



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



LEANDRO DOMINGOS LUZ

ASPECTOS PALEOAMBIENTAIS DO QUATERNÁRIO SUPERIOR NA REGIÃO DE  
CAMPO MOURÃO, PARANÁ

MARINGÁ  
2014

LEANDRO DOMINGOS LUZ

**ASPECTOS PALEOAMBIENTAIS DO QUATERNÁRIO SUPERIOR NA REGIÃO  
DE CAMPO MOURÃO, PARANÁ**

Dissertação de Mestrado apresentado ao Programa de Pós-Graduação em Geografia, área de concentração Análise Ambiental, do Centro de Ciências Humanas, Letras e Artes da Universidade Estadual de Maringá, como requisito para a obtenção do título de Mestre em Geografia.

**Professor Orientador:** Dr. Mauro Parolin

MARINGÁ  
2014

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

L979a Luz, Leandro Domingos  
Aspectos paleoambientais do Quaternário Superior na região de Campo Mourão, Paraná / Leandro Domingos Luz. -- Maringá, 2014.  
124 f. il. (algumas color) figs., tabs.

Orientador: Prof. Dr. Mauro Parolin  
Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual de Maringá, Centro de Ciências Humanas, Letras e Artes, Departamento de Geografia, Programa de Pós-Graduação em Geografia, 2014.

1. Fitólitos. 2. Paleoambientes - Paraná. 3. Pleistoceno Superior e Holoceno. 4. Quaternário - Pleistoceno. 5.  $\delta^{13}C$  (Isótopos estáveis). 6.  $\delta^{15}N$  (Isótopos estáveis). 7. Paleoclimatologia. 8. Micropaleontologia. 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. 551.79

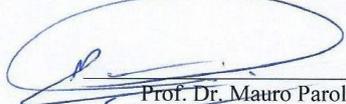
AMMA-001792

ASPECTOS PALEOAMBIENTAIS DO QUATERNÁRIO SUPERIOR NA REGIÃO DE  
CAMPO MOURÃO, PARANÁ

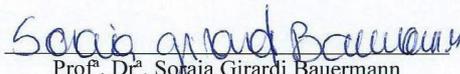
Dissertação de Mestrado apresentada a Universidade Estadual de Maringá, como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre em Geografia, área de concentração: Análise Regional e Ambiental, linha de pesquisa Análise Ambiental.

Aprovada em 31 de março de 2014.

BANCA EXAMINADORA

  
Prof. Dr. Mauro Parolin  
Orientador - UEM  
Universidade Estadual de Maringá

  
Prof. Dr. José Cândido Stevaux  
Membro convidado – UEM

  
Prof. Dr.ª Soraia Girardi Bauermann  
Membro convidado - ULBRA

Dedico este trabalho à minha amada mãe, Irene Domingos Luz (*in memoriam*) e a minha amiga e eterna professora Edna Maria Wessel (*in memoriam*).

## AGRADECIMENTOS

A realização desse trabalho não seria possível sem a contribuição de muitas pessoas, que de forma direta ou indireta, foram essenciais nesses dois anos de pós-graduação.

Gostaria de agradecer primeiramente ao Professor Dr. Mauro Parolin pela orientação, amizade e companheirismo, seus ensinamentos, tanto científicos como morais, sempre serão lembrados.

Da mesma forma agradeço a contribuição e ajuda dos colegas do Laboratório de Estudos Paleoambientais da Fecilcam (Lepafe): Renato Lada Guerreiro, João Cláudio Alcantara Santos, Janaína da Silva Rossi, Dandara Carlessi do Nascimento, Deyves da Silva, Bruno Candelari, Elaine Cristina Zavadovski Kalinovski (Ucraina), Maísa Jordana Kaust, Daiany Colavite, Mayra Stevanato e a Prof. Dra. Eloísa Silva de Paula Parolin. Gostaria de agradecer a especial contribuição para a compreensão da análise fitolítica da Mayara dos Reis Monteiro (a pequena notável) e da querida Giliane Gessica Rasbold (a Miss Fitólito), também agradeço a amizade e contribuições da colombiana mais simpática que conheço, Alma Isabel Ariza Ramírez.

Agradeço ao suporte dado pelo Programa de Pós-graduação em Geografia da Universidade Estadual de Maringá, em especial à secretária Miriam de Carlos, à qual sempre se manteve prestativa a todos os pedidos e uma excelente conselheira. Meu muito obrigado!

À minha família pelo apoio e incentivo. A minha mãe, Irene Domingos Luz (*in memoriam*), que sempre esteve ao meu lado e que sempre continuará, ao meu pai Antonio Luz, aos meus irmãos Adair Antonio Luz, Adenilson Francisco Luz (que me ajudou muito durante a graduação e pós-graduação), Vanilda Luz, Ivonete Domingos Luz, Lucia Luz Ferman (que mesmo longe sempre me incentivou) e Nicléia Luz (minha comadre).

Gostaria de agradecer o apoio e incentivo dos meus amigos do curso de Geografia durante esse período, em especial ao Marcelo Dalponte Silveira (Beijo), Edilson Alves Feitosa Junior (Edie) e Marcos Rogério Specalski Senger (Marcão).

Agradeço igualmente o apoio e incentivo dos meus professores e hoje colegas de trabalho do Colégio Estadual Carlos Drumond de Andrade de Nova Tebas, PR. Da mesma forma, agradeço a todos os professores do curso de Geografia da Universidade Estadual do Paraná – Campus Campo Mourão pelos ensinamentos e apoio à pesquisa.

Agradeço as contribuições e críticas do Professor Dr. José Cândido Stevaux e do Professor Dr. Edvard Elias de Souza Filho no exame de qualificação.

Aos amigos feitos durante o curso de mestrado: Michael Sordi (Pato), o qual gentilmente cedeu um colchão em seu quarto sempre que precisei, Felipe Rubira (Nico), Boaventura Mubai e Jefferson Baggio.

Aos diretores dos colégios em que trabalhei pelo incentivo e companheirismo, sempre entendendo as minhas ausências, Marisa Pureza da Silva, Wadler Esser e César Heidermann.

À todos os meus amigos de Nova Tebas pelo incentivo.

À biblioteca da Embrapa Cerrado por facilitar o acesso aos artigos sobre fitólitos da década de 1970.

Agradeço ao CNPq (Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico) pelo financiamento da pesquisa (Processos 472.496/2011-5 e 471.385/2012-3), ao convênio com a Fundação Araucária (Processo 1251/2012) e a CAPES pela bolsa de mestrado no período de abr./2013 à mar./2014.

A todos o meu MUITO OBRIGADO!

*“O mundo e o universo são lugares extremamente belos, e quanto mais os compreendemos  
mais belos eles parecem”*

Richard Dawkins

*“O essencial é invisível aos olhos”*

Antoine de Saint-Exupéry

## RESUMO

A região de Campo Mourão (24° 06' S – 52° 23' W) constitui um enclave do Cerrado em meio à transição entre a Floresta Ombrófila Mista e a Estacional Semidecidual. A presente pesquisa propôs caracterizar os sedimentos turfosos da região e utilizar diferentes dados *proxies* (análise fitolítica e isótopos do C e N), associados a datações absolutas, para inferir sobre as condições paleoambientais da área de estudo. Para tanto, foram analisados dois testemunhos de sedimentos turfosos da planície do rio Água dos Papagaios e rio Ranchinho. Os dados obtidos foram correlacionados com os valores isotópicos da matéria orgânica do solo estabelecidos na Estação Ecológica do Cerrado de Campo Mourão (EEC), onde foi aberta uma trincheira de 3 (três) metros de profundidade. Foi aplicado a metodologia padrão utilizada na palinologia, que consiste no ataque ácido e suspensão com líquido denso, com resultados satisfatório para a análise fitolítica. Foram contados 200 fitólitos por sequência, classificados (*International Code for Phytoliths Nomenclature 1.0*) e estabelecidos os índices fitolíticos dispostos na literatura. Determinou-se as datações  $^{14}\text{C}$  e valores isotópicos ( $\delta^{13}\text{C}$  e  $\delta^{15}\text{N}$ ) das amostras. Foram elaborados perfis topográficos afim de identificar terraços. Em relação à caracterização das turfeiras tem-se: a) baixo poder de queima (volátil e sólido) do material turfoso, indicando a inviabilidade do uso do material para fins energéticos; b) caracterização de *von Post* mostrando uma condição sáprica nas bases, hêmica nas porções médias e fibrosa nos topos. Os dados dos fitólitos e valores isotópicos permitiram a seguinte caracterização paleoambiental: i) de 48.800±270 anos AP. a ~41.146 anos cal AP. (fase seca), provável predominância de vegetação campestre (Cerrado), nesse período houve processos de agradação da planície do rio Ranchinho, que culminaram formando a base do primeiro terraço; ii) ~41.146 anos cal AP. (fase menos seca que a anterior) com presença de morfotipos (Globulares) característicos de famílias botânicas representativas de maior umidade (e.g. Arecaceae, Bromeliaceae entre outros), considera-se nessa fase o adensamento da vegetação, porém ainda sob condição de campo – construção do primeiro terraço do rio Ranchinho; iii) fase seca na transição do Pleistoceno Tardio/Holoceno; iv) provável formação da base do segundo terraço detectado no rio Ranchinho e do terraço detectado no rio Água dos Papagaios durante o Holoceno Médio (~7.280 anos cal AP.); v) condição de plantas C<sub>4</sub> anterior a 5.280 anos cal AP. na EEC com empobrecimento isotópico apenas no topo, sugerindo que o avanço das formações florestais (Floresta Ombrófila Mista e Estacional Semidecidual) é recente na área.

**Palavras-chave:** Fitólitos,  $\delta^{13}\text{C}$ ,  $\delta^{15}\text{N}$ , Pleistoceno Superior e Holoceno

## ABSTRACT

Campo Mourão region (24° 06' S – 52° 23' W) composes an enclave of Savanna vegetation in the Araucaria Forest and Seasonal Semideciduous Forest transition. The present research proposes to characterize the peaty sediments of the region and use different data proxies (phytolith analysis and stable isotopes of C and N), associated to absolute dating ( $^{14}\text{C}$ ), that could infer about the paleoenvironmental conditions in the studied area. Furthermore, we analyzed two cores with peaty sediments of Água dos Papagaios and Ranchinho river floodplain. The data obtained was correlated with the isotopes values of the Soil Organic Matter (SOM) established in the Estação Ecológica do Cerrado (EEC), where it was opened a trench with 3 (three) meters deep. The samples of peaty sediments were processed with hydrochloric acid (10%) and potassium hydroxide (10%). We applied the conventional method used in palynology studies, that consist in acid attach and suspension with dense liquid with positive result for phytolith analysis. We counted 200 phytoliths for sequence that were classified using the *International Code for Phytoliths Nomenclature 1.0* and were established the phytoliths indexes disposed in the international lecture. We stated the  $^{14}\text{C}$  dating and isotopes values ( $\delta^{13}\text{C}$  and  $\delta^{15}\text{N}$ ) of the samples. We elaborated topography profiles in the area that help us to observe the occurrence of terraces. Concerning the peaty bogs characterization we obtained: i) low burn power (volatile and solid) of the peaty, indicating the unfeasible use for energetic proposes; ii) characterization of *von Post* scale showing a Sapric condition on base, Hemic in the middle and Fibrous on the top. The phytoliths data and the isotopes values allowed the following paleoenvironmental interpretation: i) From 48.800±270 years BP. to ~41.146 cal years BP. (dry phase), probably predominance of grass (Savanna) and occurrence in this period of agradation processes in the Ranchinho river foodplain, building the base of the first terrace; ii) ~41.146 cal years BP. (less drier phase than the last) with presence of morphotypes (Globular) characteristic of botanic families that represent more humid (e.g. Arecaceae, Bromeliaceae and others) in this phase has increase of the vegetation density, although with the grass vegetation yet – building the terrace in the Ranchinho river; iii) dry phase in the Pleistocene/Holocene transition; iv) probable base formation of the second terrace in the Ranchinho river and Água dos Papagaios during the Middle Holocene (~7.280 cal years BP.); v)  $\text{C}_4$  plants condition previously to 5.280 cal years BP. on EEC with isotope value impoverishment just on the top suggesting that the advance of plant formations (Araucaria Forest and Seasonal Semideciduous Forest) is recent in the studied area.

**Keywords:** Phytoliths,  $\delta^{13}\text{C}$ ,  $\delta^{15}\text{N}$ , Late Pleistocene and Holocene.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Localização das áreas de amostragem. ....	16
Figura 2: Localização do ponto de amostragem na planície do rio Ranchinho, Campo Mourão, PR. ....	17
Figura 3: Localização da amostragem na planície do rio Água dos Papagaios, Campo Mourão, PR. ....	17
Figura 4: Visão parcial da planície aluvial do rio Ranchinho formada na margem esquerda. .	18
Figura 5: Visão parcial da planície aluvial do rio Água dos Papagaios, próximo a sua foz no rio do Campo. ....	19
Figura 6: Mapa geológico da área de estudo. ....	20
Figura 7: Principais tipos climáticos atuantes na área de estudo segundo a classificação de Köppen. ....	21
Figura 8: Principais formações vegetais do município de Campo Mourão.....	22
Figura 9: Vegetação de Cerrado no município de Campo Mourão em 1948. ....	23
Figura 10: Construção das primeiras casas no perímetro urbano de Campo Mourão, no fundo a presença da Floresta Ombrófila Mista em 1948. ....	23
Figura 11: Principais classes de solos presentes no município de Campo Mourão. ....	24
Figura 12: Visão parcial da bacia hidrográfica do rio Água dos Papagaios de relevo suave, com formação de Latossolos amplamente utilizados para agricultura intensiva.....	25
Figura 13: Variações na órbita terrestre conforme a teoria de Milankovitch. ....	28
Figura 14: Condições climáticas atuais e paleoclimáticas na América do Sul, durante a Glaciação Wisconsin. ....	30
Figura 15: Mapa de correlação entre os trabalhos realizados na Região Centro-Sul do Brasil e principais períodos de clima seco no Holoceno. ....	32
Figura 16: Valores isotópicos dos diferentes ciclos fotossintéticos (C <sub>3</sub> , C <sub>4</sub> e CAM) e percentual de ocorrência na natureza.....	37
Figura 17: Formas de fitólitos induzidas pela orientação.....	42
Figura 18: Espodograma de <i>Zea mays</i> L. ....	42
Figura 19: Principais morfologias das subfamílias das Poaceae. ....	44
Figura 20: Mapa de distribuição dos trabalhos sobre fitólitos no Brasil.....	62

Figura 21: Sondagem com uso do <i>vidro-core</i> na planície do rio Água dos Papagaios. ....	63
Figura 22: Sondagem na planície do rio Ranchinho com o uso da marreta e tradagens superficiais.....	64
Figura 23: Caracterização da turfa presente na planície do rio Ranchinho: datação; foto do perfil sedimentar; classificação de von Post; combustão e granulometria. ....	69
Figura 24: Principais morfotipos encontrados no testemunho do rio Ranchinho. A – <i>Elongate</i> ; B- <i>Bulliform parallelepipedal</i> ; C – <i>Bulliform cuneiform</i> ; D – <i>Unclassified</i> ; E – <i>Bilobate</i> ; F – <i>Cilyndric polilobate</i> ; G – <i>Rondel</i> ; H – <i>Saddle</i> ; I – <i>Cross</i> ; J – <i>Cilyndric tracheid</i> .....	71
Figura 25: Datação, perfil sedimentar, caracterização da turfa, resultados de combustão, granulometria, contagem fitolítica por morfotipos, índices fitolíticos, concentração e dados isotópicos do C e N do rio Ranchinho.....	72
Figura 26: Blocodiagrama esquemático da área em que foi retirado o testemunho analisado no rio Ranchinho. ....	75
Figura 27: Caracterização da turfa presente na planície do rio Água dos Papagaios: datação; foto do perfil sedimentar; classificação de <i>von Post</i> ; combustão e granulometria.....	77
Figura 28: Principais morfotipos de fitólitos quantificados no rio Água dos Papagaios. A, A1, A2, A3, A4 – <i>Bilobate</i> ; B, B1 – <i>Saddle</i> ; C, C1 – <i>Cross</i> ; D, G – <i>Cylindrical polylobate</i> ; E, E1 – <i>Rondel</i> ; F – <i>Hair cell</i> ; H – <i>Elongate</i> ; I – <i>Unclassified</i> ; J – <i>Globular psilate</i> ; K – <i>Globular echinate</i> ; L – <i>Elongate psilate</i> ; M – <i>Unclassified</i> ; N, Q – <i>Cylindric sulcate tracheid</i> ; O, P – <i>Elongate echinate</i> ; R – <i>Unclassified</i> ; S, U – <i>Bulliform cuneiform</i> ; T – <i>Bulliform papallepipedal</i> ; V – <i>Trapeziform sinuate</i> ; W – <i>Dentritic</i> . Escala: 12 $\mu\text{m}$ .....	79
Figura 29: Datação, perfil sedimentar, caracterização da turfa, resultados de combustão, granulometria, contagem fitolítica por morfotipos, índices fitolíticos, concentração e dados isotópicos do C e N do rio Água dos Papagaios.....	80
Figura 30: Blocodiagrama esquemático planície do rio Água dos Papagaios com destaque para o local de retirada do testemunho. ....	83
Figura 31: Datações e sinais isotópicos obtidos no testemunho do rio Ranchinho, Água dos Papagaios e da trincheira na Estação Ecológica do Cerrado. A – gráfico conforme a profundidade e B – conforme a cronologia do material. ....	89
Figura 32: Datação, perfil sedimentar e índices fitolíticos do testemunho do rio Água dos Papagaios.....	94
Figura 33: Correlação entre os resultados obtidos neste trabalho com outros estudos na região Centro-Sul do Brasil e NE da Argentina. ....	95
Figura 34: Evolução paleoambiental da área de estudo. A – presença de vegetação aberta com acúmulo de sedimento em um período mais seco que o atual; B – Melhoria das condições ambientais por volta de 41.460 anos cal AP. com maior volume hídrico; C – Presença de um clima mais seco e com vegetação aberta na transição entre o Pleistoceno e Holoceno; D – Condições ambientais atuais que começaram a ser instauradas no Holoceno Médio. ....	96

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Principais trabalhos sobre fitólitos em plantas modernas no Brasil.....	52
Tabela 2: Estudos sobre fitólitos fósseis no Brasil .....	58
Tabela 3: Datações $^{14}\text{C}$ e respectivas idades calibradas em anos AP. (rio Ranchinho) .....	68
Tabela 4: Valores de C(%), N(%), $\delta^{13}\text{C}$ e razão C/N (Rio Ranchinho) .....	70
Tabela 5: Datações $^{14}\text{C}$ e respectivas idades calibradas em anos AP. (rio Água dos Papagaios) .....	76
Tabela 6: Valores de C (%), N (%), $\delta^{13}\text{C}$ , $\delta^{15}\text{N}$ e Razão C/N do testemunho de turfa do rio Água dos Papagaios .....	78
Tabela 7: Valores de C (%) e $\delta^{13}\text{C}$ da Trincheira na Estação Ecológica do Cerrado .....	84
Tabela 8: Datações $^{14}\text{C}$ e respectivas idades calibradas em anos AP (Trincheira Estação do Cerrado) .....	84

