in southeastern Uruguay and implications for the rise of early Formative societies. **Quaternary Research**, v. 65, n.1, p. 20-32, 2006.

IRIARTE, J.; PAZ, E. A. Phytolith analysis of selected native plants and modern soils from southeastern Uruguay and its implications for paleoenvironmental and archeological reconstruction. **Quaternary International**, v.193, p. 99-123, 2009.

ITCG – Instituto de Terras, Cartografia e Geociências. **Formações Fitogeográficas – Estado do Paraná.** Curitiba: ITCG, 2009. 1 Mapa. Escala 1:2.000.000.

JIANG, Q. Searching for evidence of early rice agriculture at prehistoric sites in China through phytolith analysis: an example from central China. **Review of Palaeobotany and Palynology**, v. 89, p. 481-485, 1995.

JOHNSON, R. A.; WICHERN, D. W. **Applied Multivariate Statistical Analysis**. New Jersey: Prentice Hall, 2002.

KALINOVSKI, E. C. Z.; PAROLIN, M.; SOUZA FILHO, E. E. Esponjas de água doce na América do Sul: o estado da arte da produção científica no Brasil. **Terrae Didactica**, v. 12, n.1, p. 4-18, 2016.

KALINOVSKI, E. C. Z.; PAROLIN, M.; SOUZA FILHO, E. E. Paleoambientes quaternários da planície do rio Iapó, Castro, Paraná. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 9, n. 05, p. 1543-1558, 2016.

KATZ, O.; CABANES, D.; WEINER, S.; MAEIR, A.; BOARETTO, E.; SHAHACK-GROSS, R. Rapid phytolith extraction for analysis of phytolith concentrations and assemblages during an excavation: an application at Tell es-Safi/Gath, Israel. **Journal of Archaeological Science**, v. 37, n. 7, p. 1557-1563, 2010.

KEALHOFER, L. The Human Environment During the Terminal Pleistocene and Holocene in Northeastern Thailand: Phytolith Evidence from Lake Kumphawapi. **Asian Perspectives**, v. 35, n. 2, p. 229-254, 1996.

KERNS, B. K. Diagnostic phytoliths for a Ponderosa Pine-Bunchgrass community near flagstaff, Arizona. **The Southwestern Naturalist**, v. 46, n. 3, p. 282-294, 2001.

KONDO, R.; CHILDS, C.; ATKINSON, I. **Opal Phytoliths of New Zealand**: Manaaki Whenua Press, 1994.

KUERTEN, S.; PAROLIN, M.; ASSINE, M. L.; MCGLUE, M. M. Sponge spicules indicate Holocene environmental changes on the Nabileque River floodplain, southern Pantanal, Brazil. **Journal of Paleolimnology**, v. 49, n. 2, p. 171-183, 2012.

LADCHUK, D. P. P. T.; PAROLIN, M.; BAUERMANN, S. G. Recuperação de palinóforos e dados isotópicos ($\delta^{13}\text{C}$ e $\delta^{15}\text{N}$) em sedimentos turfosos e seu significado paleoambiental para a região de Campo Mourão/PR. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 9, n. 4, p. 1183-1196, 2016.

LEANDRINI, J.A.; ADEMILSON, V.C.; RODRIGUES, L. Diatomáceas. In: PAROLIN, M.; VOLKMER-RIBEIRO, C.; LEANDRINI, J. A. (Orgs). **Abordagem ambiental interdisciplinar em bacias hidrográficas no Estado do Paraná**. Campo Mourão: Editora da Fecilcam, 2010. p. 131-158.

LEITE, J. C. Do mistério das eras do gelo às mudanças climáticas abruptas. **Scientiae Studia**, v. 13, n. 4, p. 811-839, 2015.

LIBBY, W. F. **Radiocarbon dating**. 2 ed. Chicago: University of Chicago Press, 1955. 175 p.

LIMA, C. M. **Dinâmica da vegetação e inferências climáticas no Quaternário Tardio na região da Ilha de Marajó (PA), empregando os isótopos do carbono (^{12}C , ^{13}C , ^{14}C) da matéria orgânica de solos e sedimentos**. 2008. 182 f. Dissertação (Mestrado em Ciências) – Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2008.

LONGHI-WAGNER, H. M. Diversidade florística dos campos sul brasileiros. In: JARDIM, M.A.G.; BASTOS, M.N.C.; SANTOS, J.U.M. (Ed.). **Desafios da botânica no novo milênio: inventário, sistemática e conservação da diversidade vegetal**. Belém: Sociedade Botânica do Brasil. p. 117-120, 2003.

LORENTE, F. L.; PESSENDA, L. C. R.; CALEGARI, M. R.; COHEN, M. C. L.; ROSSETTI, D.; GIANNINI, P. C. F.; BUSO JUNIOR, A. A.; CASTRO, D. F.; FRANÇA, M. C.; BENDASSOLLI, J. A.; MACARIO, K. Fitólitos como indicadores de mudanças ambientais durante o Holoceno na costa norte do estado do Espírito Santo (Brasil). **Quaternary and Environmental Geosciences**, v. 6, n. 1, p. 26-40, 2015.

LORSCHUITTER, M. L.; ASHRAF, A. R.; BUENO, R. M. MOSBRUGGER, V. Pteridophytespores of Rio Grande do Sul flora, Brazil, Parte I. **Palaeontographica**, Abt. B, v. 246, p. 1-113, 1998.

LORSCHUITTER, M. L.; ASHRAF, A. R.; BUENO, R. M.; MOSBRUGGER, V. Pteridophytespores of Rio Grande do Sul flora, Brazil, Part II. **Palaeontographica**, Abt. B, v. 251, p. 1-235, 1999.

LU, H.; LIU, K. Phytoliths of common grasses in the coastal environments of southeastern USA. **Estuarine, Coastal and Shelf Science**, v. 58, n. 3, p. 587-600, 2003.

LU, H. Y.; WU, N. Q.; LIU, K. B.; JIANG, H.; LIU, T. S. Phytoliths as quantitative indicators for the reconstruction of past environmental conditions in China II: palaeoenvironmental reconstruction in the Loess Plateau. **Quaternary Science Reviews**, v. 26, p. 759-772, 2007.

LUZ, L. D.; KALINOVSKI, E. C. Z.; PAROLIN, M.; SOUZA FILHO, E. E. Estágio Atual do Conhecimento sobre Fitólitos no Brasil. **Terrae Didactica**, v. 11, n.1, p. 52-64, 2015.

LUZ, L. D.; PAROLIN, M.; PESSENDA, L. C. R.; RASBOLD, G. G.; LO, E. Multiproxy analysis (phytoliths, stable isotopes, and C/N) as indicators of paleoenvironmental changes in a Cerrado site, Southern Brazil. **Revista Brasileira de Paleontologia**, v. 22, n. 1, p. 15-29, 2019.

MACEDO, R. S.; MADELLA, M.; CALEGARI, M. R.; TEIXEIRA, W. G.; MARTINS, G. C.; VIDAL-TORRADO, P. Coleção de referência de fitólitos de plantas como subsídio para identificação e classificação de fitólitos em solos. In: XXXV Congresso Brasileiro de Ciência do Solo. **Anais...** Natal, RN, 2015. p. 1-4. Disponível em: <<https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/131243/1/2015-049.pdf>>. Acesso em: 20 jan. 2020.