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1: Glaciações no Quaternário .....	26
Quadro 2: Classificação dos depósitos turfáceos .....	34
Quadro 3: Escala de decomposição de <i>Von Post</i> aplicado à turfeiras .....	35
Quadro 4: Padrão de produção de fitólitos .....	40
Quadro 5: Principais formas e características dos fitólitos .....	45

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO .....</b>	<b>14</b>
<b>2. OBJETIVOS .....</b>	<b>15</b>
2.1 – OBJETIVO GERAL.....	15
2.2 – OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	15
<b>3. CARACTERIZAÇÃO GEOGRÁFICA DA ÁREA DE ESTUDO.....</b>	<b>16</b>
3.1 – LOCALIZAÇÃO.....	16
3.2 – RIO RANCHINHO E ÁGUA DOS PAPAGAIOS .....	18
3.3 – GEOLOGIA .....	19
3.4 – CLIMA .....	20
3.5 – VEGETAÇÃO.....	21
3.6 – PEDOLOGIA .....	24
<b>4. APORTE TEÓRICO.....</b>	<b>26</b>
4.1 – CONDIÇÕES CLIMÁTICAS E AMBIENTAIS DURANTE O PERÍODO QUATERNÁRIO .....	26
4.1.1 – Origem das Glaciações Quaternárias.....	27
4.1.2 – Teoria dos Refúgios Florestais .....	29
4.1.3 – Síntese dos estudos sobre as condições climáticas atuantes durante o Quaternário no Paraná .....	30
4.2 – FORMAÇÃO E CLASSIFICAÇÃO DAS TURFEIRAS .....	33
4.3 – ISÓTOPOS ESTÁVEIS DO CARBONO .....	36
4.4 – FITÓLITOS .....	37
4.4.1 – Definição e características dos fitólitos.....	37
4.4.2 – Morfologia e classificação dos fitólitos.....	41
4.5 – ÍNDICES FITOLÍTICOS .....	46
4.5.1 Índice de cobertura arbórea (índice D/P).....	46
4.5.2 Índice de adaptação à aridez (índice <i>I<sub>ph</sub></i> ) .....	47
4.5.3 Estresse Hídrico (Índice <i>B<sub>i</sub></i> ) .....	47
4.5.4 Índice Climático (Índice <i>I<sub>c</sub></i> ).....	47
4.6 – ESTUDOS SOBRE FITÓLITOS NO BRASIL .....	48
4.6.1 Estudos sobre morfologia de fitólitos em plantas atuais .....	48
4.6.2 Fitólitos como instrumento de reconstrução paleoambiental .....	54
<b>5. MATERIAL E MÉTODOS .....</b>	<b>63</b>
5.1 – CAMPANHAS .....	63
5.2 – PROTOCOLOS LABORATORIAIS.....	65

5.3 – DATAÇÕES $^{14}\text{C}$ , $\delta^{13}\text{C}$ , $\delta^{15}\text{N}$ , C (%), RAZÃO C/N E ANÁLISES GRANULOMÉTRICAS .....	66
5.4 - TOPOGRAFIA .....	67
<b>6. RESULTADOS .....</b>	<b>68</b>
6.1 – TESTEMUNHO DO RIO RANCHINHO .....	68
6.1.1 – Caracterização dos sedimentos turfosos .....	68
6.1.2 – Assembleia Fitolítica, $\delta^{13}\text{C}$ , $\delta^{15}\text{N}$ e razão C/N .....	69
6.1.3 - Geomorfologia .....	74
6.2 – TESTEMUNHO DO RIO ÁGUA DOS PAPAGAIOS .....	76
6.2.1 – Caracterização dos sedimentos turfosos <sup>6</sup> .....	76
6.2.2 – Assembleia Fitolítica, $\delta^{13}\text{C}$ , $\delta^{15}\text{N}$ e razão C/N .....	77
6.2.3 – Geomorfologia.....	82
6.3 – TRINCHEIRA DA ESTAÇÃO ECOLÓGICA DO CERRADO.....	84
<b>7. DISCUSSÃO .....</b>	<b>85</b>
7.1 – RIO RANCHINHO .....	85
7.2 – RIO ÁGUA DOS PAPAGAIOS .....	90
<b>8. CONCLUSÕES.....</b>	<b>98</b>
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>100</b>
<b>ANEXOS .....</b>	<b>116</b>

## 1. INTRODUÇÃO

A região de Campo Mourão (Mesorregião Centro-Ocidental Paranaense) constitui um enclave do Cerrado em meio à transição entre a Floresta Ombrófila Mista e a Estacional Semidecidual (RODERJAN *et al.*, 2002). Reinhard Maack (1892-1969), no final da década de 1940, em meio as suas expedições pelo interior do Estado do Paraná, estimou uma área de aproximadamente 102 km<sup>2</sup> de Cerrado, localizado entre Campo Mourão e Goioerê.

Maack (1948) já havia elencado a hipótese que a presença deste enclave seria relicto de um clima mais seco que havia vigorado durante o Pleistoceno no território paranaense. Sem, contudo, contar com datações por Carbono 14 as quais eram indisponíveis na época. Hoje, pouco resta da vegetação original que cobria cerca de 102km<sup>2</sup>, dado o avanço da urbanização e da agricultura intensiva. Existem quatro principais áreas de preservação dessa vegetação no município de Campo Mourão: 1) na Estação Ecológica do Cerrado; 2) Lote 7H, ao lado da rodovia BR 158, saída para Maringá; 3) em um terreno pertencente ao DNIT (Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes); 4) em uma propriedade particular à margem da Rodovia BR-158, em direção à Maringá. Pode-se estimar que da área original restam aproximadamente 24.000 m<sup>2</sup> da vegetação original (PAROLIN *et al.*, 2013).

Com o sentido de agregar maiores informações sobre a origem dessa vegetação, a presente pesquisa propôs a utilização de diferentes dados *proxies* ( $\delta^{13}\text{C}$ ,  $\delta^{15}\text{N}$ , razão C/N e análise fitolítica) associados a datações absolutas, que ao serem interpretados, permitiram inferir sobre as condições ambientais pretéritas do município de Campo Mourão, bem como o desenvolvimento dessa vegetação, que possui grande apelo ambiental e histórico para o município.

Para a realização da pesquisa, foram analisados dois testemunhos retirados da planície aluvial do rio Água dos Papagaios e do rio Ranchinho, ambos com presença de sedimentos turfosos, os resultados foram comparados com os dados isotópicos de uma trincheira na Estação Ecológica do Cerrado. O trabalho foi realizado em parceria com o Laboratório de Estudos Paleoambientais da Fecilcam (Lepafe) com apoio financeiro do CNPq (Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico) processo 472.492/2011-5 e 471.385/2012-3 e da Fundação Araucária, processo 1251/2013.

Concomitantemente às análises realizadas, o trabalho traz a caracterização das turfeiras (classificação de *von Post*), bem como informa seu potencial de combustão.

Os resultados permitiram inferir sobre as condições ambientais pretéritas responsáveis pela formação da paisagem nessa porção do território paranaense durante o final

do Pleistoceno e Holoceno, com significativas flutuações climáticas apontadas pela quantificação dos fitólitos e demais *proxies* analisados. Os quais corroboram as considerações propostas por Maack ainda em 1948.

## 2. OBJETIVOS

### 2.1 – OBJETIVO GERAL

Determinar as mudanças paleoambientais e paleoclimáticas na região de Campo Mourão desde o Pleistoceno Superior e correlacioná-las com outros estudos realizados no Brasil.

### 2.2 – OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Caracterizar o sedimento turfoso e seu processo de formação;
- Identificar e quantificar as formas de fitólitos presente nas amostras;
- Determinar os valores isotópicos ( $\delta^{13}\text{C}$  e  $\delta^{15}\text{N}$ ) e datar as amostras de sedimento;
- Determinar os valores isotópicos ( $\delta^{13}\text{C}$ ) e datar o solo da Estação Ecológica do Cerrado de Campo Mourão;
- Elaborar perfis topográficos, a fim de identificar a formação de pequenos terraços que possam ser fruto de variações climáticas;
- Correlacionar os dados obtidos com outros trabalhos paleoclimáticos já estabelecidos para o Brasil;
- Inferir sobre o modo e a intensidade das variações climáticas desde o Pleistoceno Superior;
- Inferir sobre a evolução da vegetação de cerrado no município de Campo Mourão.

### 3. CARACTERIZAÇÃO GEOGRÁFICA DA ÁREA DE ESTUDO

#### 3.1 – LOCALIZAÇÃO

A área estudada está localizada na região Centro Ocidental paranaense, Terceiro Planalto Paranaense, próximo ao perímetro urbano de Campo Mourão (Figura 1). A pesquisa está voltada aos depósitos turfosos presentes na planície aluvial dos rios Ranchinho ( $24^{\circ}06'43''\text{S}$  -  $52^{\circ}23'04''\text{W}$ ) (Figura 2) e Água dos Papagaios ( $24^{\circ}05'52''\text{S}$  -  $52^{\circ}23'44''\text{W}$ ) (Figura 3).

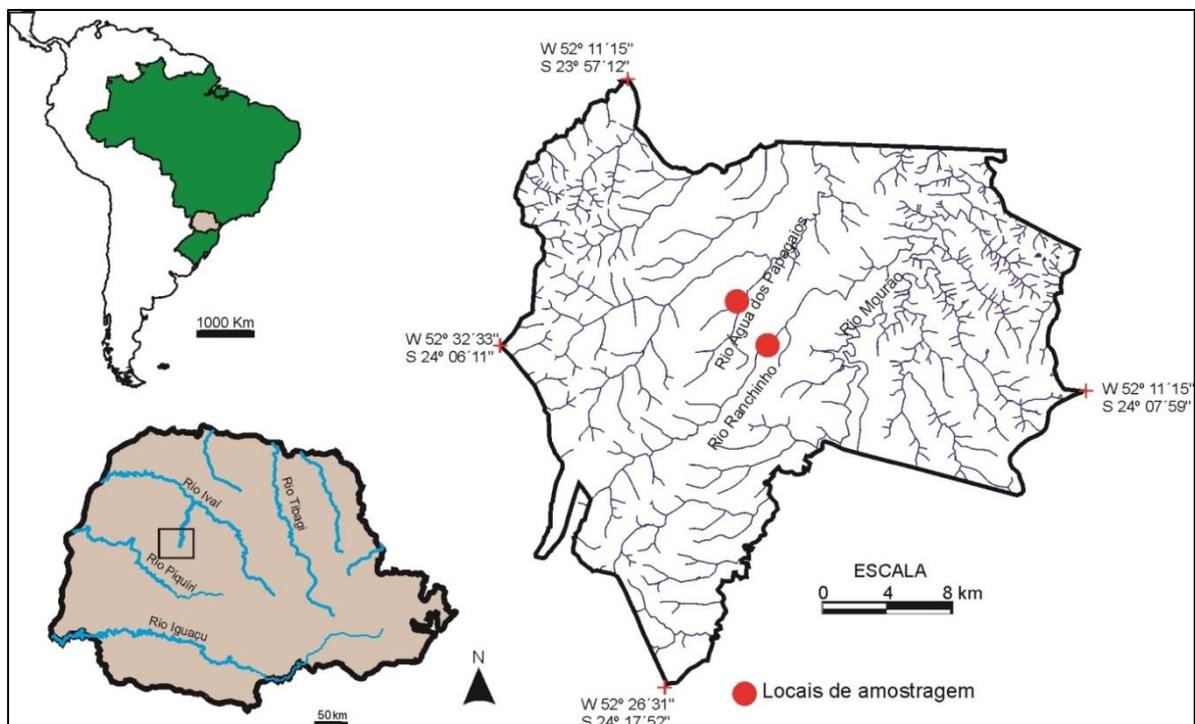


Figura 1: Localização das áreas de amostragem.

Fonte: Base cartográfica IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - 1966).



Figura 2: Localização do ponto de amostragem na planície do rio Ranchinho, Campo Mourão, PR.  
Fonte: Google Earth®, 2013.

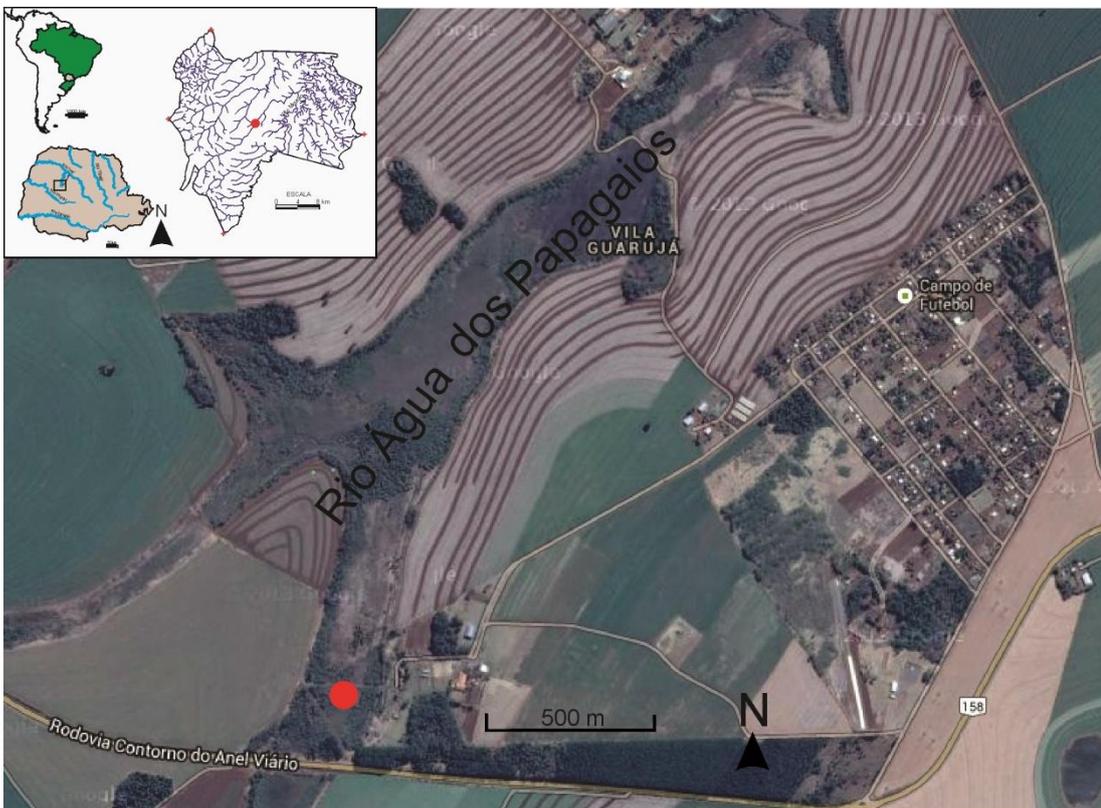


Figura 3: Localização da amostragem na planície do rio Água dos Papagaios, Campo Mourão, PR.  
Fonte: Google Earth®, 2013.

### 3.2 – RIO RANCHINHO E ÁGUA DOS PAPAGAIOS

O rio Ranchinho (Figura 4), é um rio de terceira ordem, nasce a uma altitude de 742 m entre as coordenadas 24°15'27" de latitude Sul e 52°29'48" de longitude Oeste e deságua no rio Mourão a 448 m (24°03'19"S - 52°17'32" W), possui um curso de aproximadamente 35 km, recebendo água de 17 afluentes, a diferença altimétrica até sua foz é de 294 m apresentando 8,4 metros de declive por quilômetro. No alto curso observa-se o controle estrutural, com vales bem encaixados e rede de drenagem centrípeta, o primeiro nível de base local encontra-se distante 3 km da nascente (670 m) com formação de planícies de aproximadamente 100 m de largura. No alto curso são encontradas fraturas na direção SE-NW. No médio curso o rio se torna retilíneo, com poucos afluentes, com uma fratura disposta no sentido NE-SW acompanhando o leito do rio e formação de planícies aluviais de até 450 m de largura com formação de depósitos turfáceos na margem esquerda e meandros abandonados próximos ao curso d'água. Na planície aluvial observou-se pequenas variações altimétricas, fato que mereceu destaque via análise topográfica.



Figura 4: Visão parcial da planície aluvial do rio Ranchinho formada na margem esquerda.  
Fonte: Parolin, M. 2013.

O rio Água dos Papagaios (Figura 5) nasce a 659 m (24°07'44"S - 52°25'52"W). Trata-se de um rio de segunda ordem com aproximadamente 11 km de extensão até a sua foz no Rio do Campo (553 m). Possui em toda a sua extensão quatro afluentes. O gradiente é de 106 metros com declive médio de 9,4 metros por quilômetro. Na porção superior tem-se o controle estrutural, com leito encaixado, no médio e baixo curso apresenta planície aluvial,

que chega a 360 m de largura. Na planície aluvial observou-se pequenas variações altimétricas, fato que mereceu destaque via análise topográfica. É um rio com densidade média de drenagem e rede centrípeta unidirecional.



Figura 5: Visão parcial da planície aluvial do rio Água dos Papagaios, próximo a sua foz no rio do Campo.

Fonte: Acervo do autor.

### 3.3 – GEOLOGIA

O material turfoso, presente na planície aluvial do rio Água dos Papagaios e rio Ranchinho, foi produzido sob o manto de intemperização das rochas provenientes da Formação Serra Geral, composta principalmente por rochas basálticas, dispostas em forma de Trapp<sup>1</sup>. O município de Campo Mourão está quase todo situado na abrangência da Formação Serra Geral, no entanto, na porção NW há a presença de rochas areníticas da Formação Caiuá/Grupo Bauru (Figura 6).

---

<sup>1</sup> Designação, de origem sueca, para rochas efusivas basálticas com morfologia em escadas (LEINZ; AMARAL, 1977).

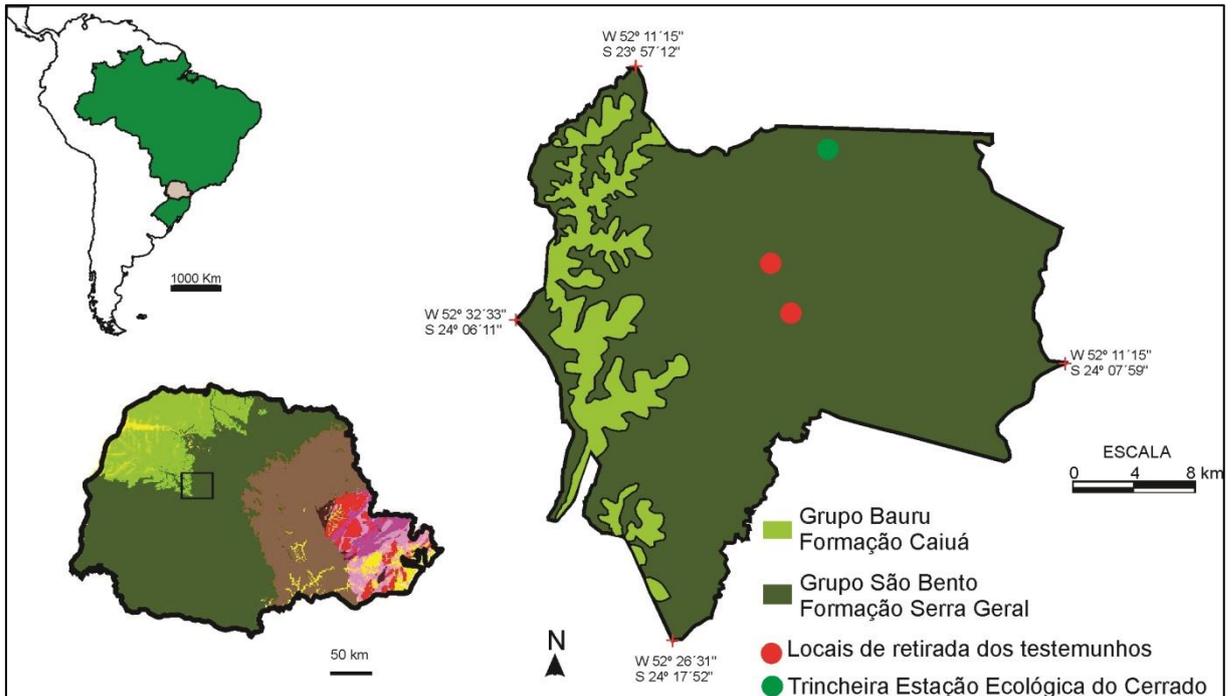


Figura 6: Mapa geológico da área de estudo.