MADELLA, M. Phytoliths: a terrestrial botanical dataset for palaeoenvironmental reconstructions. **Geophysical Research**, 9:060057, 2007.

MADELLA, M.; ALEXANDRE, A.; BALL, T. International code for phytolith nomenclature 1.0. **Annals of Botany**, v. 96, n. 2, p. 253-260, 2005.

MADELLA, M.; LANCELOTTI, C. Taphonomy and phytoliths: A user manual. **Quaternary International**, v. 275, p. 76-83, 2012.

MANCONI, R.; PRONZATO, R. Sub-order Spongillina subord. nov.: Freshwater sponges. In: HOOPER, J.N.A.; VAN SOEST, W. M. (eds.), **Systema Porifera: A guide to the Classification of Sponges**, New York, Kluwer Academic/Plenum Publishing, p. 921-1019, 2002.

MARTIN, L.; FOURNIER, M.; MOURGUIART, P. H.; SIFEDINE, A.; TURCQ, B. Some climatic alterations recorded in South America during the last 7000 years may be expounded by long-term El Niño like conditions. In: PALEO ENSO RECORDS, **Resumos Expandidos**, Peru, p. 187-192, 1992.

MARTÍNEZ, G. A.; MAZZANTI, D. L.; QUINTANA, C.; ZUCOL, A. F.; COLOBIG, M. M.; HASSAN, G. S.; BREA, M.; PASSEGGI, E. Geoarchaeological and Paleoenvironmental context of the human settlement in the Eastern Tandilia Range, Argentina. **Quaternary International**, v. 299, p. 23-37, 2013.

MARTINS, C. S. **Taxonomia e distribuição das esponjas (Porifera: Spongillida) do rio Xingu**. 2016. 113 f. Dissertação (Mestrado em Biologia Animal) - Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2016.

MATOS, F. B. **Samambaias e Licófitas da RPPN Serra Bonita, Município de Camacan, Sul da Bahia, Brasil**. 2009. 237 f. Dissertação (Mestrado em Botânica) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2009.

MAZUMDAR, J. Phytoliths of pteridophytes. **South African Journal of Botany**, v. 77, n. 1, p. 10-19, 2011.

MEDEANIC, S.; CORDAZZO, C. V.; CORRÊA, I. C. S.; MIRLEAN, N. Os Fitólitos em Gramíneas de Dunas do Extremo Sul do Brasil: Variabilidade Morfológica e Importância nas Reconstruções Paleoambientais Costeiras. **Gravel**, v. 6, n. 2, p. 1-14, 2008.

MERCADER, J.; BENNETT, T.; ESSELMONT, C.; SIMPSON, S.; WALDE, D. Phytoliths in woody plants from the Miombo woodlands of Mozambique. **Annals of Botany**, v. 104, p. 91-113, 2009.

MERCADER, J.; BENNETT, T.; ESSELMONT, C.; SIMPSON, S.; WALDE, D. Soil phytoliths from miombo woodlands in Mozambique. **Quaternary Research**, v. 75, n. 1, p. 138-150, 2011.

MINEROPAR. **Atlas Geológico do Estado do Paraná**. 2001. Minerais do Paraná, Curitiba. 2001. 125 p. CD ROM.

MINEROPAR. **Atlas Geomorfológico do Estado do Paraná**. Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2006. 63 p.

MONTEIRO, M. R. **Paleoambientes indicados através da análise de fitólitos e $\delta^{13}\text{C}$ em sedimentos turfosos nos Campos Gerais do Estado do Paraná.** 2012. 61 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Ambiental) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campo Mourão, 2012.

MONTEIRO, M. R.; PEREIRA, J. S. R.; RASBOLD, G. G.; PAROLIN, M.; CAXAMBU, M. G. Morfologia de fitólitos característicos de duas espécies de Arecaceae do bioma Mata Atlântica: *Bactris setosa* Mart. e *Geonoma schottiana* Mart. **Revista de Biologia Neotropical**, v. 9, n. 1, p. 10-18, 2012.

MONTEIRO, M. R. **Análise da composição fitolítica da serrapilheira e solo como indicador de alterações ambientais em diferentes estratos arbóreos no Paraná.** 2015. 101 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Universidade Estadual de Maringá, Maringá, 2015.

MONTEIRO, M. R. **Paleoclimas e paleoambientes com base em determinações *multiproxy* em sedimentos lacustres de Jardim/MS, Nhecolândia/MS e Parque Nacional do Iguaçu/PR.** 2020. 140 f. Tese (Doutorado em Geografia) – Universidade Estadual de Maringá, Maringá, 2020.

MONTEIRO, M. R.; PAROLIN, M.; CAXAMBU, M. G. Análise da assembleia fitolítica em solo superficial e serrapilheira em dois fragmentos de cerrado em área urbana de Campo Mourão – Paraná. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 8, n. 4, p. 1256-1272, 2015.

MONTEIRO, M. R.; PAROLIN, M.; CAXAMBU, M. G. Primeiras considerações paleoambientais da lagoa azul no Parque Nacional do Iguaçu, Paraná. In: IV ENCONTRO REGIONAL DE GEOGRAFIA E XXVI SEMANA DE GEOGRAFIA, 2018, Maringá. **Anais...** Maringá: UEM, 2018. p. 448-455.

MOTOMURA, H.; FUJII, T.; SUSUKI, M. Silica deposition in relation to ageing of leaf tissues in *Sasa veitchii* (Carriere) Rehder (Poaceae, Bambusoideae). **Annals of Botany**, v. 93, p.235–248, 2004.

MOURA, A. Espongilídeos fósseis no diatomito de Azenhas do Vale de Atela (Alpiarça). **Memórias e Notícias**, Coimbra, v. 46, p. 23-33, 1958.

MONTTI, L.; HONAINÉ, M. F.; OSTERRIETH, M.; RIBEIRO, D. G. Phytolith analysis of *Chusquea ramosissima* Lindm. (Poaceae: Bambusoideae) and associated soils. **Quaternary International**, v. 193, p. 80-89, 2009.

MORALES, L. J. R. **Reconstrução de paleoambientes do Quaternário Tardio da Amazonia e do Nordeste do Brasil a partir do testemunho marinho GeoB16202-2 usando como indicadores a distribuição molecular e composição isotópica ($\delta^{13}\text{C}$ e δD) de n-alcanos e ácidos graxos de cadeia longa.** 2021. 97 f. Tese (Doutorado em Química) - Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2021.

MOZER, J. H. **Coleção de referência de fitólitos e reconstituição paleoambiental da Floresta Ombrófila Densa Altomontana no Parque Estadual Carlos Botelho - SP.** 2021. 212 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Marechal Cândido Rondon, 2021.

MULHOLLAND, S. C. Phytolith Shape Frequencies in North Dakota Grasses: A Comparison to General Patterns. **Journal of Archaeological Science**, v.16, pp.489-511, 1989.