Fonte: Base cartográfica IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - 1966).

A área de estudo está situada na unidade morfoestrutural denominada Planalto de Campo Mourão, situada no Terceiro Planalto Paranaense, a qual apresenta dissecação baixa e ocupa uma área de 1.042,06 km<sup>2</sup>. A classe de declividade predominante está entre 6-12% em uma área de 644,31 km<sup>2</sup>. O relevo apresenta gradiente de 360 metros, com altitudes variando entre 480 (mínima) e 840 m (máxima). As formas predominantes são topos aplainados, vertentes retilíneas e côncavas na base e vales em calha, modeladas em rochas da Formação Serra Geral (MINEROPAR, 2006).

### 3.4 – CLIMA

O município de Campo Mourão é caracterizado pelo clima subtropical úmido mesotérmico Cfb (classificação de Köppen), com verões quentes, com tendência de concentração das chuvas, e invernos rigorosos, sem estação seca definida (Figura 7). A temperatura média no verão é superior a 22° C e inferior a 18° C no inverno, com geadas pouco frequentes. No entanto, outros tipos climáticos aparecem na região como o Cfa (verões quentes e geadas pouco frequentes) e Cfw (com estação seca bem definida) (IAPAR, 2013).

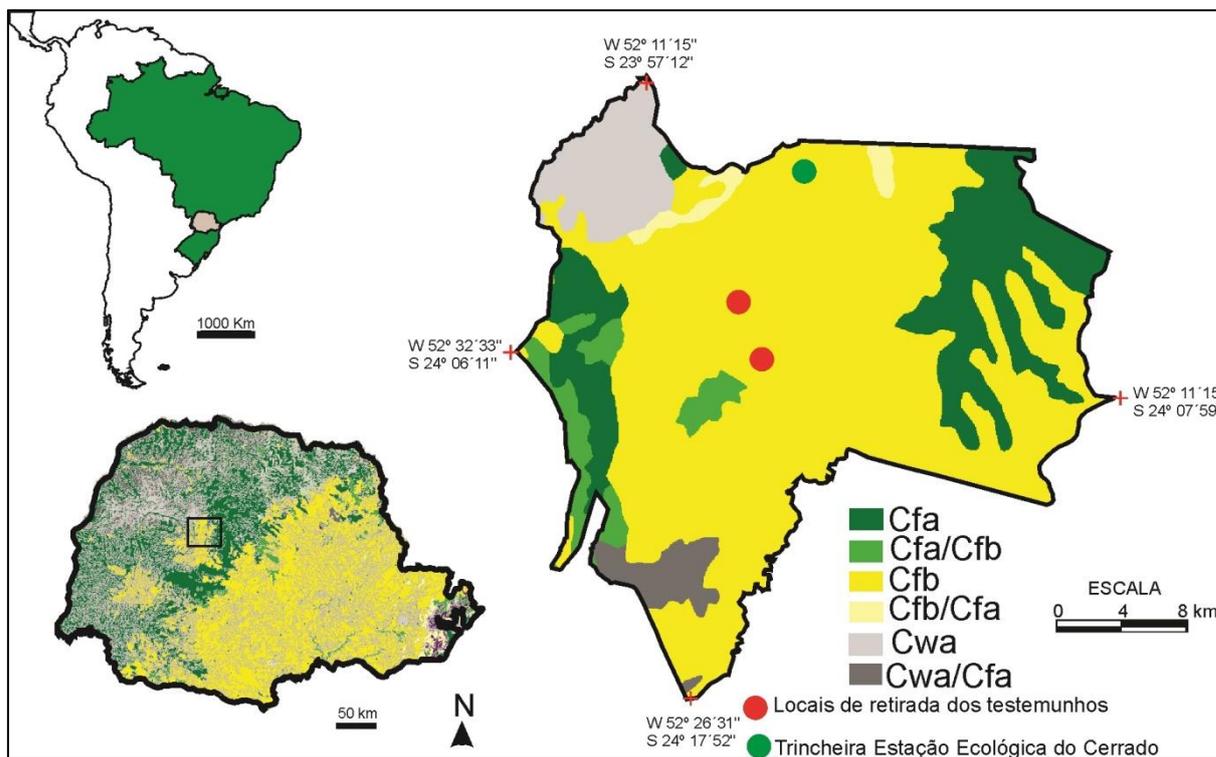


Figura 7: Principais tipos climáticos atuantes na área de estudo segundo a classificação de Köppen. Fonte: Base cartográfica IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - 1966).

### 3.5 – VEGETAÇÃO

No que se refere às formações vegetais originais, destaca-se a Floresta Ombrófila Mista Montana (Floresta de Araucária) e a Floresta Estacional Semidecidual (Figura 8). Não obstante, há a presença de vegetação relictual de Cerrado que ocupava grande parte do centro urbano de Campo Mourão.

Ao longo da bacia hidrográfica do rio Água dos Papagaios e rio Ranchinho é possível encontrar as seguintes famílias botânicas: Acanthaceae, Asteraceae, Blechnaceae, Convolvulaceae, Cyperaceae, Fabaceae, Melastomataceae, Piperaceae, Poaceae, Pontederiaceae, Pteridaceae, Rubiaceae, Sapindaceae, Selaginellaceae, Thelypteridaceae, Woodsiaceae e Xyridaceae (levantamentos realizados no Herbário HCF, Universidade Tecnológica Federal do Paraná).

Por sua vez, a área de cerrado de Campo Mourão, segundo Caetano e Nunes (2005), apresenta as seguintes famílias: Annonaceae, Apocynaceae, Bignoniaceae, Bromeliaceae, Caryocaraceae, Cochlospermaceae, Cucurbitaceae, Erythroxylaceae, Mimosoideae, Caesalpinoideae, Malpighiaceae, Moraceae, Myrtaceae, Arecaceae, Sapindaceae, Solanaceae, Verbenaceae e Vochysiaceae.

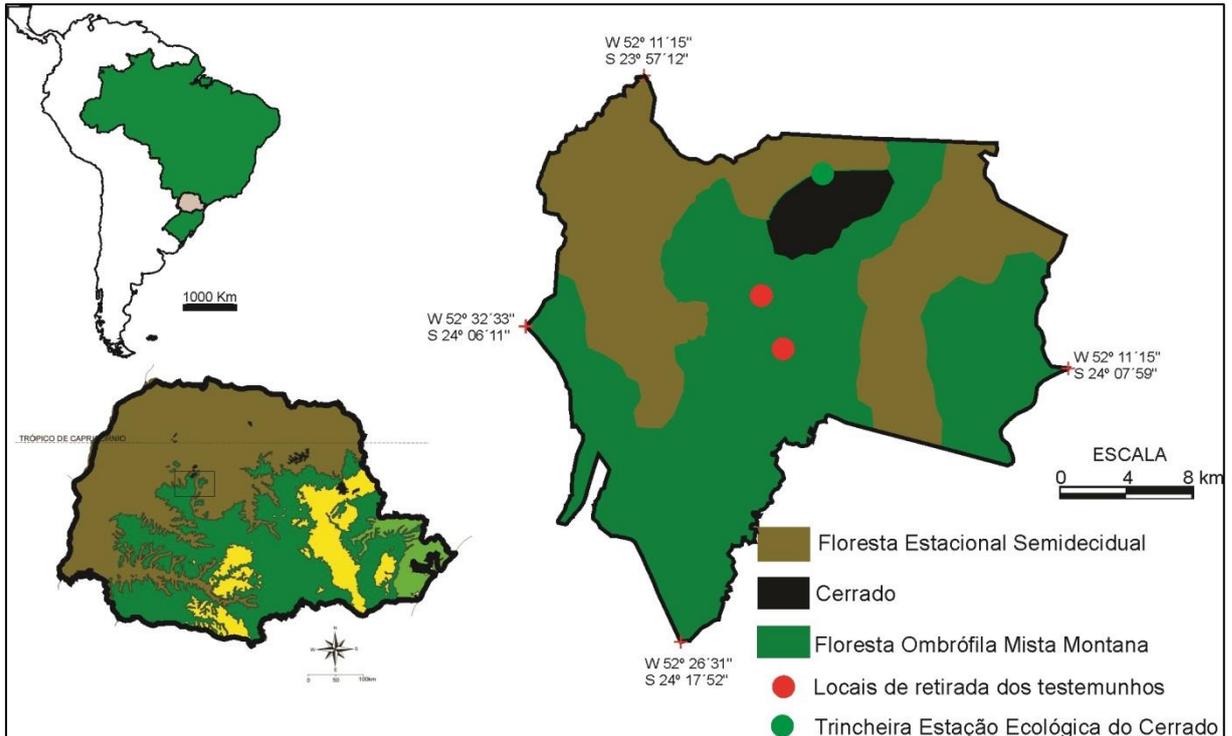


Figura 8: Principais formações vegetais do município de Campo Mourão.

Fonte: Base cartográfica IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - 1966).

Segundo Maack (2002) Campo Mourão apresentava uma área de 102 km<sup>2</sup> de vegetação típica de Cerrado, na zona limítrofe entre a Floresta Ombrófila Mista e a Estacional Semidecidual. Os componentes de associação florísticas são os mesmos que ocorrem no Oeste de São Paulo e do Planalto Central do Brasil. Constituindo um relicto de um clima mais seco e árido que vigorou em grande parte do Estado durante o Pleistoceno (MAACK, 1948; BIGARELLA *et. al.*, 1964; AB'SABER, 1977).

Em fotos tiradas durante a expedição científica, coordenada por Reinhard Maack em 1948 é possível identificar a vegetação típica do Cerrado em meio a Floresta Ombrófila Mista em Campo Mourão (Figura 9 e 10).



Figura 9: Vegetação de Cerrado no município de Campo Mourão em 1948.  
Foto: Acervo de João José Bigarella



Figura 10: Construção das primeiras casas no perímetro urbano de Campo Mourão, no fundo a presença da Floresta Ombrófila Mista em 1948.  
Foto: Acervo de João José Bigarella

A vegetação típica de Cerrado hoje está restrita a pequenas porções no perímetro urbano de Campo Mourão em especial na Estação Ecológica do Cerrado e no lote 7H, às margens da rodovia BR – 158, o qual está em processo para execução de ações preservacionistas. Por sua vez, os remanescentes protegidos da Floresta Ombrófila Mista e Floresta Estacional Semidecidual encontram-se no Parque Estadual Lago Azul e no Parque Municipal Joaquim Teodoro de Oliveira, além das RPPN's (Reserva Particular do Patrimônio Natural) presentes no município.

### 3.6 – PEDOLOGIA

Sobre as rochas basálticas formaram-se solos bem desenvolvidos com grande potencialidade agrícola, com associação principal entre Latossolo e Nitossolo (presente na Estação Ecológica do Cerrado). Por sua vez o solo formado a partir do arenito Caiuá há a formação de Cambissolos e Argissolos (Figura 11).

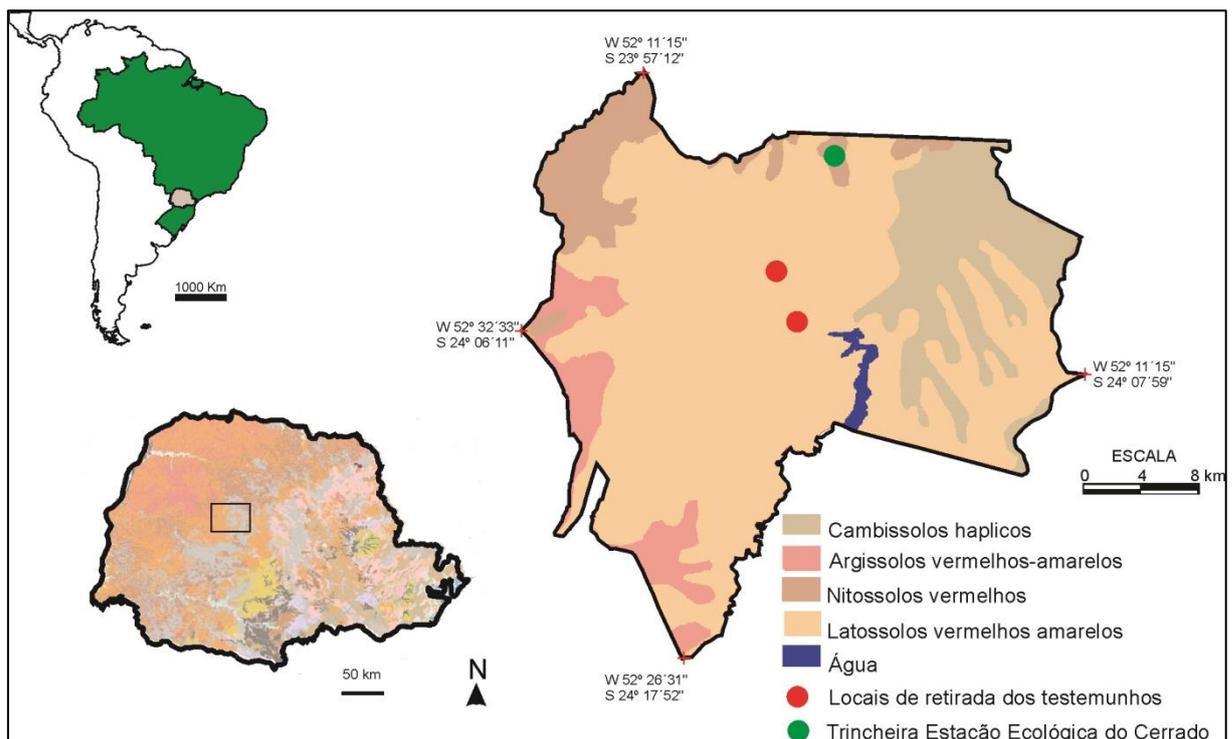


Figura 11: Principais classes de solos presentes no município de Campo Mourão.

Fonte: Base cartográfica IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - 1966).

Os latossolos são solos bem evoluídos, com formação do horizonte Bw, é comum a origem em áreas de baixa declividade com circulação hídrica vertical, apresentando, em geral, elevadas taxas de porosidade com baixos valores de bases (Ca, Mg, K, Na). Normalmente é

associado com Nitossolos, no qual tem-se o desenvolvimento do horizonte Bt (textural) (DELVIGNE, 1967). Embora sejam solos pobres em nutrientes, por meio da correção química, apresentam grande aptidão para a agricultura intensiva (Figura 12).



Figura 12: Visão parcial da bacia hidrográfica do rio Água dos Papagaios de relevo suave, com formação de Latossolos amplamente utilizados para agricultura intensiva.  
Foto: Acervo do autor.

## 4. APORTE TEÓRICO

### 4.1 – CONDIÇÕES CLIMÁTICAS E AMBIENTAIS DURANTE O PERÍODO QUATERNÁRIO

O Quaternário é o período geológico mais recente e curto da história da Terra (últimos 1,8 milhões de anos, dividido em Pleistoceno e Holoceno)<sup>2</sup> e tem-se apresentado como o período que contém o maior número de informações paleoambientais, além de estar intimamente relacionado com a história do homem e os impactos ambientais advindos de sua ação sobre o meio (KRAMER, 2002).

O Período Quaternário é marcado por fortes variações climáticas, seguido por períodos glaciais e interglaciais. Durante todo o Quaternário houve ao menos dezesseis glaciações com duração média de 100.000 anos, intercaladas por períodos interglaciais (mais quentes) com duração de aproximada de 20.000 anos (SALGADO-LABOURIAU, 1994; SANT'ANNA NETO; NERY, 2005). O quadro 1 apresenta as principais glaciações ocorridas durante o Quaternário, e a nomenclatura usada em diferentes partes do globo, sendo que no Brasil é adotada a terminologia usada na América do Norte. Em letras maiúsculas estão os intervalos glaciais e em itálico os interglaciais (SALGADO-LABOURIAU, op. cit.; PAROLIN, 2003).

Quadro 1: Glaciações no Quaternário

<b>Alpes e Reno</b>	<b>Ilhas Britânicas</b>	<b>Norte da Europa</b>	<b>América do Norte</b>	<b>Posição no Pleistoceno</b>
WÜRM <i>Riss-Würm</i>	NEWER DRIFT <i>Ipswichian</i>	WEICHSEL <i>Eemian</i>	WISCONSIN <i>Sangamon</i>	Superior Superior
RISS <i>Mindel-Riss</i>	GRIPPING <i>Hoxnian</i>	SAALE <i>Holstein</i>	ILLINOIAN <i>Yarmouth</i>	Superior Médio
MINDEL <i>Günz-Mindel</i>	LOWESTOFT <i>Cromerian</i>	ELSTER <i>Cromerian</i>	KANSAN <i>Aftonian</i>	Médio Médio
GÜNZ <i>Donau-Günz</i>	NEBRASKAN			Inferior Inferior
DONAU*				Inferior

\* é também chamada de "Glaciação do Danúbio" e não foi encontrada em outras regiões.  
Fonte: Salgado-Labouriau (1994)

O termo Quaternário foi proposto em 1829, *a priori* por Jules Pierre François Stanislaus Desnoyers (1800-1887) para diferenciar depósitos marinhos sobrepostos aos

<sup>2</sup> Não há total consonância entres os autores para o início do Período Quaternário, algumas referências apontam para a idade de 1,6 milhões de anos AP. outras para 2,3 milhões de anos A. P. (SUGUIO, 1999).

sedimentos terciários na bacia de Paris, no entanto a oficialização do termo foi dada por Henri Rebour (1763-1839) em 1833 para caracterizar os sedimentos com restos de espécies animais e vegetais ainda viventes. Posteriormente, Chales Lyell (1797-1875) introduziu a designação de Pleistoceno para os depósitos com conteúdo paleontológico pós-pleiocênico e o intervalo de tempo caracterizado por depósitos contendo somente espécies viventes foi denominado de Holoceno (SUGUIO, 1999; 2005).

O Holoceno é a época mais recente do Quaternário, com início por volta de 11.700 anos AP. (antes do presente)<sup>3</sup> (WALKER *et al.*, 2012). Durante o Quaternário eventos de mudança abrupta nas condições climáticas são bem documentadas na literatura científica. Um desses eventos é o *Younger Dryas*, nome dado em homenagem a flora alpina e da tundra *Dryas octopetala* (L.), que é caracterizado pelo rápido resfriamento do Hemisfério Norte ~12.000 anos AP., cerca de 4-7° C abaixo das médias atuais, que tem como consequência o ressecamento de grandes áreas continentais (GOSLAR *et al.*, 1995). Por outro lado o período mais quente do Holoceno parece ter ocorrido entre 9.600 e 4.500 AP., denominado de *Optimum Climático*, quando a Terra estava, em média, 2 a 3°C mais quente que na atualidade (SANT'ANNA NETO; NERY, 2005).

#### 4.1.1 – Origem das Glaciações Quaternárias

Apesar dos inúmeros trabalhos sobre a origem das glaciações, as causas ainda não estão bem perfeitamente esclarecidas. No entanto, a teoria que melhor explica as variações climáticas quaternárias é a teoria astronômica do geofísico Milutin Milankovitch (1879-1958). Em 1920 Milankovitch propôs que a sobreposição dos ciclos astronômicos realizados pela Terra desencadearia períodos de reduzida insolação possibilitando a formação ou expansão das calotas polares, alterando a circulação atmosférica e invertendo as correntes marítimas. Essa teoria propõe que as variações nos ciclos orbitais da Terra (Figura 13): a) Excentricidade da órbita terrestre (0 a 0,067), variando num ciclo de 92 a 100 mil anos; b) Obliquidade da Eclíptica (21,5 a 24,5°), que corresponde ao grau de inclinação do eixo terrestre em relação ao plano da órbita variando de 40 a 41 mil anos e c) Precessão dos Equinócios (das estações), que corresponde ao movimento de nutação, que perfaz um ciclo de 19 a 23 mil anos são as principais causas das mudanças climáticas e a formação de glaciações (SUGUIO, 1999; STEVAUX; PAROLIN, 2010).

---

<sup>3</sup> Antes do presente é marcado pelo ano de 1950, pois convencionou-se que as datações por <sup>14</sup>C seriam equilibradas até este ano.

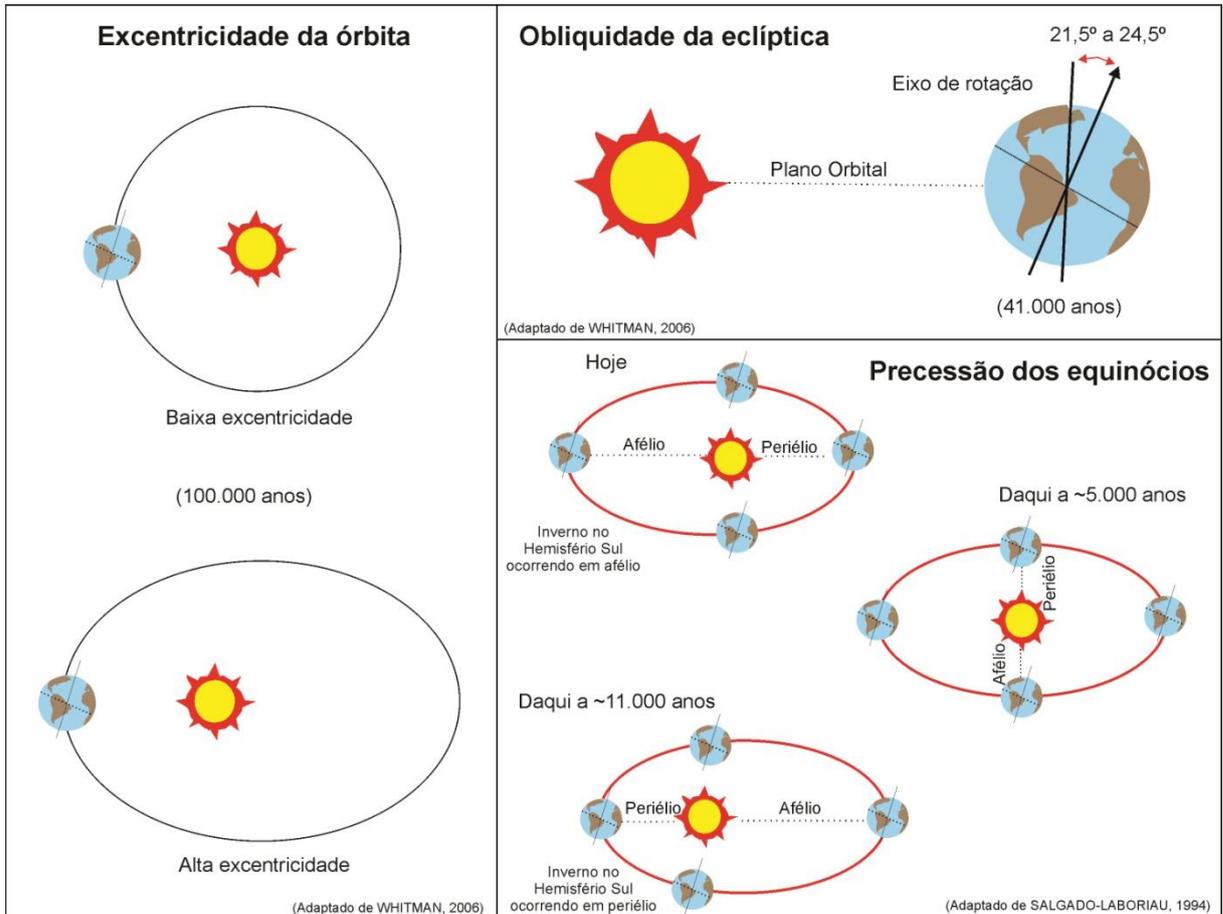


Figura 13: Variações na órbita terrestre conforme a teoria de Milankovitch.  
Fonte: Adaptado de STEVAUX e PAROLIN (2010).

A principal contribuição de Milankovitch foi analisar a radiação solar em diferentes latitudes e em distintas estações com um enfoque matemático, produzindo tabulações e mapas de grande detalhe, além de ter relacionado esses dados ao balanço de calor planetário produzido pelo albedo. Seus primeiros resultados foram publicados em 1920, em que apresentou a evolução do que chamou de “clima matemático” (DÍAZ, 1999).

Não somente os ciclos astronômicos podem influenciar no clima terrestre. Partindo do pressuposto que grande parte da energia presente na Terra provém do sol, as variações na atividade solar por meio da formação das manchas solares podem interferir de forma significativa na dinâmica climática. Períodos de menor atividade apontam para a diminuição da temperatura terrestre (SALGADO-LABOURIAU, 1994; PAROLIN, 2003). Por sua vez, Suguio e Suzuki (2003) sugerem que os períodos de aquecimentos globais, também, podem estar relacionados à reativação de superplumas no interior da Terra com intervalos de 30 milhões a 400 milhões de anos.

#### 4.1.2 – Teoria dos Refúgios Florestais

A presença de um clima mais seco e árido atuando em grande parte da América do Sul durante a Glaciação *Wisconsin* é evidenciada por diversos pesquisadores com base nos estudos de evolução da paisagem e especiação de espécies animais e vegetais (MAACK, 1948; AB'SABER, 1957; BIGARELLA; AB'SABER, 1964; HAFFER 1969; HAFFER E PRANCE, 2002; VANZOLINI, 1992; HAFFER, 1992).

Uma das teorias mais aceitas para explicar os mecanismos e padrões de distribuição de faunas e floras na América Neotropical durante o Quaternário, certamente, é a Teoria dos Refúgios Florestais (AB'SABER, 2002). Essa teoria foi proposta primeiramente por Moreau (1933) para explicar a distribuição das espécies de pássaros no Leste da África por meio das mudanças climáticas e ambientais pretéritas.

Não obstante, segundo Viadana e Cavalcanti (2006), Darwin em 1859 já havia elencado a hipótese que novas espécies de animais e vegetais poderiam surgir ou dispersar em virtude das mudanças climáticas e consequente dispersão e retração da biota em períodos glaciares. Em síntese essa teoria propõe que as flutuações climáticas, condicionadas pela atuação de um clima mais frio e seco, durante o Pleistoceno Superior levaram as florestas tropicais a ficarem refugiadas em áreas, principalmente de encostas e serras, onde o clima local se manteve mais úmido, propiciando a manutenção da vegetação arbórea. À medida que o clima se tornou mais úmido essas florestas se expandiram e ocuparam áreas antes dominadas pela vegetação de Savana (Cerrado) e Caatinga. Haffer (1992) evidencia que as áreas atualmente ocupadas pela Floresta Amazônica no passado foram substituídas pela vegetação mais aberta e até mesmos savanas.

Um dos principais responsáveis pela aplicação da Teoria dos Refúgios Florestais no Brasil foi Aziz Nacib Ab'Saber (1924-2012), a partir da década de 1950. Segundo esse autor, devido a maior abrangência da corrente marítima Falkland (Fria) durante o Pleistoceno, que chegava a banhar o litoral do Nordeste brasileiro, o clima se manteve mais árido e mais frio que o atual em todo o interior do continente sul-americano, sendo que a vegetação de caatinga, hoje restrita ao sertão nordestino, alcançava até o norte da Argentina. As áreas que formavam esses refúgios no passado são hoje potenciais núcleos de endemismo (VIADANA; CAVALCANTI, 2006). Viadana (2002) com base em um mapa elaborado por Ab'saber (1977), apresenta as condições climáticas atuais e paleoclimáticas na América do Sul, durante a Glaciação *Wisconsin*, ocorrida entre 13.000 a 18.000 anos AP.:

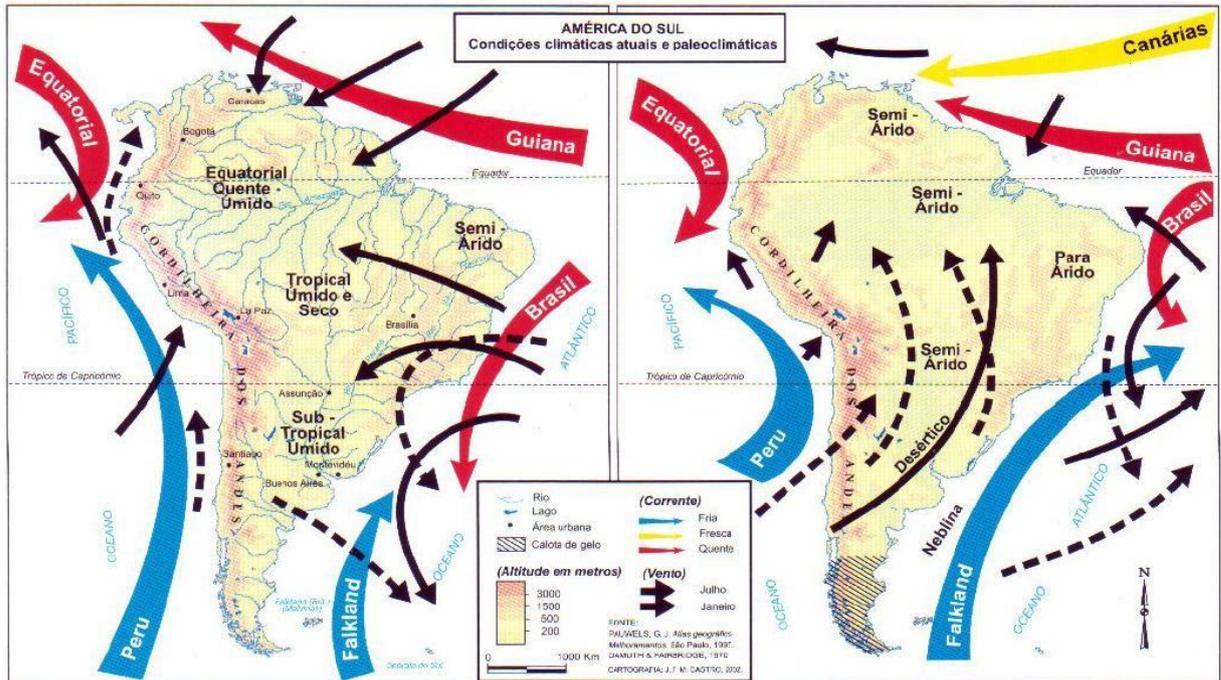


Figura 14: Condições climáticas atuais e paleoclimáticas na América do Sul, durante a Glaciação Wisconsin.

Fonte: Viadana (2002).

Segundo a Teoria dos Refúgios Florestais, a presença de áreas campestres na paisagem paranaense (Campos Gerais, Campos de Palmas, Campos de Guarapuava, cerrado de Sengés, Sabáudia e Campo Mourão) são importantes indicativos que esse tipo de vegetação foi dominante no mosaico florístico do Paraná em períodos pretéritos.

No entanto, Bush e Oliveira (2006) atestam a necessidade de cautela na utilização desse aporte teórico. Os autores asseveram que nos “anos dourados” da teoria a mesma não foi acompanhada por estudos de caráter paleobotânico. Nesse sentido, o levantamento de condições paleoambientais de sedimentos turfosos na região Centro Ocidental paranaense agrega informações sobre constituição botânica na região durante o final do Pleistoceno e durante o Holoceno.

#### 4.1.3 – Síntese dos estudos sobre as condições climáticas atuantes durante o Quaternário no Paraná

Os estudos sobre as variações climáticas no Paraná durante o Quaternário podem ser divididos em duas fases distintas: a primeira corresponde aos estudos de observação do solo, relevo e da vegetação relictual presente na paisagem paranaense e a segunda fase marcada pelos estudos sedimentológicos e paleoecológicos em consonância com o uso de datações absolutas (Figura 15).

Na primeira fase, Maack (1948) observou que os solos lateríticos presentes nas áreas de mata do Estado, somente poderiam ser originários sob um clima semiárido e com vegetação de savana. Assim, propôs que no passado a vegetação campestre era dominante no conjunto da paisagem, sendo que as áreas de campos ainda existentes constituem relictos de um clima pretérito mais seco em desacordo com as atuais características climáticas (MORO, 1998).

Estudos com o uso do aporte da Geomorfologia foram realizados por Bigarella (1964, 1971) e Bigarella *et al.* (1975), neles, é proposto um processo cíclico de evolução de vertentes, com base na ideia da alternância de processos de deposição/erosão que produziriam diferentes feições sob vigência de clima úmido/seco. Por sua vez, Ab'Saber (1957), propôs as linhas de pedras (*stone lines*) como resquícios de uma condição climática semiárida.

Por sua vez, os estudos fitogeográficos, geológicos e sedimentológicos com o intuito de analisar a evolução da vegetação no Paraná são relativamente recentes. Com base em Moro (1998) e juntamente com os estudos subquentes, pode-se destacar os trabalhos que tiveram como resultados:

- I. Predomínio de clima árido e frio no Pleistoceno Superior (?)40.000 a 8.000 anos AP. (STEVAUX, 2000), com formações de campo e savana entre 25.000 e 10.000 anos AP. (STEVAUX, 1993);
- II. Transgressão marinha em 12.000 anos AP., clima seco e mais quente (LESSA; ANGULO, 1995); vegetação campestre entre 11.000 e 8.000 anos AP. (LORSCHUITTER; TAKEDA, 1995);
- III. Expansão da floresta com *Araucaria angustifolia* Benth. (Kuntze) ocorreu a partir de 8.000 anos AP. (LORSCHUITTER; TAKEDA, 1995), com ótimo climático situado entre 6.000 e 4.000 anos AP., evidenciado por meandros em planície inundada no vale do Paraná (STEVAUX, 1994a);
- IV. Pequeno período árido entre 3.500 e 1.500 anos AP. (STEVAUX, 1994a, 2000); períodos secos em 2.420 anos AP. (BIGARELLA, 1971). No entanto, dados recentes propostos por Guerreiro (2011a), sugerem períodos úmidos na região do alto rio Tibagi em 3.220 anos AP., 2.770 anos AP. e 1.340 anos AP., caracterizado por ambiente pantanoso, porém com presença de mata galeria e campos em alta vertente;
- V. A partir de 1.500 anos AP., até o presente, prevalece um período úmido com estabelecimento da Floresta Estacional Semidecidual no vale do alto rio Paraná

(STEVAUX, 2000) com progressivo avanço da Floresta de Araucária nos Campos Gerais (GUERREIRO, 2011a).

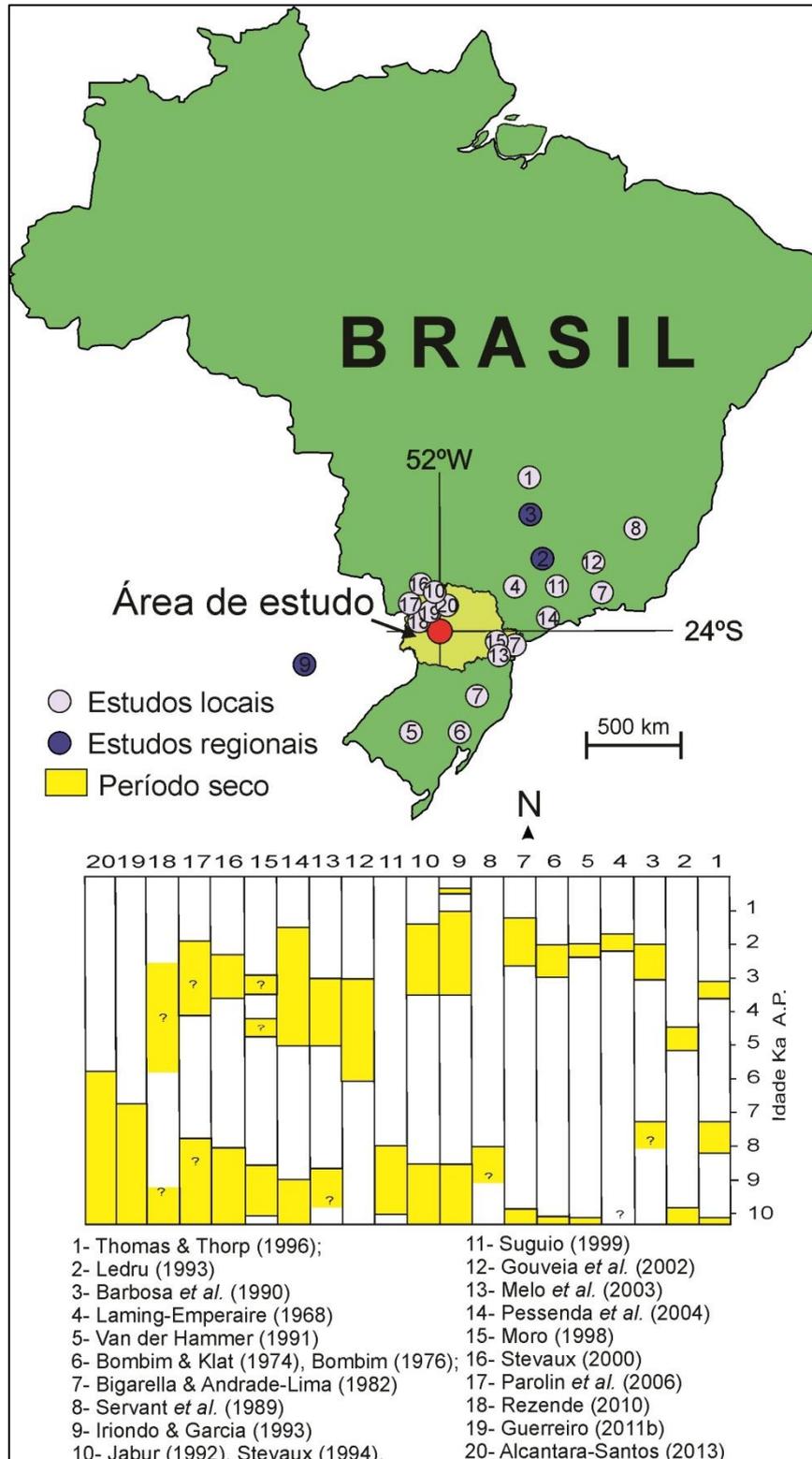


Figura 15: Mapa de correlação entre os trabalhos realizados na Região Centro-Sul do Brasil e principais períodos de clima seco no Holoceno.