NASCIMENTO JÚNIOR, A. L.; SOUZA, L. S.; SILVA, E. O.; SILVA, F. T. S.; SANTOS, N. A. C.; SOUZA, P. P.; VIEIRA, A. L.; SANTANA JÚNIOR, J. J.; CONCEIÇÃO, T. A.; ALVES, M. C. S.; LIMA, A. P. J. Concentrações de dispersantes químicos e tempos de contato na dispersão de solos representativos do estado da Bahia. **Magistra**, v. 26, n. 1, p. 68-74, 2014.

NAWAZ ALI, S.; BISWAS, R. H.; SHUKLA, A. D.; JUYAL, N. Chronology and climatic implications of Late Quaternary glaciations in the Goriganga valley, central Himalaya, India. **Quaternary Science Reviews**, v. 73, p. 59-76, 2013.

NEUMANN, K.; STRÖMBERG, C. A. E.; BALL, T.; ALBERT, R. M.; VRYDAGHS, L.; CUMMINGS, L. S. International Code for Phytolith Nomenclature (ICPN) 2.0. **Annals of Botany**, v. XX, p. 1-11, 2019.

NEVES, P. C. P.; LORSCHREITER, M. L. Palinologia de sedimentos de uma mata tropical paludosa em Terra de Areia, planície costeira Norte, Rio Grande do Sul, Brasil. Descrições taxonômicas. Parte II: Gimnospermas e Angiospermas. **Acta Geologica Leopoldensia**, v. 36, p. 83-114, 1992.

NEVES, P. C. P.; LORSCHREITER, M. L. Palinologia de sedimentos de uma mata tropical paludosa em Terra de Areia, planície costeira Norte, Rio Grande do Sul, Brasil. Descrições taxonômicas. Parte I: Fungos, Algas, Briófitas, Pteridófitos, palinomorfos e outros fragmentos de invertebrados. **Acta Geologica Leopoldensia**, v. 41, p. 45-82, 1995.

NIELSEN, L. T.; AÐALGEIRSDÓTTIR, G.; GKINIS, V.; NUTERMAN, R.; HVIDBERG, C. S. The effect of a Holocene climatic optimum on the evolution of the Greenland ice sheet during the last 10 kyr. **Journal of Glaciology**, v. 64, n. 245, p. 477-488, 2018.

NUNES, S. P. D. Q. **A dinâmica dos manguezais durante o holoceno tardio na foz do rio ceará-mirim, Rio Grande do Norte**. 2020. 56 f. Dissertação (Mestrado em Geologia e Geoquímica) - Universidade Federal do Pará, Belém, 2020.

OLIVER, T. S. N.; KENNEDY, D. M.; TAMURA, T.; MURRAY-WALLACE, C. V.; KONLECHNER, T. M.; AUGUSTINUS, P. C.; WOODROFFE, C. D. Interglacial-glacial climatic signatures preserved in a regressive coastal barrier, southeastern Australia. **Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology**, v. 501, p. 124-135, 2018.

OROMBELLI, G.; MAGGI, V.; DELMONTE, B. Quaternary stratigraphy and ice cores. **Quaternary International**, v. 219, p. 55-65, 2010.

PAISANI, S. D. L.; PAISANI, J. C.; OSTERRIETH, M. L.; PONTELLI, M. E. Significado paleoambiental de fitólitos em registro pedoestratigráfico de paleocabeceira de drenagem - superfície de Palmas - Água doce (sul do Brasil). **Geociências**, v. 35, n. 3, p. 426-442, 2016.

PAROLIN, M. **Paleoambientes e paleoclimas no final do Pleistoceno e no Holoceno no Sudeste do Estado do Mato Grosso do Sul**. 2006, 121 f. Tese (Doutorado em Ciências Ambientais) - Universidade Estadual de Maringá, Maringá, 2006.

PAROLIN, M.; VOLKMER-RIBEIRO, C.; STEVAUX, J. C. Sponge spicules in peaty sediments as paleoenvironmental indicators of the Holocene in the upper Paraná river, Brazil. **Revista Brasileira de Paleontologia**, v. 10, n. 1, p. 17-26, 2007.

PAROLIN, M.; VOLKMER-RIBEIRO, C.; STEVAUX, J. C. Use of Spongofacies as a proxy for river-lake paleohydrology in Quaternary deposits of central-western Brazil. **Revista Brasileira de Paleontologia**, v. 11, n. 3, p. 187-198, 2008.

PAROLIN, M.; MEDEANIC, S.; STEVAUX, J. C. Registros palinológicos e mudanças ambientais durante o Holoceno de Taquarussu (MS). **Revista Brasileira de Paleontologia**, v. 9, n. 1, p. 137-148, 2006.

PAROLIN, M.; MONTEIRO, M. R.; COE, H. H. G.; COLAVITE, A. P. Considerações Paleambientais do Holoceno Médio por Meio de Fitólitos na Serra do Cadeado, Paraná. **Revista do Departamento de Geografia USP**, v. Especial, p. 96-103, 2017.

PAROLIN, M.; RASBOLD, G. G.; PESSENDA, L. C. R. Reconstituição paleoambiental utilizando isótopos estáveis do C e N e fitólitos em turfeira na região de Campo Mourão/PR Brasil. In: XIII Congresso da Associação Brasileira de Estudos do Quaternário ABEQUA. **Anais...**2011. Disponível em: <<http://www.abequa.org.br/trabalhos/parolin2011.pdf>>. Acesso em: 23 jun. 2018.

PAROLIN, M.; STEVAUX, J. C. Clima Seco e Formação de Dunas Eólicas durante o Holoceno Médio em Taquaruçu, Mato Grosso do Sul. **Pesquisas em Geociências**, v. 28, p. 233-243, 2001.

PARR, J. F.; SULLIVAN, L. A. Soil carbon sequestration in phytoliths. **Soil Biology & Biochemistry**, v. 37, n. 1, p. 117-124, 2005.

PELOGGIA, A. U. G. **O homem e o ambiente geológico**: geologia, sociedade e ocupação urbana no município de São Paulo. São Paulo, Ed. Xamã, 1998.

PEREIRA, W. M. A. **Sistema pedológico e reconstrução paleoambiental em depressões nos Tabuleiros Costeiros do Extremo Sul da Bahia**. 2019. 89 f. Dissertação (Mestrado em Ciências) – Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2019.

PEREIRA, J. S. R.; PAROLIN, M.; MONTEIRO, M. R.; CAXAMBU, M. G.; RASBOLD, G. G. Caracterização morfológica dos fitólitos de *Butia microspadix* Burret (Arecaceae). **Revista de Ciências Ambientais**, v.7, n.1, p. 59-66, 2013.

PEREIRA, J. S. R.; MONTEIRO, M. R.; PAROLIN, M.; CAXAMBU, M. G. Characterization of Phytoliths in Eight Species of Arecaceae in the State of Paraná, Brazil. In: COE, H. H. G.; OSTERRIETH, M. Synthesis of Some Phytolith Studies in South America (Brazil and Argentina). **New York Nova Science Publishers**, 2014.

PESSENDA, L. C. R.; OLIVEIRA, P. E.; MOFATTO, M.; MEDEIROS, V. B.; GARCIA, R. J. F.; ARAVENA, R.; BENDASSOLI, J. A.; LEITE, A. Z.; SAAD, A. R.; ETCHEBEHERE, M. L. The evolution of a tropical rainforest/grassland mosaic in southeastern Brazil since 28,000 14C yr BP based on carbon isotopes and pollen records. **Quaternary Research**, v.71, p. 437-452, 2009.