Fonte: Adaptado e ampliado de Stevaux *et al.* (1997)

Diante do exposto, a presente pesquisa traz informações paleoambientais importantes de uma região muito importante no Estado do Paraná, pois se encontra muito próxima ao Trópico de Capricórnio e possui uma dinâmica vegetacional peculiar (ecótono entre a Floresta Ombrófila Mista, Floresta Estacional Semidecidual, Floresta de Transição e Cerrado). Além de agregar dados com datação absoluta.

#### 4.2 – FORMAÇÃO E CLASSIFICAÇÃO DAS TURFEIRAS

Após a crise energética mundial que elevou os preços do petróleo na década de 1970 houve um incremento nas pesquisas para encontrar fontes enérgicas alternativas. Nesse sentido, uma das possibilidades encontradas foi o uso do material turfáceo como combustível, além da utilização como material corretivo e condicionante para solos agrícolas (SILVA, 1995).

As turfeiras constituem depósitos de natureza orgânica, obtidos a partir da decomposição incompleta de restos vegetais em ambiente saturado de água sazonalmente capaz de criar condições anaeróbicas de desenvolvimento. Portanto, os depósitos turfáceos constituem um desequilíbrio entre a acumulação vegetal e a sua decomposição (SILVA, *op. cit.*; HORÁK, 2009). Não obstante, apresentam potencialidades para a utilização como material calorífico, em substituição às tradicionais fontes de energia (SILVA, *op. cit.*; GUERREIRO, 2011a).

As grandes reservas mundiais de turfa encontram-se principalmente no Hemisfério Norte. Zigang e Xintu (2001) asseveram que a América do Norte possui 43,5% da área total de turfeiras, seguida pela Ásia (28%) e pela Europa (24%). Menos de 5% das turfeiras encontra-se no Hemisfério Sul. De acordo com Lappalainen (1996) o Brasil apresenta uma reserva de pelo menos 35 mil km<sup>2</sup> de superfície coberta por turfeiras.

Em geral o ambiente ideal para a formação dos depósitos de turfa ocorre em pântanos, brejos e banhados saturados de água em grande parte do ano. Esses ambientes e suas adjacências favorecem o crescimento de certos tipos de vegetais, principalmente das famílias Potamogetonaceae, Typhaceae, Cyperaceae, Poaceae, musgos como da família Sphagnaceae, bem como árvores. A água exclui o ar, impossibilitando a degradação rápida dos restos vegetais, permitindo a preservação parcial. A destruição se processa por meio da

ação de fungos e bactérias anaeróbicas, promovendo a desintegração dos tecidos e facilitando a formação do humo (BUCKMAN; BRADY, 1968).

Buckman e Brady (1968) classificam as turfas em três classes principais de acordo com o estágio de decomposição da matéria orgânica e do seu material originário (Quadro 2):

Quadro 2: Classificação dos depósitos turfáceos

CLASSIFICAÇÃO	MATERIAL ORIGINÁRIO	CARACTERÍSTICAS
<b>Turfa Sedimentar</b>	Mistura de nenúfar ( <i>Nymphaea</i> ) espiga d'água ( <i>Potamogeton</i> ), ceratófilo ( <i>Ceratophyllum</i> ), pólen, plancto etc.	Encontra-se sempre na parte inferior do perfil, altamente coloidal, não possui utilidade para agricultura.
<b>Turfa Fibrosa</b>	Cyperaceae; musgos ( <i>Sphagnum</i> e <i>Hypnum</i> ); juncos ( <i>Phragmites communis</i> ) e outras gramíneas.	Elevado coeficiente de retenção de água e pode haver diferentes graus de decomposição, localiza-se acima da turfa sedimentar.
<b>Turfa Lenhosa</b>	Dicotiledôneas lenhosas e sua vegetação rasteira	É em geral encontrada na parte superior do depósito, possui reduzida capacidade de retenção de água, por sua vez é imprópria para a utilização como corretivo e adubo.

Fonte: Buckman e Brady (1968)

Alpern (1976) *apud* Silva (1995), levando em conta a origem geográfica, classifica as turfeiras em:

**Turfeiras parálicas** – que se caracterizam pela ligação com o mar, localizadas em antigas lagunas em vias de dessalinização.

**Turfeiras límnicas** – são turfeiras continentais que se formam em planalto e vales. As turfeiras de planalto são formadas por pequenos lagos que foram invadidos por plantas adjacentes. Por sua vez, as turfeiras de vale ocorrem em ambientes saturados de água próximos aos cursos dos rios.

Tibbers e Fraser (1978) *apud* Silva (1995), classificam as turfeiras em dois principais tipos conforme o grau de humificação ou decomposição:

“**Peat Moss**” – Turfa de musgos – não é humificada, apresenta evidências das estruturas vegetais, cor clara e alta capacidade de absorção de água.

“**Peat Fuel**” – Turfa combustível – altamente humificada, sem estruturas vegetais, menor capacidade de retenção de água e cor mais escura.

Por sua vez, Abreu (1973) classifica as turfeiras brasileiras em dois tipos principais: i) turfa de gramíneas, ciperáceas e outras plantas que ocorrem em pântanos; ii) turfa de algas com aspecto lamoso, sem evidências dos vegetais originários.

Outra forma de classificação dos depósitos turfosos é proposta pela classificação de *von Post* (aplicado para turfeiras), que foi simplificada por Stanek e Silc (1977), a qual leva em consideração o grau de decomposição do material orgânico. A escala de decomposição de *von Post* possui dez níveis de acordo com o grau de humosidade, e três classes de acordo com as características apresentadas (Quadro 3):

Quadro 3: Escala de decomposição de *Von Post* aplicado à turfeiras

Grau de Humosidade	Característica	Cor da água que flui entre os dedos	Fração da turfa que flui entre os dedos	Resta na mão		Classificação
				Forma	Estrutura Vegetal	
H – 1	Sem decomposição	Incolor	Não passa material sólido entre os dedos	Não tem aspecto gelatinoso	Estrutura vegetal nitidamente reconhecível	<b>Fibrosa</b>
H – 2	Muito pouco decomposto	Ligeiramente castanho				
H – 3	Muito fracamente decomposto	Castanho fraco				
H – 4	Decomposto fracamente	Muito castanho				
H – 5	Decomposto	Líquido bem escuro	Passa pouco	Apresenta aspecto gelatinoso	Reconhecíveis os vegetais	<b>Hêmica</b>
H – 6	Bem decomposto		Passa 1/3 do volume		Pouco reconhecíveis	
H – 7	Fortemente decomposto		Passa a metade		Muito pouco reconhecíveis	
H – 8	Muito fortemente decomposto		Passa 3/5 do volume		Fica na mão resíduos de fibras, raízes, etc.	
H – 9	Quase integralmente decomposto		Passa quase tudo			
H – 10	Completamente decomposto	Material flui integralmente entre os dedos	Sobra muito pouco na mão		<b>Sáprica</b>	

Fonte: Adaptado de Stanek e Silc (1977)

Os ambientes turfáceos, devido as suas características intrínsecas, constitui ambientes ideais para a preservação de palinomorfos, orgânicos e inorgânicos, como pólen, esporos de Pteridophytas, espículas de esponjas, diatomáceas e, em especial os fitólitos – objeto de investigação – que constituem importantes dados *proxies* sobre a dinâmica ambiental regional pretérita. Diante do exposto, foram estudados e caracterizados, de forma

inédita, os depósitos turfáceos presentes nas planícies aluviais do rio Água dos Papagaios e Ranchinho.

#### 4.3 – ISÓTOPOS ESTÁVEIS DO CARBONO

A utilização dos dados obtidos por meio dos isótopos estáveis do carbono ( $^{12}\text{C}$ ,  $^{13}\text{C}$  e  $^{14}\text{C}$ ) presentes na matéria orgânica do solo (MOS) tornou-se uma ferramenta imprescindível para os estudos de reconstrução ambiental e climática. Segundo Pessenda *et al.* (2005), os estudos utilizando essa ferramenta iniciaram no Brasil com os trabalhos de Pessenda *et al.* (1993), Valência (1993) e Lucas *et al.* (1993), oferecendo dados bastantes precisos, desde  $\pm$  50.000 anos AP., sobre a sucessão vegetacional.

Cada elemento possui um isótopo “leve” dominante ( $^{12}\text{C}$ ,  $^{14}\text{N}$ ,  $^{16}\text{O}$ ,  $^{32}\text{S}$ ,  $^1\text{H}$ ) e um ou mais isótopos pesados ( $^{13}\text{C}$ ,  $^{15}\text{N}$ ,  $^{17}\text{O}$ ,  $^{18}\text{O}$ ,  $^{32}\text{S}$ ,  $^2\text{H}$ ) os quais possuem abundância próxima a 1%. As reações químicas e físicas discriminam os isótopos pesados. Não obstante, há discriminação dos isótopos do carbono nos processos biológicos do ciclo fotossintético e fixação do nitrogênio  $^{15}\text{N}$ , no caso plantas de ciclo fotossintético  $\text{C}_3$  (árvores),  $\text{C}_4$  (gramíneas) e CAM (orquídeas, cactos, entre outros) (BERRIER; PROSSER, 1996 *apud* PESSENDA *et al.*, 2005).

A variação entre os isótopos nas plantas e na matéria orgânica do solo diferem em torno de 2‰ ou 20 partes por mil (Figura 16). O sinal isotópico de plantas  $\text{C}_3$  varia de -32‰ a -20‰, com uma média de -27‰ e as plantas  $\text{C}_4$  de -17‰ a -9‰, com uma média de -13‰, com uma diferença de aproximadamente 14‰ (BOUTTON, 1991). Para quantificar essa diferença é necessária a utilização de métodos que apresentem alta precisão, geralmente é utilizados um espectrômetro de massa (PESSENDA, 2010).

A razão isotópica obtida é então comparada com a razão isotópica padrão PDB (molusco fóssil *Belemnitella americana* da Formação Peedee), expressa por meio da seguinte fórmula:

$$\delta^{13}\text{C}_{PDB} (\text{‰}) = \left[ \frac{R_{amostra} - R_{padrão}}{R_{padrão}} \right] \times 1000 \text{ onde } R = \frac{^{12}\text{C}}{^{13}\text{C}}$$

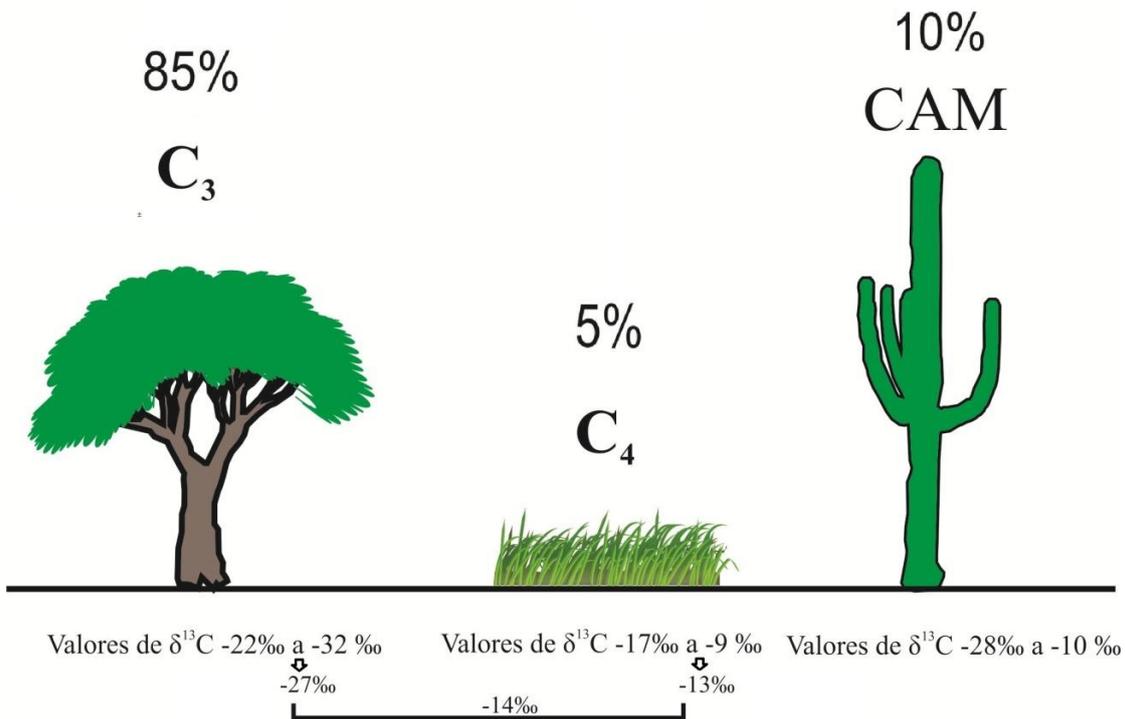


Figura 16: Valores isotópicos dos diferentes ciclos fotossintéticos (C<sub>3</sub>, C<sub>4</sub> e CAM) e percentual de ocorrência na natureza.

Fonte: Dados extraídos de Button (1991), figura adaptada de Alcantara-Santos (2013).

Não obstante, a razão C/N, promovida pela fixação do nitrogênio <sup>15</sup>N nos ciclos fotossintéticos, também oferece importantes informações que auxiliam na reconstrução paleoambiental. A razão C/N distingue dois tipos de material: i) material com pouca estrutura celulosa, originadas por algas e fitoplâncton, caracterizadas por razões entre 4 e 10, e ii) material orgânico com estrutura celulosa, produzida por plantas terrestres, caracterizadas por razões  $\geq 20$  (MEYERS; ISHIWATARI, 1993; MEYERS, 1994).

#### 4.4 – FITÓLITOS<sup>4</sup>

##### 4.4.1 – Definição e características dos fitólitos

Fitólitos são partículas de sílica hidratada que se formam durante o crescimento da planta, e, que são liberados quando a planta morre e se decompõe. O termo “fitólito”, por

<sup>4</sup> A presente revisão bibliográfica foi estruturada na forma de artigo e encaminhado à Revista Terra Didática sob o título “O estado atual das pesquisas sobre fitólitos no Brasil” aguardando parecer (ANEXO I). Sobre os trabalhos realizados com fitólitos no Estado do Paraná, foi publicado e apresentado no I Simpósio Nacional de Métodos e Técnicas na Geografia - outubro de 2013, o trabalho intitulado “Estágio atual das pesquisas sobre fitólitos no Estado do Paraná, Brasil” (ANEXO II)

vezes denominado silicofitólitos ou sílica opala, possui origem grega e significa literalmente “pedra de planta” (PIPERNO, 1991). De acordo com Piperno (2006), o primeiro trabalho desenvolvido sobre fitólitos em plantas foi publicado pelo alemão Gustav Adolph Struve (1811-1869) no ano de 1835<sup>5</sup> e constituíram-se objeto de estudos de grande número de botânicos alemães no início do século XX. Porém, esses estudos ficaram a margem da ciência moderna devido a sua morfologia e produção serem insuficientemente compreendidas. Somente a partir da década de 1970, um grupo de arqueobotânicos começou a explorar a potencialidade da análise fitolítica, no entanto, tiveram que reiniciar as pesquisas e entender os complexos processos de formação, acumulação e identificação (PIPERNO, 1991).

Piperno (2006) enumera ao menos quatro fases nas pesquisas sobre fitólitos:

I) Fase exploratória – compreendida desde a descoberta por Struve em 1835 a 1895 com o desenvolvimento das pesquisas realizadas pelo naturalista alemão Christian Gottfried Ehrenberg (1795-1876), que forjou o termo “Phytolitharia” e formou o primeiro sistema de classificação;

II) Fase botânica (1895-1936) – quando os fitólitos passaram a ser objeto de estudo de um grande número de botânicos alemães que desenvolveram estudos sobre a produção, morfologia e taxonomia dos corpos de sílica (*Kieselkörper*). Porém as pesquisas foram interrompidas pela emergência do regime nazista e a subsequente II Guerra Mundial;

III) Fase ecológica (1955-1975) – período em que se iniciam as aplicações por ecologistas, pedólogos, agrônomos e botânicos, primeiramente nos Estados Unidos, posteriormente no Reino Unido, Austrália e Rússia. Após o estudo realizado por Rovner (1971) começou a ser difundida a pesquisa com base nos fitólitos entre os paleoecologistas.

IV) Desde 1978 vivencia-se o período da aplicação arqueológica e paleoambiental. Os arqueologistas utilizam os fitólitos como um marcador *proxy* do uso pré-histórico das plantas, domesticação e do ambiente. Nas pesquisas paleoecológicas os fitólitos tem servido como *proxies* sobre a vegetação passada bem como uma poderosa ferramenta complementar aos estudos palinológicos e aqueles envolvendo isótopos estáveis da matéria orgânica do solo.

O processo de produção dos fitólitos inicia-se quando a sílica dissolvida presente na solução do solo, conhecida como ácido monossílico ( $H_4SiO_4$ ) é absorvida pelo sistema radicular e depositada nos espaços intracelulares, paredes celulares e lumina (células interiores) em qualquer órgão durante o crescimento da planta. Nas estruturas aéreas, como

---

<sup>5</sup> STRUVE, G.A. **De silica in plantis nonnullis**. Phil. Diss.: Berlin, 1835.

folhas, frutas e brácteas a presença de sílica sólida é mais comum que em órgãos subterrâneos (PIPERNO, 1991).

Existem ao menos dois mecanismos na acumulação de sílica sólida e produção de fitólitos em plantas. O primeiro é ativo, que por sua vez, é controlado pela planta por meio dos mecanismos genéticos e fisiológicos ligados à formação de fitólitos nas células. O segundo é passivo e está relacionado às condições climáticas locais e o ambiente de crescimento da planta. Porém, em muitas espécies os dois mecanismos são atuantes (PIPERNO, 2006).

Mesmo após a morte da planta esses corpos de sílica opala não são destruídos e são depositados em solos ou sedimentos, com uma grande variedade de tamanhos e formas. Por serem materiais inorgânicos preservam-se por longos períodos de tempo, constituindo os fósseis mais duráveis de plantas terrestres que a ciência conhece e, também, sua análise se constitui como uma importante ferramenta para estudos de reconstrução paleoambiental (PIPERNO, *op. cit.*).

As razões da produção de fitólitos pelas plantas ainda são poucos conhecidas, porém Madella (2009) salienta ao menos quatro ensejos: i) oferecer suporte mecânico para as células; ii) dar força aos órgãos e estruturas da planta; iii) proteger a planta de herbívoros e parasitas e iv) neutralizar ânions e cátions nocivos ao desenvolvimento das plantas.