PESSENDA, L. C. R. Os isótopos estáveis do Carbono e os distintos tipos de vegetação. In: STEVAUX, J.C.; PAROLIN, M. Síntese do Período Quaternário do Estado do Paraná. In: PAROLIN, M.; VOLKMER-RIBEIRO, C.; LEANDRINI, J.A. (Orgs.). **Abordagem ambiental interdisciplinar em bacias hidrográficas no Estado do Paraná**. Campo Mourão: Editora da Fecilcam, 2010. Box. 2.3, p.53.

PETERSON, B. J.; HOWARTH, R. W. Sulfur, carbon, and nitrogen isotopes used to trace organic matter flow in the salt-marsh estuaries of Sapelo Island, Georgia. **Limnology and Oceanography**, v. 32, p. 1195-1213, 1987.

PETERSON, B. J.; FRY, B. Stable isotopes in ecosystem studies. **Annual Review of Ecology and Systematics**, v. 18, p. 293-320, 1987.

PINHEIRO, U. S. **Contribuições a Taxonomia e Biogeografia das Esponjas de Águas Continentais Brasileiras**. 2007. 220 f. Tese (Doutorado em Ciências Biológicas) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro: Museu Nacional, 2007.

PINHEIRO, U.; DOCIO, L.; NICACIO, G.; HAJDU, E. A reassessment of neotropical species of *Corvospongilla* (Porifera: Spongillidae). **Journal of Natural History**, v. 47, n. 37-38, p. 1-12, 2013.

PINHEIRO, U.; NICACIO, G. Resurrection and redefinition of the genus *Tubella* (Porifera: Spongillidae) with a worldwide list of valid species. **Zootaxa**, 3269, p. 65-68, 2012.

PINHEIRO, U. S.; HAJDU, E.; CABALLERO, M. E. Três novos registros de esponjas (Porifera, Demospongiae) para águas continentais do estado de São Paulo. **Boletim do Museu Nacional, Nova Série, Zoologia**, n. 498, p. 1-14, 2003.

PIPERNO, D. R. **Phytoliths: a Comprehensive Guide for Archaeologists and Paleoecologists**. Oxford, AltaMira Press, 2006. 238 p.

PIPERNO, D. R. **Phytolith Analysis: An Archeological and Geological Perspective**. San Diego, CA: Academic Press. 1988.

PIPERNO, D. R.; PEARSALL, D. M. The Nature and Status of Phytolith Analysis. In: PEARSALL, D. M.; PIPERNO, D. R. **Current Research in Phytolith Analysis. Applications in Archaeology and Paleoecology**. MASCA Research Papers In Science and Archaeology. University Museum of Archaeology and Anthropology, University of Pennsylvania, Philadelphia, p. 9-18, 1993.

PUERTO, L.; BRACCO, R.; INDA, H.; GUTIÉRREZ, O.; PANARIO, D.; GARCÍA-RODRÍGUEZ, F. Assessing links between late Holocene climate change and paleolimnological development of Peña Lagoon using opal phytoliths, physical, and geochemical proxies. **Quaternary International**, v. 287, p.89-100, 2013.

RAITZ, E. **Coleção de referência de silicofitólitos da flora do sudoeste do Paraná: subsídios para estudos paleoambientais**. 2012. 204 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Francisco Beltrão, 2012.

RABASSA, J.; PONCE, J. F. The Heinrich and Dansgaard-Oeschger climatic events during Marine Isotopic Stage 3: Searching for appropriate times for human colonization of the Americas. **Quaternary International**, v. 299, p. 94-105, 2013.

RABASSA, J.; PONCE, J. F. The Heinrich and Dansgaard–Oeschger Climatic Events During Marine Isotopic Stage 3. In: GASPARINI, G.M.; RABASSA, J.; DESCHAMPS, C.; TONNI, E.P. **Marine Isotope Stage 3 in Southern South America, 60 KA B.P.-30 KA B.P.** Springer International Publishing, 2016.

RACEK, A. A. The Porifera. **Transactions of the American Philosophical Society**, v. 60, p. 143-149, 1970.

RAITZ, E.; CALEGARI, M. R.; PAISANI, J. C.; PAISANI, S. D. I. Inventário de fitólitos da floresta ombrófila mista: subsídios para estudos paleoambientais. **Quaternary and Environmental Geosciences**, v. 06, n. 2, p.18-35, 2015.

RAMÍREZ, A. I. A.; RASBOLD, G. G.; PAROLIN, M.; STEVAUX, J. C. Phytoliths and seeds in fluvial island paleoenvironment reconstruction (interaction with pollen analysis). **Journal of South American Earth Sciences**, v. 89, p. 30-38, 2019.

RANULPHO, R. **Fitólitos em depósitos de colúvio do Quaternário Superior na face nordeste da Bacia Sedimentar do Araripe/CE: significado paleoambiental.** 2016. 101 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2016.

RASBOLD, G. G. **Espículas de esponjas de água doce e fitólitos como indicadores das características paleoambientais desde o Pleistoceno Tardio das ilhas Bandeirantes e Grande, alto rio Paraná.** 2016. 61 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais) – Universidade Estadual de Maringá, Maringá, 2016.

RASBOLD, G. G.; STEVAUX, J. C.; PAROLIN, M.; LELI, I. T.; LUZ, L. D.; GUERREIRO, R. L.; BRITO, H. D. Sponge spicules as indicators of paleoenvironmental changes in island deposits – Upper Paraná River, Brazil. **Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology**, v. 536, 109391, 2019.

RASBOLD, G. G.; MONTEIRO, M. R.; PAROLIN, M.; CAXAMBU, M. C. PESSENDA, L. C. R. Caracterização dos tipos morfológicos de fitólitos presentes em *Butia paraguayensis* (Barb. Rodr.) LH Bailey (Arecaceae). **IHERINGIA, Série Botânica**, v. 66, n. 2, p. 265-270, 2011.

RASBOLD, G. G.; PAROLIN, M.; CAXAMBU, M. G.; PESSENDA, L. C. R. Avaliação e quantificação dos fitólitos presentes em *Chloris elata* Desv., *Chloris gayana* Kunth e *Tripogon spicatus* (Ness) Ekman (Chloridoideae). **IHERINGIA, Série Botânica**, v. 67, n. 2, p. 137-148, 2012.

RASBOLD, G. G.; PAROLIN, M.; CAXAMBU, M. G. Reconstrução paleoambiental de um depósito sedimentar por análises multiproxy, Turvo, estado do Paraná, Brasil. **Revista Brasileira de Paleontologia**, v. 19, n. 2, p. 315-324, 2016.

REZENDE, A. B. **Espículas de esponja em sedimentos de lagoa como indicador paleoambiental no NW do Estado do Paraná**. 2010. 55 f. Dissertação (Mestrado em Análise Geoambiental) – Universidade Guarulhos, Guarulhos, 2010.

RODERJAN, C. V.; GALVÃO, F.; KUNIYOSHI, Y. S.; HATSCHBACH, G. G. As unidades fitogeográficas do estado do Paraná, Brasil. **Ciência & Ambiente**, v. 24, p. 78-118, 2002.