Os estágios de desenvolvimento de fitólitos nas plantas estão relacionados a um grande número de fatores, incluindo ambiente climático de crescimento, tipo de solo, a quantidade de água no solo, idade da planta e, o mais importante, que é a afinidade taxonômica para a produção de fitólitos (MADELLA, 2009). A produção de fitólitos possui uma regularidade maior em plantas superiores – monocotiledôneas, dicotiledôneas e pteridófitas (PIPERNO, 2006).

Os fitólitos, devido as suas características intrínsecas (ex: produção relativa as condições fisiológicas e ambientais, resistência a dissolução e ubiquidade) pode constituir um importante indicador do ambiente de formação e dos processos de pedogênese, bem como tafonômicos (OSTERRIETH *et al.*, 2009). Existe uma enorme empregabilidade da análise fitolítica nos diversos campos do conhecimento (arqueologia, paleoecologia, paleobotânica, agronomia, pedologia, paleoetnobotânica), em virtude da potencialidade para a reconstrução ambiental pretérita, além da complementação aos estudos de isótopos estáveis e palinológicos quando a preservação de pólen é escassa.

As plantas apresentam uma enorme multiplicidade e redundância na produção dos fitólitos. Uma única forma pode aparecer em diversas espécies, raramente uma forma em

específico pode ser relacionada a um táxon, nesse sentido a “assembleia fitolítica” deve sempre ser considerada e cuidadosamente analisada. As assembleias fósseis de fitólitos devem ser sempre acompanhadas da comparação com assembleias modernas, coletadas nos horizontes superiores do solo ou em superfícies de erosão (BREMONT *et al*, 2005).

Algumas famílias de plantas apresentam maior aptidão a produção e acumulação de corpos silicosos (Poaceae, Cyperaceae, Ulmaceae, Fabaceae, Curcubitaceae, Asteraceae) (Quadro 4). Entretanto, nessas famílias pode haver espécies produtoras e não produtoras. Os fitólitos apresentam produção e acumulação *in situ*, no entanto, quando submetido ao fogo, vento e atividade hídrica podem percorrer distâncias consideráveis (RAPP; MULHOLLAND, 1992). As Poaceae (gramíneas) são conhecidas como grandes produtoras de fitólitos, cerca de 20x superiores as dicotiledôneas lenhosas, podendo atingir de 1% a 5% de sílica no peso seco (WEBB; LONGSTAFFE, 2000).

Quadro 4: Padrão de produção de fitólitos

	<b>ALTA PRODUÇÃO DE FITÓLITOS</b>	<b>PRODUÇÃO REGULAR OU EM ALGUM GÊNERO</b>	<b>PRODUÇÃO BAIXA OU RARA</b>
<b>PTERIDÓFITAS</b>	Cyatheaceae; Equisetaceae; Hymenophyllaceae Selaginellaceae.	Polypodiaceae	
<b>ANGIOSPERMAS</b>	Annonaceae; Magnoliaceae	Aristolochiaceae; Chloranthaceae; Hernandiaceae; Piperaceae;	Myristicaceae; Nymphaeaceae; Winteraceae.
<b>GIMNOSPERMAS</b>		Cupressaceae; Pinaceae; Taxaceae; Taxodiaceae;	Araucariaceae; Cycagaceae; Gnetaceae; Podocarpaceae.
<b>MONOCOTILEDÔNEAS</b>	Arecaceae; Bromeliaceae; Commelinaceae; Costaceae; Cyperaceae; Heliconiaceae; Marantaceae; Musaceae; Orchidaceae; Poaceae; Zingiberaceae.	Flagellariaceae; Joinvilleaceae; Restionaceae.	Agavaceae; Alismataceae; Amaryllidaceae; Araceae; Burmanniaceae; Cyclanthaceae; Dioscoreaceae; Eriocaulaceae; Hydrocharitaceae; Iridaceae; Juncaceae; Liliaceae; Pontederiaceae; Potamogetonaceae; Smilacaceae; Triuridaceae
	Acanthaceae; Aceraceae;	Capparaceae; Combretaceae;	Amaranthaceae; Apiaceae;

<b>EUDICOTILEDÔNEAS</b>	Asteraceae; Boraginaceae; Bursaceae; Chrysobalanaceae; Cucurbitaceae; Dilleniaceae; Podostemaceae; Ulmaceae; Urticaceae	Clusiaceae; Dipterocarpaceae; Euphorbiaceae; Fabaceae; Fagaceae; Flacourtiaceae; Loranthaceae; Malvaceae; Menispermaceae; Sapotaceae; Sterculiaceae; Verbenaceae;	Apocynaceae; Bignoniaceae; Cactaceae; Caricaceae; Convolvulaceae; Lauraceae; Meliaceae; Myrtaceae; Polygonaceae; Solanaceae, etc.
-------------------------	---	--	--

Fonte: adaptado de Piperno (2006)

A utilização dos fitólitos como ferramenta de reconstrução paleoambiental depende impreterivelmente das condições da sua estabilidade em solos e em sedimentos. Há amplas evidências que a preservação dos fitólitos está relacionada a diversos fatores: a) pH do solo (valores acima de pH 9 que tendem a acelerar o processo de dissolução, principalmente em ambientes quentes e úmidos); b) tipo de fitólito (os fitólitos produzidos nas células são mais duráveis que os produzidos nas paredes celulares); c) elementos como Fe e Al quando absorvidos juntamente com a sílica parecem proteger os fitólitos contra a dissolução; d) condições favoráveis de preservação no ambiente de deposição e e) superfície do fitólitos, as formas que apresentam maior área são mais atacadas pela dissolução (PIPERNO, 2006).

#### 4.4.2 – Morfologia e classificação dos fitólitos

Smithson (1956) comparou os fitólitos presentes no solo com os produzidos nas células epidérmicas de gramíneas que crescem na mesma área, dando início aos trabalhos de reconhecimento e classificação fitolítica. Smithson encontrou seis morfologias que possibilitavam distinguir os fitólitos da subfamília Festucoideae (agora Pooideae) e Panicoideae. Baker (1959) analisando os fitólitos presentes em solos na Austrália propôs uma nomenclatura baseada na anatomia das gramíneas e plantas selecionadas, no entanto, não conseguiu traçar uma taxonomia unitária (TWISS *et al.*, 1969).

Posteriormente Twiss *et al.* (1969) no ensejo de retomar as pesquisas com o objetivo de classificação, propuseram uma nomenclatura que levassem em consideração os aspectos geométricos dos fitólitos e os tecidos onde são formados. Os autores trabalharam com 17 espécies comuns de gramíneas, 26 tipos de fitólitos, divididos em quatro classes, foram encontrados em três subfamílias de Poaceae: a Classe Festicoideae (Pooideae) (em que foram analisadas as plantas domésticas) apresentaram oito tipos que são circular, retangular, elíptico

e oblongo. A classe Chloridoideae (gramíneas baixas) apresentou duas variações de *Saddle*, enquanto que a classe Panicoideae (gramíneas altas) apresentou 11 tipos de variação entre *Cross* e *Bilobates*. A classificação de Twiss *et al.* (1969), baseava-se principalmente pela geometria dos fitólitos (Figura 17), o formato *Elongate* apareceu em todas as espécies não tendo um valor taxonômico substancial. A análise desenvolvida pelos autores possibilita determinar se os fitólitos encontrados no solo, serrapilheira ou sedimentos são origem local ou são provenientes de outras fontes.

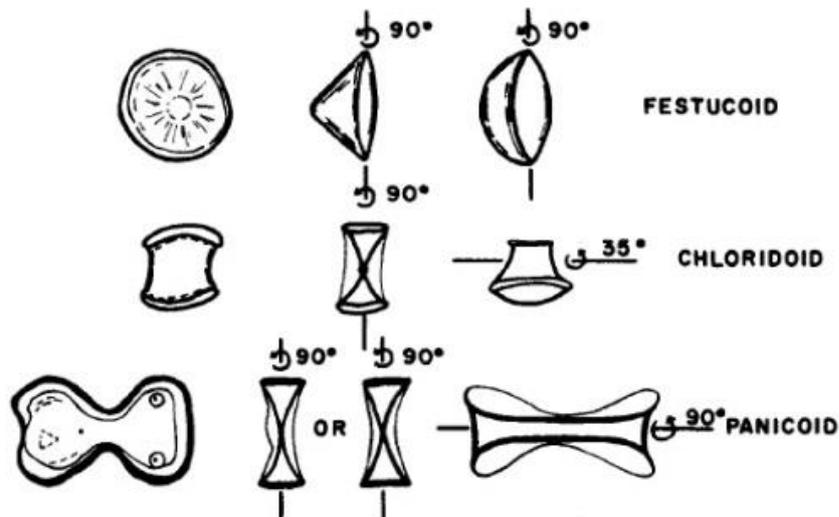


Figura 17: Formas de fitólitos induzidas pela orientação.  
Fonte: Twiss *et al.* (1969)

Twiss *et al.* (1969) também identificou que há ao menos três divisões de produção de fitólitos na epiderme da planta (Figura 18), utilizando como exemplo a espécie *Zea mays* L. (milho).

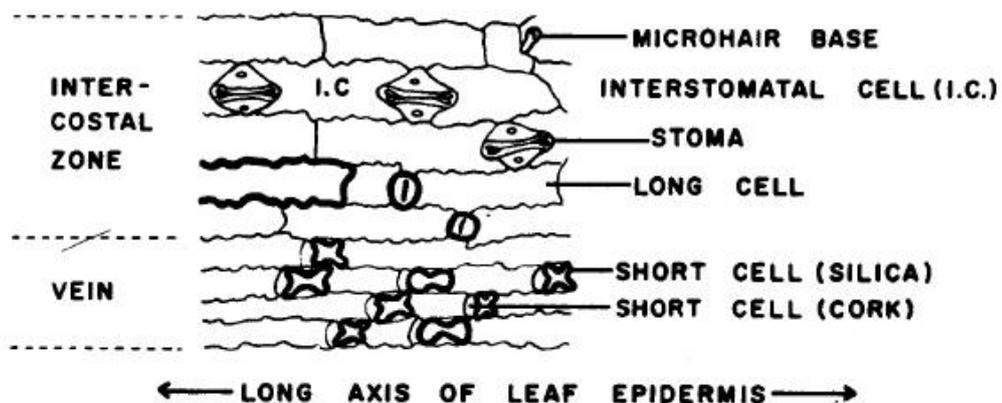


Figura 18: Espodograma de *Zea mays* L.  
Fonte: Twiss *et al.* (1969)

Rovner (1971) assevera que os fitólitos apresentam redundância e multiplicidade em suas formas. Multiplicidade refere-se a produção de grande quantidade de formas por um único táxon. Enquanto que a redundância a produção de uma forma em particular por diversos táxons. Fato constatado por Twiss *et al.* (1969) lembrando que a análise da assembleia fitolítica deve ser minuciosa.

Brown (1984) certifica que a produção de fitólitos é suficientemente consistente para interpretações ecológicas. Brown lança a hipótese de que a razão de *Bilobates*, *Saddles* e *Trapeziform sinuate* indicaria relativa importância nos estudos dos ciclos fotossintéticos C<sub>3</sub> e C<sub>4</sub> em gramíneas. No entanto, assevera a necessidade de cautela nas interpretações.

Mulholland (1989), com uma profunda revisão bibliográfica avança no ensino de classificação. Identifica que as formas características de subfamílias encontradas por Twiss *et al.* (1969) não podem ser empregadas para todas as espécies. *Saddles* são encontradas em Chloridoideae, mas também podem ser encontradas na subfamília Bambusoideae. *Bilobates* e *Cross* são típicos de todas as espécies Panicoid, mas também aparecem no gênero *Aristida*, uma não-panicoid e no gênero *Hilaria*, da subfamília Chloridoideae.

Coe *et al.* (2011), com base em Twiss *et al.* (1969); Twiss (1992) e Kondo *et al.* (1994), apresenta as características básicas, no que se refere a produção de fitólitos, nas subfamílias das Poaceae:

**I. Panicoideae** – Poaceae altas de ciclo fotossintético C<sub>4</sub>, típica dos climas quentes e úmidos, mas existem também algumas Panicoideae de ciclo fotossintético em C<sub>3</sub>, que crescem em áreas de sombra, principalmente nas áreas de contato com as florestas tropicais. Produzem, sobretudo, fitólitos de tipos *Bilobate* e *Cross*.

**II. Chloridoideae** - Poaceae baixas de ciclo fotossintético em C<sub>4</sub> adaptadas às regiões quentes e secas ou a condições edáficas secas, produzem, sobretudo, fitólitos de tipo *Saddle*.

**III. Pooideae** – Poaceae de ciclo fotossintético C<sub>3</sub>, abundantes em regiões temperadas, frias e/ou de altitude em zona intertropical, produzem sobretudo fitólitos de tipos *Rondel* e *Trapeziform*.

**IV. Arundinoideae** – Poaceae em C<sub>3</sub>, encontradas em todos os tipos de clima e não produzem fitólitos de tipo característico; produzem também fitólitos de tipos *Rondel*, *Bilobate*, *Polilobate* e *Cross*.

**V. Bambusoideae** - Poaceae em  $C_3$ , características das zonas tropicais e temperadas quentes, essencialmente florestais, não produzem fitólitos de tipo característico, mas produzem os tipos *Bilobate*, *Polilobate* e *Cross*.

Piperno e Sues (2008) relatam as principais morfologias de fitólitos presentes na filogenia da família Poaceae (Figura 19).

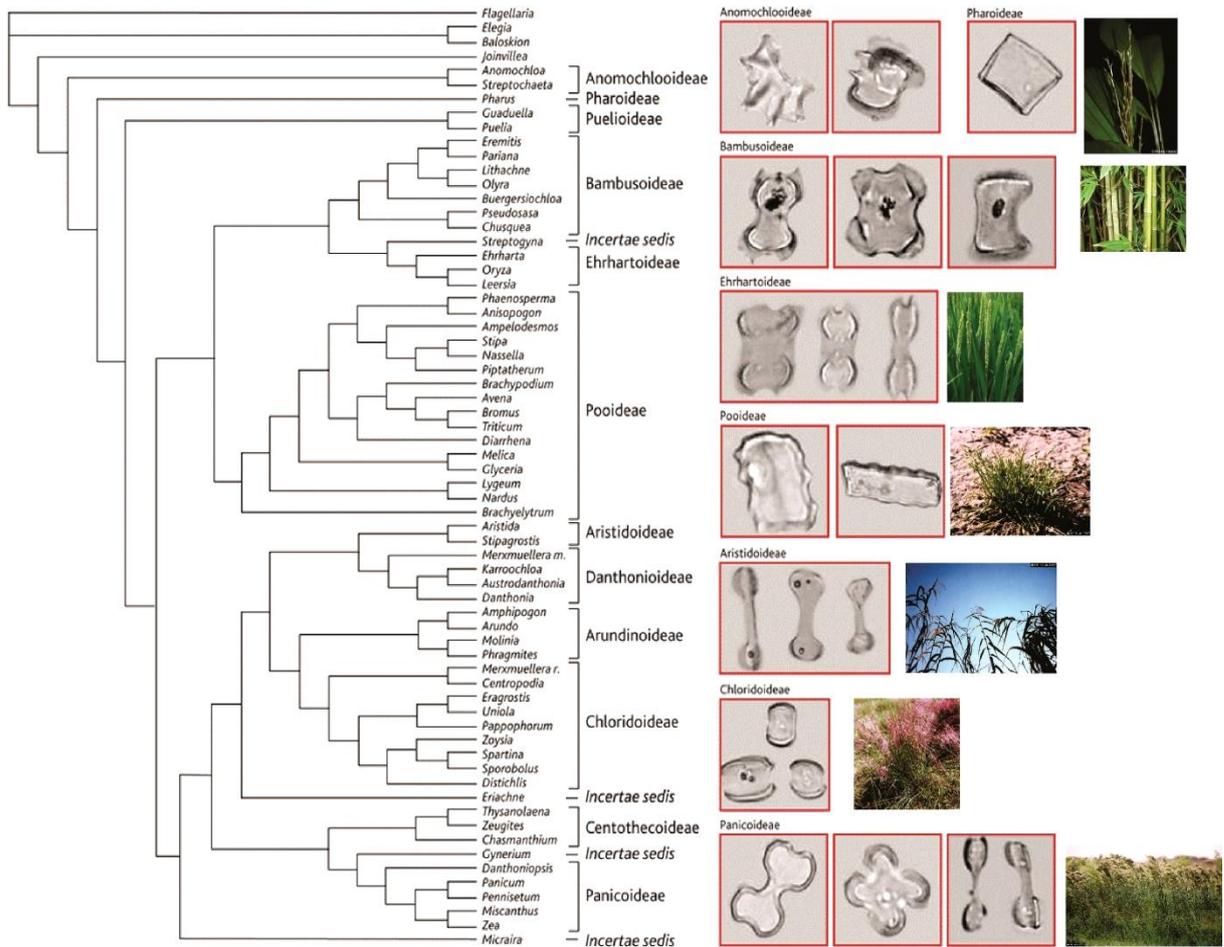


Figura 19: Principais morfologias das subfamílias das Poaceae.

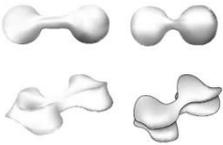
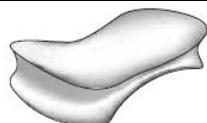
Fonte: Adaptado de Piperno e Sues (2008)

Coe (2009), apresenta um quadro indicando os principais morfotipos, táxon, ambiente e representação dos fitólitos (Quadro 5).

Com o objetivo de unificar e padronizar a nomenclatura utilizada na classificação dos corpos silicosos, foi criado durante o *3rd International Meeting on Phytoliths Research*, ocorrido em Bruxelas (agosto de 2000), o *International Working Group on Phytolith Nomenclature* (IWGPN). Esse grupo ficou responsável pelo desenvolvimento do *International Code for Phytoliths Nomenclature 1.0* (ICPN), com a finalidade de aprimorar a comunicação entre os pesquisadores, além de facilitar a compreensão dos morfotipos e sua

análise. O ICPN estabeleceu um **protocolo padrão** de nomeação e descrição de um novo (ou já conhecido) morfotipo, além da criação de um **glossário de descrições** (substantivos e adjetivos) para serem utilizados na nomenclatura e descrição (MADELLA *et al.*, 2005).