RODRIGUES, I. M. M.; VOLKMER-RIBEIRO, C.; MACHADO, V. S. Cauixi em cerâmica arqueológica da região de Lagoa Santa, Minas Gerais: inclusão de esponjas processadas ou exploração de depósitos sedimentares com espículas? **Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi. Ciências Humanas**, v. 12, n. 1, p. 85-100, 2017.

ROSA-BARBOSA, R. Reavaliação da fauna espongiológica continental do Estado do Rio Grande do Sul, Brasil, frente a novas coletas, **Iheringia, Série Zoologia**, v. 64, p. 127-148, 1984.

ROSS, J. L. S. Análise empírica da fragilidade dos ambientes naturais e antropizados. **Revista do Departamento de Geografia**, v. 8, p. 63-74, 1994.

ROVNER, I. Potential of opal phytoliths for use in paleoecological reconstruction. **Quaternary Research**, v. 1, p. 343-349, 1971.

RUNGE, F. The opal phytolith inventory of soils in Central Africa – Quantities, shapes, classification, and spectra. **Review of Palaeobotany and Palynology**, v. 107, p. 23-53, 1999.

SAIA, S. E. M. G. **Reconstrução paleoambiental (vegetação e clima) no Quaternário tardio com base em estudo multi/interdisciplinar no Vale do Ribeira (sul do estado de São Paulo)**. 2006. 119 f. Tese (Doutorado em Ciências) – Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2006.

SAKAGAMI, C. R. **Pteridófitas do Parque Ecológico da Klabin, Telêmaco Borba, Paraná, Brasil**. 2006. 200 f. Dissertação (Mestrado em Botânica) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2006.

SALAMUNI, R.; SALAMUNI, E.; ROCHA, L. A.; ROCHA, A. L. Parque Nacional do Iguçu, PR: Cataratas de fama mundial. In: SCHOBENHAUS, C.; CAMPOS, D. A.; QUEIROZ, E. T.; WINGE, M.; BERBERT-BORN, M. L. C. (Edits.). **Sítios Geológicos e Paleontológicos do Brasil**. v. 1. Ed. Brasília: DNPM/CPRM - Comissão Brasileira de Sítios Geológicos e Paleobiológicos (SIGEP), p. 313-321, 2002.

SALGADO-LABOURIAU, M. L. **Contribuição a Palinologia dos Cerrados**. 1973. 291 f. Tese (Doutorado em Ciências) - Universidade de São Paulo. São Paulo. 1973.

SALGADO-LABOURIAU, M. L. **História Ecológica da Terra**. São Paulo, Editora Edgard Blücher Ltda, 1994.

SANZ, A. P. **Holocene climate, vegetation and human impact in the Western Mediterranean inferred from Pyrenean lake records and climate models**. 2014. 195 f. Tese (Doutorado em Geologia) - Universidad de Zaragoza, 2014.

SANTOS, J. C. A. **Paleogeografia e paleoambientes do baixo curso do Rio Ivaí-PR**. 2013. 81 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Universidade Estadual de Maringá, Maringá, 2013.

SANTOS, J. C. A.; GASPARETTO, N. V. L.; PAROLIN, M. Reconstrução paleoambiental do baixo curso do Rio Ivaí – Dourarina/Paraná. **Geografia**, v. 39, n. 2, p. 337-350, 2014.

SANTOS, C. P.; COE, H. H. G.; BORRELLI, N.; SILVA, A. L. C.; SOUSA, L. O. F.; RAMOS, Y. B. M.; SILVESTRE, C. P.; SEIXAS, A. P. Opal phytolith and isotopic studies of "Restinga" communities of Maricá, Brazil, as a modern reference for paleobiogeoclimatic reconstruction. **Brazilian Journal of Oceanography**, v. 63, n. 3, p. 255-270, 2015.

SANTOS, L. J. C.; OKA-FIORI, C.; CANALI, N. E.; FIORI, A. P.; SILVEIRA, C. T.; SILVA, J. M. F.; ROSS, J. L. S. Mapeamento geomorfológico do estado do Paraná. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 7, n. 2, p. 3-12, 2006.

SANTOS, C. S.; SUGUIO, K.; MORAES, F. C.; SALLUN, A. E. M.; GARCIA, M. J.; OLIVEIRA, P. E.; MEDEIROS, V. B.; SALLUN FILHO, W. Caracterização dos tipos de espículas de esponjas silicosas encontradas em sedimentos paleolacustres coletados na Estação Ecológica de Juréia-Itatins, São Paulo. **Revista UnG - Geociências**, v.10, n.1, p. 64-73, 2011a.

SANTOS, J. C. A.; PAROLIN, M.; GASPARETTO, N. V. L. Método para aumentar a recuperação de fitólitos em solo. In: XIII REUNIÃO REGIONAL DE PALEONTOLOGIA PR/SC, 2011, **Resumos...** p. 11-11, 2011b.

SANTOS, A.; CARVALHO, M. A.; OLIVEIRA, A. D.; MENDONÇA FILHO, J. G. Paleoenvironmental changes and influence on *Operculodinium centrocarpum* during the Quaternary in the Campos Basin, southwestern Brazil. **Journal of South American Earth Sciences**, v. 80, p. 255-271, 2017.

SANTOS, G. B.; CASTRO, P. T. A.; PAROLIN, M.; DOCIO, L.; COSTA, D. H. Análise de espículas de esponjas como indicadores paleoambientais em sedimentos lacustres no oeste da Bahia. **Revista brasileira de Paleontologia**, v. 19, n. 3, p. 439-448, 2016.

SCHEEL-YBERT, R. Considerações sobre o método de datação pelo Carbono-14 e alguns comentários sobre a datação de sambaquis. **Revista do Museu de Arqueologia e Etnologia**, v. 9, p. 297-301, 1999.

SCURFIELD, G.; ANDERSON, C. A.; SEGNET, E. R. Silica in wood stems. **Australian Journal of Botany**, v. 22, p. 211-229, 1978.

SEIXAS, A. P.; COE, H. H. G.; SILVA, A. L. C.; LEPSCH, I. F.; PAROLIN, M.; MACARIO, K. Reconstituição das condições paleoambientais relacionadas à ocorrência de linhas de pedra em Latossolo no médio vale do Rio Paraíba do Sul (RJ). **Revista Anpege**, v. 15, n. 28, p. 29-53, 2019.

SHAHACK-GROSS, R.; SHEMESH, A.; YAKIR, D. WEINER, S. Oxygen isotopic composition of opaline phytoliths: Potential for terrestrial climatic reconstruction. **Geochimica et Cosmochimica Acta**, v. 60, n. 20, p. 3949-3953, 1996.

SIFEDDINE, A.; FRÖHLICH, F.; FOURNIER, M.; MARTIN, L.; SERVANT, M.; SOUBIÈS, F.; TURCQ, B.; SUGUIO, K.; VOLKMER-RIBEIRO, C. La sédimentation lacustre indicateur de changements des paléoenvironnements au cours des 30.000 dernières années (Carajás Amazonie, Brésil). **Comptes Rendus Académie des Sciences Paris**, v. 318, p. 1645-1652, 1994.