Quadro 5: Principais formas e características dos fitólitos

TIPO	TÁXON	AMBIENTE	REPRESENTAÇÃO Madella <i>et al.</i> (2005)
<b>Bilobate short cell</b> ( <i>dumbbell</i> ) (Barboni <i>et al.</i> , 1999)	<b>Gramíneas</b> sobretudo Panicoideae alta C <sub>4</sub> , também algumas Panicoideae C <sub>3</sub> ; Chloridoideae, Arundinoideae e Bambusoideae	<b>Quente úmido</b> Áreas à sombra, sob o dossel de florestas tropicais	
<b>Saddle</b> (Barboni <i>et al.</i> , 1999)	<b>Gramíneas</b> sobretudo Chloridoideae baixas C <sub>4</sub> ; algumas Bambusoideae C <sub>3</sub> , Arundinoideae C <sub>3</sub>	Regiões secas de baixa latitude e altitude ou condições edáficas	
<b>Rondel</b> ( <i>conical, circular</i> ) (Barboni <i>et al.</i> , 1999)	<b>Gramíneas</b> sobretudo Pooideae C <sub>3</sub> , também Bambusoideae C <sub>3</sub>	Regiões temperadas, frias e altas elevações intertropicais	
<b>Elongate echinate long cell</b> ( <i>elongate spiny</i> ) (Barboni <i>et al.</i> , 1999)	<b>Gramíneas</b> <i>long cells</i> de todas as gramíneas		
<b>Elongate psilate</b> ( <i>elongate smooth</i> )	<b>Gramíneas</b> <i>long cells</i> de todas as gramíneas		
<b>Cylindrical polylobate</b>	<b>Gramíneas</b> predominam nas Panicoideae (C <sub>4</sub> e C <sub>3</sub> )	Clima quente úmido	
<b>Trapeziform short-cell</b> ( <i>rectangular</i> )	<b>Gramíneas</b> Pooideae	Regiões temperadas, frias e altas elevações intertropicais	
<b>Acicular hair cell</b> ( <i>point-shaped</i> )	<b>Gramíneas</b> ( <i>micro-hair</i> ou <i>prickles</i> de todas as epidermes); também nas Palmae, sementes de outras plantas		
<b>Bulliform cell</b> <b>Cuneiform</b> ( <i>fan-shaped</i> ) <b>Parallelepipedal</b>	<b>Gramíneas</b> (células buliformes de todas as epidermes)		

<b>Globular granulate</b> ( <i>spherical rugose</i> )	<b>Dicotiledôneas lenhosas</b> (troncos de árvores e arbustos tropicais)		
<b>Globular psilate</b> ( <i>spherical smooth</i> )	<b>Dicotiledôneas</b> (epidermes de folhas e parênquima) <b>Gramíneas</b> (raízes e sementes)		
<b>Globular echinate</b> ( <i>Crenate spherical</i> )	Troncos e folhas das <b>Arecaceae</b> <b>Bromeliaceae</b> <b>Marantaceae</b>		

Fonte: Adaptado de Coe (2009)

A nomenclatura proposta pelo ICPN segue três parâmetros principais, podendo conter de uma a três palavras: a) primeiramente leva-se em conta o formato do fitólito, b) seguido pela textura e/ou ornamentação e posteriormente c) descrição a partir da origem anatômica do fitólito (MADELLA *et al.*, 2005).

#### 4.5 – ÍNDICES FITOLÍTICOS

Com o avanço das pesquisas que utilizam assembleias modernas, com o ensejo de calibração, foi possível a elaboração de índices matemáticos que caracterizassem determinados ambientes e condições climáticas de crescimento. A seguir são apresentados os principais índices utilizados na literatura científica, a grande maioria está calibrada para a África intertropical. No Brasil essas pesquisas ainda não estão bem desenvolvidas.

##### 4.5.1 Índice de cobertura arbórea (índice D/P)

Esse índice foi proposto por primeiramente por Alexandre *et al.* (1997) que corresponde o número de fitólitos característicos de dicotiledôneas lenhosas (*globular granulate*) dividido pela soma dos fitólitos de Poaceae (*bilobate short cell + cross + saddle + acicular + elongate + cuneiform + parallepiped bulliform cells*). Posteriormente, Bremond *et al.* (2005) propõe a adoção do índice D/P<sup>0</sup> onde seria somado apenas os fitólitos *short cell* das Poaceae, excluindo os fitólitos produzidos pelas células buliformes. Esse índice, calibrado para a África tropical, deve ser empregado apenas nas áreas intertropicais de altitude baixa (BREMOND *et al.*, 2008).

$D/P = \text{Globular granulate} / (\text{bilobate short cell} + \text{cross} + \text{saddle} + \text{acicular} + \text{elongate} + \text{cuneiform} + \text{parallepiped bulliform cells}) \times 100$

$D/P^0 = \text{Globular granulate} / (\text{bilobate short-cell} + \text{cross} + \text{saddle}) \times 100$

### 3.5.2 Índice de adaptação à aridez (índice *Iph*)

Esse índice foi proposto por Diester-Haass *et al.* (1973) ao estudar os sedimentos marinhos da África Ocidental para identificar períodos de transição umidade-aridez durante o pleistoceno. Esse índice é ótimo indicador da relação entre as gramíneas de ciclo fotossintético C<sub>4</sub> baixas (*Chloridoideae*) e C<sub>4</sub> altas (*Panicoideae*) (TWISS *et al.*, 1992). Representado pela seguinte equação:

$Iph (\%) = [\text{Saddle} / (\text{saddle} + \text{cross} + \text{bilobate short cell})] \times 100$

O índice *Iph* elevado caracteriza as formações de gramíneas dominadas por *Chloridoideae* (*xerophitic short grass savanas*) sob condições quentes secas. Um *Iph* baixo caracteriza formações vegetais em que as gramíneas da família *Panicoideae* (C<sub>4</sub> mesofíticas) são dominantes, sob clima quente e úmido (BARBONI *et al.*, 1999).

### 3.5.3 Estresse Hídrico (Índice *Bi*)

Esse índice representa a proporção de fitólitos *Bulliform cuneiform* em relação à somatória dos outros fitólitos produzidos pelas *Poaceae* (BREMONT *et al.*, 2005). Sabe-se que as gramíneas são as principais responsáveis pela produção de *Bulliform cuneiform* em suas células buliformes. No entanto, quando há um estresse hídrico agindo sobre a planta faz com que haja maior precipitação desses fitólitos na epiderme da planta (BREMONT, 2003). Esse índice permite estimar a aridez do ambiente em que a assembleia fitolítica foi formada.

$Bi \% (Fs) = \text{Bulliform} / [(\text{short cells} + \text{acicular} + \text{bulliform})] \times 100$

### 3.5.4 Índice Climático (Índice *Ic*)

Esse índice foi proposto primeiramente por Twiss (1987). Corresponde à relação entre o total de fitólitos de gramíneas C<sub>3</sub> com o restante dos fitólitos de gramíneas. As regiões em que as Pooideae são dominantes apresentam um Ic elevado, enquanto que as dominadas pelas Panicoideae e Chloridoideae apresenta Ic baixo. Entretanto, a abundância de Arundinoideae e Bambusoideae, que não produzem fitólitos distintivos, pode influenciar estatisticamente o índice (COE, 2009).

$$Ic (\%) = [(Rondel + Trapeziform\ polylobate + Trapeziform\ short\ cell) / (Rondel + Trapeziform\ polylobate\ short\ cell + Trapeziform\ short\ cell + Saddle + Cross + bilobate\ short\ cell)] \times 100$$

Sabe-se que nas regiões tropicais e subtropicais, as gramíneas C<sub>4</sub> são dominantes até 2000 m acima do nível do mar, enquanto que as gramíneas C<sub>3</sub> dominam nas elevações mais altas. Nas latitudes entre 30-45° as gramíneas C<sub>3</sub> dominam (TWISS, 1992).

A utilização dos índices fitolíticos apresentam importantes indicadores das condições ambientais pretéritas. No entanto, sua utilização pelos pesquisadores brasileiros ainda são restritas, principalmente em virtude da falta de trabalhos que versam sobre a calibração desses índices aos biomas brasileiros.

#### 4.6 – ESTUDOS SOBRE FITÓLITOS NO BRASIL

Os estudos sobre fitólitos em plantas atuais, bem como o seu uso como ferramenta de reconstrução paleoambiental ainda são incipientes no Brasil. Os estudos pioneiros de descrição em plantas atuais iniciaram-se ainda na década de 1960, no entanto, nas décadas seguintes a produção científica com essa temática tornou-se esparsa, adquirindo maior regularidade de publicação na última década. A seguir são detalhadas as principais pesquisas que versam tanto sobre os estudos de classificação e morfologia quanto os estudos que fazem uso desse aparato como recurso (dado *proxy*) para a reconstrução paleoambiental (Figura 20).

##### 4.6.1 Estudos sobre morfologia de fitólitos em plantas atuais

Dentre os trabalhos de identificação de fitólitos atuais no Brasil, destaca-se a pesquisa pioneira de Sendulsky e Labouriau (1966), sob o título “Corpos silicosos de

gramíneas dos Cerrados I”, que realizaram um estudo preliminar de 55 espécies de gramíneas do Cerrado com o objetivo de agregar maiores informações sobre a formação dos fitólitos que pudessem ser utilizados na taxonomia e na diferenciação da vegetação de Cerrado. As gramíneas do Cerrado apresentaram grande abundância e boa variedade de corpos silicosos, com trechos da epiderme das plantas inteiramente silicificados, inclusive as células dos estômatos.

Ainda na década de 1960, Cavalcante (1968) realizou a descrição dos corpos silicosos das gramíneas amazônicas, tendo como foco a subfamília Panicoideae. No trabalho, o autor inclui as tribos Melinideae, Andropogoneae e Tripsaceae pertencentes à flora Amazônica, identificando grupos distintos de morfologias dos fitólitos, ao distribuir os corpos silicosos em três grupos que variam quanto a sua forma.

Posteriormente, em trabalhos contíguos, Campos e Labouriau (1969) estudaram os fitólitos produzidos por dez espécies de gramíneas ocorrentes em Cerrados, como parte de um levantamento morfológico de corpos silicosos característicos de plantas do Brasil, cuja finalidade básica consiste na obtenção de informações qualitativas primordiais para a investigação das oscilações de fronteiras entre Cerrados e demais formações botânicas adjacentes por meio de fitólitos. Para o estudo dos corpos silicosos, os autores propõem o aperfeiçoamento da técnica de preparação, mediante a extração preliminar do material alcalino antes da incineração, de modo a evitar fusão alcalina de sílica e, ainda, pela realização de um ensaio em branco. As semelhanças e diferenças que se observam entre as espécies estudadas pelos autores e o estudo preliminar que o precedeu (Sendulsky & Labouriau, 1966) já permitem entrever o significado taxonômico dos corpos silicosos.

Dando continuidade aos trabalhos atinentes ao levantamento das formas dos corpos silicosos característicos de gramíneas do Cerrado, Silva e Labouriau (1970) realizaram a extração do resíduo silicoso de amostras provenientes de material herbário, sendo que o mesmo foi montado em lâminas e as formas ocorrentes desenhadas à câmara-clara. As descrições e comparações objetivavam contribuir para a identificação de um sítio de cerrado a partir dos fitólitos produzidos por sua flora.

Söndahl e Labouriau (1970) investigaram as formas dos fitólitos de dez espécies do Cerrado, em continuação dos trabalhos de Sendulsky e Labouriau (1966), Campos & Labouriau (1969) e de Silva e Labouriau (1970), acrescentando as dificuldades encontradas para a realização da pesquisa na época, como instabilidade das designações taxonômicas das gramíneas dos Cerrados; pobreza das coleções agrostológicas de herbários brasileiros e a lacuna nas informações fitossociológicas sobre os Cerrados.

O último artigo de levantamento dos corpos silicosos de gramíneas dos Cerrados foi produzido por Figueiredo e Handro (1971), o único que fora publicado no III Simpósio sobre o Cerrado e não na Revista de Pesquisa Agropecuária Brasileira (EMBRAPA). Neste trabalho foi feito o levantamento dos corpos silicosos de 12 espécies de gramíneas dos gêneros *Aristida*, *Cenchrus*, *Eleusine*, *Eragrostis*, *Ichnanthus*, *Olyra*, *Paspalum*, *Pennisetum*, *Raddiella* e *Rhynchelytrum*.

As pesquisas de identificação e classificação, no entanto, foram cessadas nas décadas subquentes, sendo retomadas apenas na primeira década do século XXI com o trabalho de Lima e Medeanic (2007) ao estudar os fitólitos de gramíneas que crescem em ambientes costeiros no extremo Sul do Brasil. Foram analisados os morfotipos de fitólitos em plantas *Spartina ciliata* Drong. e *Panicum racemosum* (P.Beauv.) Spreng, com ampla distribuição nas dunas da planície costeira do Rio Grande do Sul.

Da mesma forma, Medeanic *et al.* (2008) realizaram a descrição morfológica dos fitólitos de sete espécies de gramíneas atuais, abundantes nas dunas do extremo sul da planície costeira do Rio Grande do Sul. Os resultados assinalam a grande variedade dos fitólitos de gramíneas, bem como as suas características morfológicas específicas para cada espécie. É importante salientar que a pesquisa teve em vista a criação de um guia de referência, ausente até aquele momento, de fitólitos de plantas de dunas atuais a fim de aplicá-los em futuros estudos dos fitólitos preservados em sedimentos do Quaternário. Em trabalho subsequente, Medeanic *et al.* (2009) com intuito de contribuir para a ampliação do banco de dados sobre fitólitos em plantas de dunas atuais, procederam na descrição dos tipos morfológicos de fitólitos em *Androtrichum trigynum* (Spreng.) Pfeiff. Assim, alguns fitólitos encontrados nos sedimentos holocênicos lagunares da planície costeira do Rio Grande do Sul foram comparados com os fitólitos descritos para essa espécie.

Costa *et al.* (2010a) estudaram a estabilidade da sílica biogênica extraída do capim Jaraguá (*Hyparrhenia rufa*) em solução de hidróxido de sódio (NaOH). Os autores concluíram que existe uma relação direta entre a composição química e a estabilidade dos fitólitos, uma vez Jaraguá possui concentrações consideráveis de Si, Al, Fe, Mg e P e concentrações menores de Cu, Cd e Zn. A solução foi mais ativa nos fitólitos maiores, deferindo entre as formas e tamanhos dos mesmos, uma vez que os estômatos e tecidos silificados se dissolveram juntamente com os halteres.

Estudos mais recentes dedicados ao reconhecimento de morfotipos de fitólitos em táxons de plantas atuais podem ser constatados em Rasbold *et al.* (2010), ao realizarem a avaliação das formas de fitólitos presentes na espécie *Cyperus giganteus* Vahl. (Cyperaceae),

a qual ocorre em extensas áreas do Pantanal Mato-Grossense, o que permite classificá-la como um indicador natural das atuais de condições ambientais. Os autores, ao analisarem detalhadamente os morfotipos presentes em cada estrutura vegetal do espécime, concluem que a maior quantidade e diversidade de fitólitos encontrados ocorrem na espigueta, predominando as formas de *Trapeziform sinuate*, *Trapeziform polylobate* e *Elongate*, enquanto as menores quantidades e diversidades de fitólitos verificaram-se no fruto, bainha e rizoma. Por sua vez, Rasbold *et al.* (2011) estudaram a produção de fitólitos pela espécie *Butia paraguayensis* (Barb. Rodr.) L. H. Bailey (Arecaceae), que está na lista vermelha de plantas ameaçadas de extinção no Paraná e é uma das espécies características da vegetação de cerrado em Campo Mourão. A caracterização dos tipos morfológicos apontam a predominância de formas *Globular echinate*, sendo encontrado em todas as estruturas da planta e em maior quantidade, portanto caracterizados como padrão para a família Arecaceae.

Calegari *et al.* (2011) no trabalho publicado no encontro da ABEQUA (Associação Brasileira de Estudos do Quaternário) faz uma primeira aproximação dos principais morfotipos de fitólitos presentes em um fragmento de Floresta Ombrófila Mista e Campo presente no Sudoeste do Estado do Paraná. Fato que foi bem desenvolvido pela dissertação de Raitz (2012).

Buscando expandir o acervo de referências de fitólitos característicos de plantas pertencentes à família Arecaceae, Monteiro *et al.* (2012) analisaram a morfologia de fitólitos de duas espécies ocorrentes no Bioma Mata Atlântica: *Bactris setosa* Mart. e *Geonoma schottiana* Mart. O estudo evidenciou que *B. setosa* apresenta de maneira predominante o fitólito *Conical echinate*, enquanto que em *G. schottiana* ocorre de forma abundante o tipo *Globular echinate*. Tais tipologias fitolíticas apresentam-se em grande quantidade nas três estruturas vegetais analisadas pelos autores, isto é, na Bráctea, Folíolo e Ráquila, evidenciando a grande produção de fitólitos representativos em ambas as espécies de palmeiras e a sua importância em futuras reconstruções paleoambientais, possibilitando a identificação dessas formas preservadas em sedimentos a partir das comparações com assembleias fitolíticas modernas.

Com objetivo de expandir as informações sobre os fitólitos em gramíneas brasileiras, em especial da subfamília Chloridoideae, Rasbold *et al.* (2012) fizeram o levantamento dos corpos silicosos de três espécies, *Chloris elata* Desv., *Chloris gayana* Kunth e *Tripogon spicatus* (Ness) Ekman, que se desenvolvem em diversos domínios fitogeográficos brasileiros. Nas três espécies analisadas houve a predominância do tipo *Saddle* (87,1%) e do tipo *Bilobate*

(6,8%), o estudo foi acompanhado da análise isotópica ( $\delta^{13}\text{C}$ ) indicando ser plantas de ciclofossintético  $\text{C}_4$ .

Em consonância com tais estudos, Raitz (2012) desenvolveu sua dissertação de mestrado pautada na elaboração de uma coleção de referência de fitólitos da flora do Sudoeste do estado do Paraná, como subsídios para estudos paleoambientais. Foram consideradas duas principais fitofisionomias (Floresta Ombrófila Mista e Campo), cujo levantamento florístico indicou maior representatividade de espécies das famílias Lauraceae, Myrtaceae, Poaceae, Pteridaceae e Fabaceae para a formação vegetal caracterizada pela Floresta Ombrófila Mista, e elevada representatividade de espécies das famílias Poaceae, Asteraceae, Cyperaceae e Lauraceae para a vegetação do Campo. A pesquisa objetivou suprir a carência de informações acerca da produção de fitólitos pela vegetação do Brasil, compondo um referencial importante sobre morfotipos fitolíticos, principalmente para a região Sudoeste do Paraná, onde os estudos ainda são incipientes, bem como demonstrou o potencial da análise de fitólitos para a reconstrução paleoecológica na região Sul do Brasil, visto a possibilidade de diferenciar unidades de vegetação dominada por Campo e/ou Floresta por meio de suas assinaturas fitolíticas (Tabela 1).

Tabela 1: Principais trabalhos sobre fitólitos em plantas modernas no Brasil.