SIFEDDINE, A.; MARTIN, L.; TURCQ, B.; VOLKMER-RIBEIRO, C.; SOUBIES, F.; CORDEIRO, R. C.; SUGUIO, K. Variations of the amazonian rainforest environment: a sedimentological record covering 30,000 years BP. **Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology**, v. 168, n. 221-235, 2001.

SILVA, C. Z. **Levantamento da flora de pteridophyta em um fragmento de Floresta Estacional Semidecidual em Fênix Paraná, Brasil**. 2014. 28 f. Trabalho de conclusão de curso (Graduada em Engenharia Ambiental) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campo Mourão, 2014.

SILVA, K. C.; PAROLIN, M.; BISSA, W. M. Espículas de esponjas vs. variações do nível relativo do mar na região de Iguape, sudeste do Brasil. **Revista Brasileira de Paleontologia**, v. 15, n. 3, p. 319-326, 2012.

SILVA NETO, E. C. **Fitólitos como Registros Paleoambientais em Solos de Ambientes Altomontanos no Estado do Espírito Santo**. 2018. 91 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, 2018.

SILVA, V. A.; PAROLIN, M.; MEDEANIC, S. Palinologia da Estação Ecológica do Cerrado de Campo Mourão e áreas adjacentes. In: IV Encontro de Produção Científica e Tecnológica. **Anais...** Campo Mourão, PR 2009. Disponível em: <http://www.fecilcam.br/nupem/anais_iv_epct/trabalhos_completos/Ciencias_exatas.html>. Acesso em: 26 abr. 2019.

SILVA, C. I.; FONSECA, V. L. I.; GROppo, M.; BAUERMAN, S. G.; SARAIVA, A. M.; QUEIROZ, E. P.; EVALDT, A. C. P.; ALEIXO, K. P.; CASTRO, J. P.; CASTRO, M. M. N.; FARIA, L. B.; CALIMAN, M. J. F.; WOLFF, J. L.; PAULINO NETO, H. F.; GARÓFALO, C. A. **Catálogo polínico das plantas usadas por abelhas no campus da USP de Ribeirão Preto**. 1 ed., Editora: Holos, Ribeirão Preto, SP, 2014.

SILVA, D. W.; CAMARGO FILHO, M.; PAROLIN, M.; BERTOTTI, L. G. Análise paleoambiental a partir dos principais morfotipos de fitólitos encontrados em sedimento turfoso na região de Guarapuava-Paraná. **AMBIÊNCIA**, v. 12, n. 1, p. 13-32, 2016.

SMITHSON, F. Plant opal in soil. **Nature**, v. 178, pp. 107, 1956.

SOLÍS-CASTILLO, B.; GOLYEVA, A.; SEDOV, S.; SOLLEIRO-REBOLLEDO, E.; LÓPEZ-RIVERA, S. Phytoliths, stable carbon isotopes and micromorphology of a buried alluvial soil in Southern Mexico: A polychronous record of environmental change during Middle Holocene. **Quaternary International**, v. 365, p. 150-158, 2015.

SÔNDAHL, M. R.; LABOURIAU, L. G. Corpos silicosos de gramíneas dos cerrados. IV. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 5, p. 183-207, 1970.

SOUZA, R. F. **Fitossociologia e dinâmica da vegetação arbórea no Parque Nacional do Iguaçu**. 2015. 135 f. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2015.

SOUZA, E.; CALEGARI, M. R.; TORRADO, P. V.; MADELLA, M.; MACEDO, R. S. Análise Fitolítica Aplicada na Reconstituição Paleoambiental na ESEC Caetetus – Gália (SP). **Revista Perspectiva Geográfica**, v. 14, n. 20, p. 96-106, 2019.

SOUZA, R. F.; MACHADO, S. A.; GALVÃO, F.; FIGUEIREDO FILHO, A. Fitossociologia da vegetação arbórea do Parque Nacional do Iguaçu. **Ciência Florestal**, v. 27, n. 3, p. 853-869, 2017.

SOARES, V. H. A. **Reconstituição paleoambiental por abordagem multi-proxy em um registro de uma vereda do noroeste de Minas Gerais**. 2021. 74 f. Dissertação (Mestrado em Geologia) - Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri, Diamantina, 2021.

SPELLMEIER, J.; PÉRICO, E.; FREITAS, E. M. Composição florística de um banhado no município de Estrela/Rio Grande do Sul. **Pesquisas, Botânica**, v. 60, p. 367-381, 2009.

STAUCH, G.; LEHMKUHL, F. Quaternary glaciations in the Verkhoyansk Mountains, Northeast Siberia. **Quaternary Research**, v. 74, n. 1, p. 145-155, 2010.

STEVANATO, M.; RASBOLD, G. G.; PAROLIN, M.; LUZ, L. D.; LO, E.; WEBER, P.; TREVISAN, F.; CAXAMBU, M. G. New characteristics of the papillae phytolith morphotype recovered from eleven genera of cyperaceae. **Flora**, v. 253, p. 49-55, 2019.

STEVAUX, J. C. Climatic events during the Late Pleistocene and Holocene in the Upper Paraná River: Correlation with NE Argentina and South-Central Brazil. **Quaternary International**, v. 72, p.73-85, 2000.

STEVAUX, J. C.; PAROLIN, M. Síntese do Período Quaternário do Estado do Paraná. In: PAROLIN, M.; VOLKMER-RIBEIRO, C.; LEANDRINI, J. A. (Orgs.). **Abordagem ambiental interdisciplinar em bacias hidrográficas no Estado do Paraná**. Campo Mourão: Editora da Fecilcam, 2010. p. 44-57.

STRÖMBERG, C. A. E. The origin and spread of grass-dominated ecosystems in the late Tertiary of North America: preliminary results concerning the evolution of hypsodonty. **Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology**, v. 177, n. 1-2, p. 59-75, 2002.

STRÖMBERG, C. A. E. Using phytolith assemblages to reconstruct the origin and spread of grass-dominated habitats in the great plains of North America during the Late Eocene to Early Miocene. **Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology**, v. 207, p. 239-275, 2004.

SUGUIO, K. **Introdução à Sedimentologia**. 1ed. Edgard Blücher: São Paulo, 1973.

SUGUIO, K.; SALLUN, A. E. M.; SOARES, E. A. A. Período Quaternário: “Quo Vadis”? **Revista Brasileira de Geociências**, v.35, n. 3, p. 427-432, 2005.

TABACHNICK, B. G.; FIDELL, L. S. **Using Multivariate Statistics**. 4ed. Allyn e Bacon, Boston, 2001.

TAVARES, A. S.; ARAÚJO, A. C.; GUIMARÃES, F. B. Cyperaceae ocorrentes na Baixada do Maciambú, Parque Estadual da Serra do Tabuleiro, Palhoça, SC. **Revista Brasileira de Biociências**, v. 5, supl. 2, p. 186-188, 2007.

TAVARES, M. C. M., VOLKMER-RIBEIRO, C.; ROSA-BARBOSA, R. Primeiro registro de *Corvoheteromeyenia australis* (Bonetto e Ezcurra de Drago) para o Brasil com chave taxonômica para os poríferos do Parque Estadual Delta do Jacuí, Rio Grande do Sul, Brasil. **Revista Brasileira de Zoologia**, v. 20, n. 2, p. 169-182, 2003.

TAVARES-FRIGO, M. C.; VOLKMER-RIBEIRO, C.; OLIVEIRA, A. E. Z.; MACHADO, V. S. Freshwater sponges from the Pampa Biome, Brazil, with description of a new species of *Oncosclera*. **Neotropical Biology and Conservation**, v. 10, n. 3, p. 110-122, 2015.

TER-STEPANIAN, G. Beginning of the technogene. **Bulletin of Engineering Geology and the Environment**, v. 38, n. 1, p. 133-142, 1988.

TESTÉ, M.; GARNIER, A.; LIMONDIN-LOZOUET, N.; OXLAJ, E.; CASTANET, C.; PURDUE, L.; LEMONNIER, E.; DUSSOL, L.; NONDÉDÉO, P. The phytoliths of Naachtun (Petén, Guatemala): Development of a modern reference for the characterization of plant communities in the Maya Tropical Lowlands. **Review of Palaeobotany and Palynology**, v. 272, 104130, 2020.

THORN, V. C. Phytolith evidence for C₄-dominated grassland since the early Holocene at Long Pocket, northeast Queensland, Australia. **Quaternary Research**, v. 61, p. 168-180, 2004.

TOOMEY, M. R.; KORTY, R. L.; DONNELLY, J. P.; HENGSTUM, P. J. V.; CURRY, W. B. Increased hurricane frequency near Florida during Younger Dryas Atlantic Meridional Overturning Circulation slowdown. **Geology**, v. 45, n. 11, p. 1047-1050, 2017.

TRAORÉ, D. D.; GU, Y. G.; SHEMSANGA, C.; GE, J. G. Vegetation types and climate conditions reflected by the modern phytolith assemblages in the subalpine Dalaoling Forest Reserve, central China. **Frontiers of Earth Science**, v. 9, n. 2, p. 268-275, 2015.

TUR, N. M. Taxonomy of Podostemaceae in Argentina. **Aquatic Botany**, v. 57, p. 213-241, 1997.

TWISS, P. C. Predicted world distribution of C₃ and C₄ grass phytoliths. In: G. RAPP, J.; MULHOLAND, S. C. (Ed.). **Phytolith Systematics**. New York: Plenum Press, 1992. p. 113-128.

TWISS, P. C. Grass opal phytoliths as climatic indicators of the Great Plains Pleistocene. In: Johnson, W.C. (Ed.). **Quaternary Environments of Kansas**. Kansas Geol. Surv. Guidebook, p. 179-188, 1987.

TWISS, P. C.; SUESS, E.; SMITH, R. M. Morphological classification of grass phytoliths. **Soil Science Society of America Proceedings**, v. 33, p.109-115, 1969.

VAN SOEST R. W. M.; BOURY-ESNAULT N.; HOOPER J. N. A.; RÜTZLER K.; DE VOOGD N. J.; ALVAREZ DE GLASBY B.; HAJDU E.; PISERA A. B.; MANCONI R.;

SCHOENBERG C.; JANUSSEN D.; TABACHNICK K. R.; KLAUTAU M.; PICTON B.; KELLY M.; VACELET J.; DOHRMANN M.; CRISTINA DÍAZ M.; CÁRDENAS P. **World Porifera database**. Disponível em: <<http://www.marinespecies.org/porifera>>. Acesso: 23 mai. 2022.

VILLWOCK, F. H. **Identificação da paleovegetação associada às áreas de cerrado na mesorregião centro oriental paranaense**. 2018. 71 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Universidade Estadual de Maringá, Maringá, 2018.

VILLWOCK, F. H.; EDUVIRGEM, R. V.; PAROLIN, M. Pesquisas paleoambientais no Cerrado de Jaguariaíva, Paraná, Brasil. In: MARCATTO, F. S. et al. (Orgs.) **Construindo o saber geográfico: 20 anos do PGE-UEM**, Maringá: Editora PGE, p. 158-173, 2019.

VITÓRIA, A. P.; ÁVILA-LOVERA, E.; VIEIRA, T. O.; COUTO-SANTOS, A. P. L.; PEREIRA, T. J.; FUNCH, L. S.; FREITAS, L.; MIRANDA, L. d'A. P.; RODRIGUES, P. J. F.; REZENDE, C. E.; SANTIAGO, L. S. Isotopic composition of leaf carbon ($\delta^{13}\text{C}$) and nitrogen ($\delta^{15}\text{N}$) of deciduous and evergreen understory trees in two tropical Brazilian Atlantic forests. **Journal of Tropical Ecology**, v. 34, p. 145-156, 2018.

VOLKMER-RIBEIRO, C. *Oncosclera* – a new genus of freshwater sponges (Porifera Spongillidae) with redescription of two species. **Amazoniana**, v. 2, n. 4, p. 435-442, 1970.

VOLKMER-RIBEIRO, C. Esponjas de Água doce. **Manuais Técnicos para a Preparação de Coleções Zoológicas**, v. 3, p. 1-7, 1985.

VOLKMER-RIBEIRO, C. South American Continental sponges: state of the art of the research. In: CUSTODIO, M. R.; LÔBO-HADJU, G. e MURICY, G. (Eds.). **Porifera research: biodiversity, innovation and sustainability**. Rio de Janeiro, Museu Nacional, p.117-121, 2007.

VOLKMER-RIBEIRO, C.; ALMEIDA, F. B. As esponjas do Lago Tupé. In: SANTOS-SILVA, E.; APRILE, F. M.; SCUDELLER, V. V. & MELO, S. (Eds.) **BioTupé: meio físico, diversidade biológica e sociocultural do Baixo Rio Negro, Amazônia Central**. Manaus, INPA, p. 123-134, 2005.

VOLKMER-RIBEIRO, C.; BATISTA, T. C. A. Levantamento de cauxi (Porifera, Demospongiae), provável agente etiológico de doença ocular em humanos, Araguatins, rio Araguaia, Estado do Tocantins, Brasil. **Revista Brasileira de Zoologia**, v. 24, n. 1, p. 133-143, 2007.

VOLKMER-RIBEIRO, C.; ROSA-BARBOSA, R. Redescription of the Freshwater Sponges *Trochospongilla repens* (Hinde, 1888) and *Trochospongilla amazonica* (Weltner, 1895) with an account of the South American species of *Trochospongilla* (Porifera, Spongillidae). **Iheringia, Série Zoologia**, v. 65, n. 70, p. 77-93, 1985.

VOLKMER-RIBEIRO, C.; GROSSER, K. M.; ROSA-BARBOSA, R.; PAULS, S. M. Primeiro relato da ocorrência de Espongilideos (Porifera) na bacia do Guaíba, Estado do Rio Grande do Sul. **Iheringia, Série Zoologia**, v. 46, p. 33-49, 1975.

VOLKMER-RIBEIRO, C.; MACHADO, V. S. Checklist das esponjas do Estado do Mato Grosso do Sul, Brasil. **Iheringia, Série Zoologia**, v. 107, p. 1-6, 2017.

VOLKMER-RIBEIRO, C.; TURCQ, B. SEM analysis of siliceous spicules of a freshwater sponge indicate paleoenvironmental changes. **Acta Microscopica**, v. 5 (B), p. 186-187, 1996.

VOLKMER-RIBEIRO, C.; PAROLIN, M. Segundo registro de *Sterrastrolepis brasiliensis* Volkmer-Ribeiro & De Rosa-Barbosa (Demospongiae, Potamolepidae) com descrição do habitat e de assembléia, Bacia do Rio Paraná, Brasil. **Revista Brasileira de Zoologia**, v. 22, 04, p. 1003-1013, 2005.

VOLKMER-RIBEIRO, C.; PAROLIN, M. As Esponjas. In: PAROLIN, M.; VOLKMER-RIBEIRO, C. e LEANDRINI, J. A. (Orgs.) **Abordagem ambiental interdisciplinar em bacias hidrográficas no Estado do Paraná**. Campo Mourão, Editora da Fecilcam, p. 105-130, 2010.

VOLKMER-RIBEIRO, C.; PAROLIN, M.; FÜRSTENAU-OLIVEIRA, K.; MENEZES, E. R. Colonization of hydroelectric reservoirs in Brazil by freshwater sponges, with special attention on Itaipu. **Interciencia**, v. 35, n. 5, p. 340-347, 2010.

VOLKMER-RIBEIRO, C.; PAULS, S. M. Esponjas de água Dulce (Porífera: Demospongiae) de Venezuela. **Acta Biológica Venezuelana**, v. 20, n. 1, p. 1-28, 2000.

WALDMANN, N.; BORROMEI, A. M.; RECASENS, C.; OLIVERA, D.; MARTÍNEZ, M. A.; MAIDANA, N. I.; ARIZTEGUI, D.; AUSTIN JR, J. A.; ANSELMETTI, F. S.; MOY, C. M. Integrated reconstruction of Holocene millennial-scale environmental changes in Tierra del Fuego, southernmost South America. **Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology**, v. 399, p. 294-309, 2014.

WALKER, I. R.; PELLATT, M. G. Climate change and ecosystem response in the northern Columbia River basin--a paleoenvironmental perspective. **Environmental Reviews**, v. 16, p. 113-140, 2008.

WALKER, M. J. C.; BERKELHAMMER, M.; BJÖRCK, S.; CWYNAR, L. C.; FISHER, D. A.; LONG, A. J.; LOWE, J. J.; NEWNHAM, R. M.; RASMUSSEN, S. O.; WEISS, H. Formal subdivision of the Holocene Series/Epoch: a Discussion Paper by a Working Group of INTIMATE (Integration of ice-core, marine and terrestrial records) and the Subcommittee on Quaternary Stratigraphy (International Commission on Stratigraphy). **Journal of Quaternary Science**, v. 27, n. 7, p. 649-659, 2012.

WANG, Y. J.; LU, H. Y. **The Study of Phytolith and Its Application**. China Ocean Press, Beijing, Chinese, 1993.

WEBB, E. A.; LONGSTAFFE, F. J. The oxygen isotopic compositions of silica phytoliths and plant water in grasses: implications for the study of paleoclimate. **Geochimica et Cosmochimica Acta**, v. 64, n. 5, p. 767-780, 2000.

WELLE, B. J. H. On the occurrence of silica grains in the secondary xylem of the Chrysobalanaceae. **Iawa Bull.**, v.2, p.19-29, 1976.

WESOLOWSKI, V.; SOUZA, S. M. F. M.; REINHARD, K.; CECCANTINI, G. Grânulos de amido e fitólitos em cálculos dentários humanos: contribuição ao estudo do modo de vida e subsistência de grupos sambaquianos do litoral sul do Brasil. **Revista do Museu de Arqueologia e Etnologia**, v. 17, p. 191-210, 2007.

WINTER, S. L. S.; SYLVESTRE, L. S.; PRADO, J. O gênero *Adiantum* (Pteridaceae) no estado do Rio de Janeiro, Brasil. **Rodriguésia**, v. 62, n. 3, p. 663-681. 2011.

WÜST, R. A. J.; BUSTIN, R. M. Opaline and Al-Si phytoliths from a tropical mire system of West Malaysia: abundance, habit, elemental composition, preservation and significance. **Chemical Geology**, v. 200, n. 3-4, p. 267-292, 2003.

XAVIER, A. M.; LIMA, A. G.; VIGNA, C. R. M.; VERBI, F. M.; BORTOLETO, G. G.; GORAICH, K.; COLLINS, C. H.; BUENO, M. I. M. S. Marcos da história da radioatividade e tendências atuais. **Química Nova**, v. 30, n. 1, 83-91, 2007.

ZHANG, X. R.; DU, Y.; MA, C. M.; PING, S. F.; FENG, C. Phytolith data in peat profile over the past 1300 years in the Xishan Mountains, Jiangxi Province, China. **Data in brief**, v. 25, 103981, p. 1-6, 2019.

ZUCOL, A. F.; KRAUSE, J. M.; BREA, M.; RAIGEMBORN, M. S.; MATHEOS, S. D. Emergence of grassy habitats during the greenhouse-icehouse systems transition in the middle Eocene of Southern South America. **AMEGHINIANA**, v. 55, n. 4, p. 451-482, 2018.

ZVIEJKOVSKI, I. P.; STEVAUX, J. C.; LELI, I. T.; PAROLIN, M.; CAMPOS, J. B. Sponges as a complement of sedimentary facies analysis in island deposits of Upper Paraná River. **Journal of South American Earth Sciences**, v. 79, p. 143-151, 2017.

APÊNDICE

Apêndice 01 – Taxonomia das esponjas de água doce da Lagoa do Jacaré (Poço Preto) – Foz do Iguaçu, Paraná

***Oncosclera navicella* Carter, 1881**

Spongilla navicella Carter (1881): 87

Oncosclera navicella Volkmer-Ribeiro (1970): 440; Batista e Volkmer-Ribeiro (2002): 132; Pinheiro et al. (2003): 3; Tavares, Volkmer-Ribeiro e Rosa-Barbosa (2003): 173; Batista, Volkmer-Ribeiro e Melão (2007): 624; Volkmer-Ribeiro e Parolin (2010): 117

***Oncosclera schubarti* Bonetto e Ezcurra de Drago, 1967**

Batista e Volkmer-Ribeiro (2002): 131; Rosa-Barbosa (1984): 143, 145

Gênero *Uruguayia* Carter, 1881

Megascleras estrôngilos granulados associados com óxeas lisas robustas

Gemoscleras estrôngilos lisos curvados

Microscleras ausentes

***Tubella repens* Hinde, 1988**

Trochospongilla repens Volkmer-Ribeiro e Rosa-Barbosa (1985): 89-90; Volkmer-Ribeiro e Batista (2007): 139; Batista (2007): 65; Batista et al. (2007): 622; Volkmer-Ribeiro e Parolin (2010): 116; Martins (2016): 45.

***Corvospongilla seckti* Bonetto e Ezcurra de Drago, 1966**

Corvospongilla Annandale, 1911

Bonetto e Ezcurra de Drago (1966): 134; Batista e Volkmer-Ribeiro (2002): 131; Tavares, Volkmer-Ribeiro e Rosa-Barbosa (2003): 176; Volkmer-Ribeiro e Batista (2007): 139; Batista (2007): 65; Batista et al. (2007): 622; Pinheiro et al. (2013): 4.