AUTOR(ES)	ANO DE PUBLICAÇÃO	TÍTULO DO TRABALHO	TIPO DE VEGETAÇÃO
Sendulsky & Labouriau	1966	Corpos silicosos de gramíneas dos Cerrados I	Cerrado
Cavalcante	1968	Contribuição ao estudo dos corpos silicosos de gramíneas amazônicas I - Panicoideae	Amazônia
Campos & Labouriau	1969	Corpos silicosos de gramíneas dos Cerrados II	Cerrado
Silva & Labouriau	1970	Corpos silicosos de gramíneas dos cerrados III	Cerrado
Söndahl & Labouriau	1970	Corpos silicosos de gramíneas dos Cerrados IV	Cerrado
Figueiredo & Handro	1971	Corpos silicosos de gramíneas dos Cerrados V	Cerrado
Lima & Medeanic	2007	Variação morfológica dos fitólitos de opala em duas espécies de gramíneas do Rio Grande do Sul e sua importância nas	Litorânea

		paleoreconstruções	
Medeanic <i>et al.</i>	2008	Os fitólitos em gramíneas de dunas do Extremo Sul do Brasil: variabilidade morfológica e importância nas reconstruções paleoambientais costeiras.	Litorânea
Medeanic <i>et al.</i>	2009	Notas sobre fitólitos em <i>Androtrichum trigynum</i> (Spr.) Pfeiffer no Extremo Sul do Brasil: tipos morfológicos e uso nas paleoreconstruções costeiras	Litorânea
Medeanic & Cordazzo	2009	Study of phytoliths in extant plants in Brazil: Implications for palaeoecological reconstructions	Litorânea
Calegari <i>et al.</i>	2011	Coleção de referência de fitólitos da Floresta Ombrófila Mista no SW do Paraná: primeira aproximação	Floresta Ombrófila Mista
Rasbold <i>et al.</i>	2010	Avaliação das formas de fitólitos presentes em <i>Cyperus giganteus</i> Vahl (Cyperaceae).	Pantanal
Rasbold <i>et al.</i>	2011	Caracterização dos tipos morfológicos de fitólitos presentes em <i>Butia paraguayensis</i> (Barb. Rodr.) L. H. Bailey (Arecaceae)	Cerrado
Rasbold <i>et al.</i>	2012	Avaliação e quantificação dos fitólitos presentes em <i>Chloris elata</i> Desv., <i>Chloris gayana</i> Kunth e <i>Tripogon spicatus</i> (Ness) Ekman ( <i>Chloridoideae</i> ).	Cerrado, Caatinga, Pampa e Pantanal
Raitz	2012	Coleção de referência de silicofitólitos da flora do Sudoeste do Paraná: subsídios para estudos paleoambientais.	Floresta Ombrófila Mista e Campo
Monteiro <i>et al.</i>	2012	Morfologia de fitólitos característicos de duas espécies de Arecaceae do Bioma Mata Atlântica: <i>Bactris setosa</i> Mart. e <i>Geonoma schottiana</i> Mart.	Mata Atlântica

Raitz <i>et al.</i>	2012	Fitólitos da Floresta Ombrófila Mista e do Campo da região SW do Estado do Paraná: Produção e Classificação.	Floresta Ombrófila Mista e Campo
Pereira <i>et al.</i>	2013	Caracterização morfológicas dos fitólitos de <i>Butia microspadix</i> Burret (Arecaceae)	Cerrado

---

Diante do exposto, nota-se a relevância dos trabalhos sobre morfologia de fitólitos, uma vez que o estabelecimento de assembleias fitolíticas, extraídas de plantas modernas, podem auxiliar estudos que versam sobre reconstruções paleoambientais, sendo um referencial para a identificação taxonômica dos morfotipos encontrados em sedimentos/solos, podendo chegar à categoria de família e por vezes de gênero.

#### 4.6.2 Fitólitos como instrumento de reconstrução paleoambiental

O emprego dos fitólitos como *proxy* na interpretação paleoambiental, teve início no Brasil com o trabalho de Piperno e Becker (1996), que analisaram fitólitos em consonância com análise antracológica em solos no ambiente de “Terra firme” na Amazônia central. Os autores evidenciaram que a vegetação da área foi instável durante o Holoceno, com presença de incêndios entre 1795 e 550 anos AP.. Não obstante, Alexandre *et al.* (1999) estudaram assembleias fitolíticas presentes em latossolo no município de Salitre, Minas Gerais, e os dados obtidos descreveram uma fase de savana entre 5500 e 4500 cal. AP. seguido por dois momentos de desenvolvimento de florestas (4000-3000 cal AP. e após 970 cal AP.). Esses foram os únicos trabalhos publicados de reconstrução paleoambiental no Brasil com uso de fitólitos em toda a década de 1990.

Já na última década houve um incremento nas pesquisas e um volume consistente de trabalhos têm sido publicados. Borba-Roschel *et al.* (2006) apresentaram discussão sobre os dados obtidos no bioma Cerrado, município de Uberaba – MG, comparando os fitólitos extraídos de uma turfeira com assembleias fitolíticas de plantas dominantes (Cyperaceae e Poaceae). Os autores observaram a diminuição de fitólitos de Cyperaceae conforme a profundidade e relacionaram com as fases de hidratação e desidratação do material.

Recentemente, Calegari (2008) em seu estudo sobre ocorrência e significado paleoambiental do horizonte A húmico em Latossolos, o trabalho objetivou definir variáveis

ambientais responsáveis pela gênese desse horizonte, tendo como base a aplicação de técnicas isotópicas ( $\delta^{13}\text{C}$ ,  $^{14}\text{C}$ ) aliadas a análises de fitólitos para inferir as condições paleoambientais de formação. Para tanto, três grupos de Latossolos com A húmico foram assim definidos: G1 - Latossolos Brunos e Vermelhos localizados na região Sul; G2 - Latossolos Vermelho-Amarelos e Amarelos encontrados de forma predominante na região Sudeste; G3 - Latossolos Vermelho-Amarelos e Amarelos das regiões Sudeste e Nordeste, com horizonte húmico mais espesso. Os resultados demonstraram que o horizonte A húmico se formou sob vegetação menos densa que a atual nas regiões Sudeste e Nordeste, conforme indicado pela análise fitolítica e valor  $\delta^{13}\text{C}$ , que apontou mistura de plantas de ciclo  $\text{C}_3$  e  $\text{C}_4$  (~-22 ‰), com predomínio de plantas  $\text{C}_3$ , enquanto que na região Sul houve o desenvolvimento de vegetação mais aberta com predomínio de plantas  $\text{C}_4$  (~-16‰), indicando assim, clima mais seco entre o Holoceno inferior e médio. No Holoceno superior, constatou-se a expansão da vegetação de floresta em decorrência de um empobrecimento isotópico (~-25‰), inferindo-se clima mais úmido e quente, semelhante ao atual, nas regiões Sudeste e Nordeste, e mais úmido e frio na região Sul.

Em sua tese de doutoramento, Coe (2009) apresentou estudo referente à evolução da vegetação xeromórfica na região de Búzios/Cabo Frio – RJ, a partir dos fitólitos extraídos de amostras coletadas em solos da região. A região de Búzios/Cabo Frio é considerada como um “enclave fitogeográfico” de vegetação xeromórfica com fisionomia similar à da caatinga do semiárido nordestino, apresentando um clima mais seco que o restante do litoral fluminense. Os resultados permitiram identificar mudanças na densidade de cobertura arbórea, não se registrando grandes variações no tipo de formação vegetal desde os últimos ~13.000 cal AP., o que sugere que a vegetação foi sempre de tipo pouco arbórea, caracterizada pela presença de flora xeromórfica, nunca atingindo a densidade arbórea típica de florestas úmidas durante o espaço de tempo compreendido no estudo.

Em trabalho posterior, Coe *et al.* (2011) dedicaram-se ao estudo sobre gênese de solos e mudanças ambientais na bacia do rio São João – RJ, identificadas pela análise fitolítica. Amostras de quatro perfis de solo foram analisadas, sendo um Glei, um Neossolo Flúvico, um Argissolo e um Planossolo. As análises evidenciaram a presença de assembleias fitolíticas em todos os horizontes desses solos, contudo demonstraram variações no teor de fitólitos e nos tipos ocorrentes de acordo com a origem do material onde procedeu a pedogênese. Assim, foi estabelecido para os dois perfis de solo desenvolvidos a partir de material de origem sedimentar (glei e neossolo flúvico) a incidência de fitólitos muito misturados, apresentando quantidade semelhante em todos os horizontes, enquanto que entre

os solos desenvolvidos a partir de material parental. Verificou-se que no argissolo o teor em fitólitos diminui com a profundidade, conforme padrão normal de distribuição, não ocorrendo o mesmo para o planossolo, já que este não apresenta o padrão normal de diminuição com a profundidade, pois os fitólitos são carregados dos horizontes superficiais vindo a concentrar-se no Horizonte textural. Nestes dois perfis de solo foram constatados tipos predominantes de fitólitos.

Monteiro *et al.* (2011) traçaram os primeiros esboços sobre as condições paleoambientais durante o Holoceno Superior na região dos Campos Gerais, no Estado do Paraná, a partir da análise de fitólitos presentes em sedimentos turfosos. A pesquisa revelou a ocorrência de oscilações climáticas no período, registrando fases mais frias e secas que as atuais em 3.220 anos AP, passando para mais quentes e úmidas em 2.770 anos AP, com retorno para condições mais secas e frias em 1.340 anos AP. Essas interpretações estão de acordo com outros trabalhos que apontam semelhantes condições climáticas durante esse período do Holoceno. Cabe salientar da mesma forma, a contribuição dos estudos desenvolvidos por Parolin *et al.* (2011), que fizeram os primeiros apontamentos sobre mudanças ambientais em Campo Mourão - PR utilizando por base a análise das assembleias fitolíticas e análises de  $\delta^{13}\text{C}$ . Os autores constaram que não há incidência de vegetação densa na região desde o Pleistoceno Superior associado a uma condição mais seca que a atual desde os últimos ~25.000 anos.

Investigações mais recentes foram realizadas por Gomes (2012) que apresentou discussão envolvendo a análise de fitólitos para a compreensão da gênese e evolução de solos na bacia do rio São João – RJ. Para tanto, foram coletadas amostras de cinco perfis de solos da região, sendo dois de origem aluvial e três de origem eluvial conforme indicado pelos resultados das análises fitolíticas, cabendo a ressalva de que o *proxy* em questão apresentou limitações para reconstituições da vegetação e inferências climáticas em solos de origem aluvial, haja vista a mistura de materiais de aporte do rio, não verificando-se o mesmo para os solos desenvolvidos a partir de material *in situ*, onde os fitólitos se mostraram bons indicadores de mudanças ambientais.

Chung (2012) realizou estudo na região do Espinhaço Meridional, em Minas Gerais, inferindo variações climáticas e da cobertura vegetal por meio de análises fitolíticas e isotópicas, auxiliando dessa forma na compreensão dos processos geomorfológicos que levaram à formação da sequência alúvio-coluvial na região. Nos dois perfis de solos analisados foi possível identificar sequências deposicionais desenvolvidas concomitantemente no tempo, no entanto com processos de acumulação e intensidade ocorrendo de formas

diferentes. Os resultados sugerem a atuação intensa de processos erosivos na área de estudo, visto que em ambos os perfis, mesmo nos horizontes mais superficiais, e em praticamente todas as assembleias modernas coletadas nas proximidades, os fitólitos se apresentaram profundamente alterados, evidenciando o predomínio de fitólitos grandes (*blocky*, *bulliform* poliédricos, *elongate*), já que estes são mais resistentes à erosão, porém ainda assim mostraram-se muito alterados, ocorrendo baixas proporções ou inexistência de fitólitos pequenos (*short cells*), que são mais frágeis. Pôde-se constatar que nos horizontes mais superficiais, os índices fitolíticos são característicos de vegetação aberta, sendo que no P1 a densidade arbórea atual é um pouco maior que em P2, embora ambos apresentem valores típicos de formações de cerrado, com predomínio de gramíneas, indicando assim um ambiente mais seco.

Coe *et al.* (2012a) citou exemplo de três casos de utilização dos indicadores fitólitos e isótopos de carbono em estudos de reconstituições da vegetação e inferências de paleoclimas, compreendendo áreas do Estado do Rio de Janeiro e Minas Gerais. Tais estudos reforçam a importância dos fitólitos nas reconstruções paleoambientais, uma vez que, associado a outros *proxy* (análise *multiproxy*), permitem compreender a evolução da paisagem e as mudanças ambientais de uma determinada região ao longo de um espaço de tempo geológico.

As contribuições concernentes a utilização de fitólitos como indicador *proxy* podem ser verificadas, igualmente, no trabalho de Monteiro (2012) ao estudar os fitólitos em sedimentos turfosos nos Campos Gerais do Estado do Paraná para inferir paleoambientes. Cabe a ressalva de que em estudo precedente (MONTEIRO *et al.*, 2011) a autora já havia apresentado os primeiros apontamentos sobre as condições paleoambientais na área, ampliando tais discussões em seu trabalho de conclusão de curso. Na presente pesquisa, Monteiro (2012) identificou quatro fases ambientais distintas na região, alternadas por fases mais frias e secas em 3.220 e 2.770 anos AP, com ocorrência de alguns intervalos úmidos associados as cheias do rio Tibagi; fase mais quente e úmida com o aparecimento de fitólitos de *Araucaria* à  $1.340 \pm 80$  anos AP, com retorno das condições mais secas e frias e posterior fase caracterizada por condições climáticas quente e úmida mais próximas as atuais com episódios de cheias indicadas pela presença de espícula de esponja. O trabalho corrobora informações apresentadas anteriormente pela mesma autora, apontando para períodos de oscilações climáticas desde 3.220 anos até o presente para a região dos Campos Gerais – Ponta Grossa, que registrou cobertura de gramíneas desde o período de tempo analisado, fato

corroborado pelos valores de  $\delta^{13}\text{C}$  que indicaram a predominância de plantas de ciclo fotossintético  $\text{C}_4$ .

Recentemente, Alcantara-Santos (2013) realizou a reconstituição paleogeográfica e paleoambiental do baixo curso do rio Ivaí – PR, tendo como foco a recuperação, identificação e quantificação de fitólitos, além de outros indicadores, presentes em um perfil de solo da Formação Caiuá denominado de Trincheira Reserva (TR), bem como em sedimentos do Terraço Ivaí (TI), ambos localizados na região de Douradina – PR. Os dados apontaram mudanças na paisagem em três fases distintas para o TI, correspondendo a uma fase de canal ativo datado em  $19.900 \pm 2.800$  anos (TL), fase de abandono de canal em  $13.250 \pm 1.890$  anos (TL) com formação de planície aluvial e do Terraço. Já na TR, foi possível reconstituir o ambiente em duas fases, sendo uma caracterizada por condições ambientais ligeiramente mais secas que as atuais, sob o domínio de floresta em 10.195 anos Cal. AP – o que sugere a presença de refúgios florestais no baixo vale do rio Ivaí –, e outra por condições mais úmidas há pelo menos 5.963 anos Cal. AP. (Tabela 2).

Tabela 2: Estudos sobre fitólitos fósseis no Brasil

AUTOR(ES)	ANO DE PUBLICAÇÃO	TÍTULO DO TRABALHO
Piperno & Becker	1996	Vegetational History of a Site in the Central Amazon Basin Derived from Phytolith and Charcoal Records from Natural Soils
Alexandre <i>et al.</i>	1999	Late Holocene Phytolith and Carbon-Isotope Record from a Latosol at Salitre, South-Central Brazil
Lepsch <i>et al.</i>	2003	Soil phytoliths as related to some Brazilian dicotyledonous cerrado species with asperous leaves
Lepsch & Tomba	2004	Silico-fitólitos de bambus ( <i>Poacea</i> ) e solos da parcela permanente do Parque Estadual Carlos Botelho, SP
Borba-Roschel <i>et al.</i>	2006	Phytoliths as indicators of pedogenesis and paleoenvironmental changes in the Brazilian <i>cerrado</i>

Lepsch & Andrade Paula	2006	Fitólitos em solos sob cerradões do triângulo mineiro: relações com atributos e silício absorvido
Paula & Silva	2006	A formação do mineral opala biogênica nos solos dos cerradões de Uberlândia.
Medeanic <i>et al.</i>	2007	Palinomorfos nos sedimentos de fundo da Laguna dos Patos-RS: Aplicação nas reconstruções Paleoambientais
Calegari	2008	Ocorrência e significado paleoambiental do Horizonte A húmico em Latossolos
Coe	2009	Fitólitos como indicadores de mudanças na vegetação xeromórfica da região de Búzios/Cabo Frio, RJ, durante o Quaternário
Coe & Lepsch	2009	Silicofitólitos como indicadores de discontinuidades litológicas em três pedons da região de Búzios/Cabo Frio, RJ
Pereira	2010	Identificação de fitólitos a partir de fragmentos de carvão
Costa <i>et al.</i>	2010	Ocorrência de corpos silicosos em horizontes superficiais de solos de diferentes ecossistemas
Coe	2010	Use of a new phytolith index for identifying changes in palm tree cover density in the region of Búzios, Rio de Janeiro, Brazil
Coe <i>et al.</i>	2010	Contributions of phytolith studies on the identification of soil genesis and environmental changes in the São João river basin, Rio de Janeiro, Brazil
Monteiro <i>et al.</i>	2011	Primeiras considerações paleoambientais com análise de fitólitos

		em sedimentos turfosos nos Campos Gerais do Estado do Paraná
Fonseca <i>et al.</i>	2011	Identificação de mudanças ambientais na Bacia do Rio São João, RJ, a partir da análise de fitólitos extraídos de perfis de solo
Parolin <i>et al.</i>	2011	Reconstituição paleoambiental utilizando isótopos estáveis do C e N e fitólitos em turfeira na região de Campo Mourão/PR, Brasil
Coe <i>et al.</i>	2011	Gênese de solos e mudanças ambientais na bacia do rio São João, RJ, identificadas através do <i>proxy</i> fitólitos
Coe <i>et al.</i>	2012	Reconstituições da vegetação e inferências de paleoclimas através da utilização dos indicadores fitólitos e isótopos de carbono – exemplos de estudos no Brasil
Coe <i>et al.</i>	2011	Mudanças possivelmente antrópicas na cobertura vegetal na região de Búzios, Rio de Janeiro, identificadas através de análises de fitólitos
Gomes	2012	Contribuição para a compreensão da gênese e evolução de solos na bacia do rio São João, RJ, através de análises fitolíticas
Chueng	2012	Inferência da cobertura vegetal e das condições climáticas no Espinhaço Meridional, MG, durante o Quaternário através dos indicadores fitólitos e isótopos de carbono
Monteiro	2012	Paleoambientes indicados através da análise de fitólitos e $\delta^{13}\text{C}$ em sedimentos turfosos nos Campos Gerais do Estado

		do Paraná
Paisani <i>et al.</i>	2012	Dinâmica ambiental e da vegetação do Planalto das Araucárias superfície II - no Quaternário Superior: contribuições das análises de fitólitos, de isótopos de carbono e da mineralogia de argila
Coe <i>et al.</i>	2013	Changes in Holocene tree cover density in Cabo Frio (Rio de Janeiro, Brazil): evidence from soil phytolith assemblages
Coe <i>et al.</i>	2013	Caracterização das comunidades vegetais da restinga da APA de Maricá, RJ, através de estudos de fitólitos: resultados preliminares
Coe <i>et al.</i>	2013	Inferências de mudanças ambientais através de análises fitolíticas e isotópicas na bacia do rio São João, RJ, Brasil
Chueng <i>et al.</i>	2013	Inferências paleobiogeoclimáticas na Serra do Espinhaço Meridional, MG, Brasil, através de estudos fitolíticos e isotópicos
Calegari <i>et al.</i>	2013	Opal phytolith extraction in oxisols
Calegari <i>et al.</i>	2013	Combining phytoliths and $\delta^{13}\text{C}$ matter in Holocene palaeoenvironmental studies of tropical soils: An example of an Oxisol in Brazil
Alcantara-Santos	2013	Paleogeografia e paleoambientes do Baixo Curso do rio Ivaí - PR

---

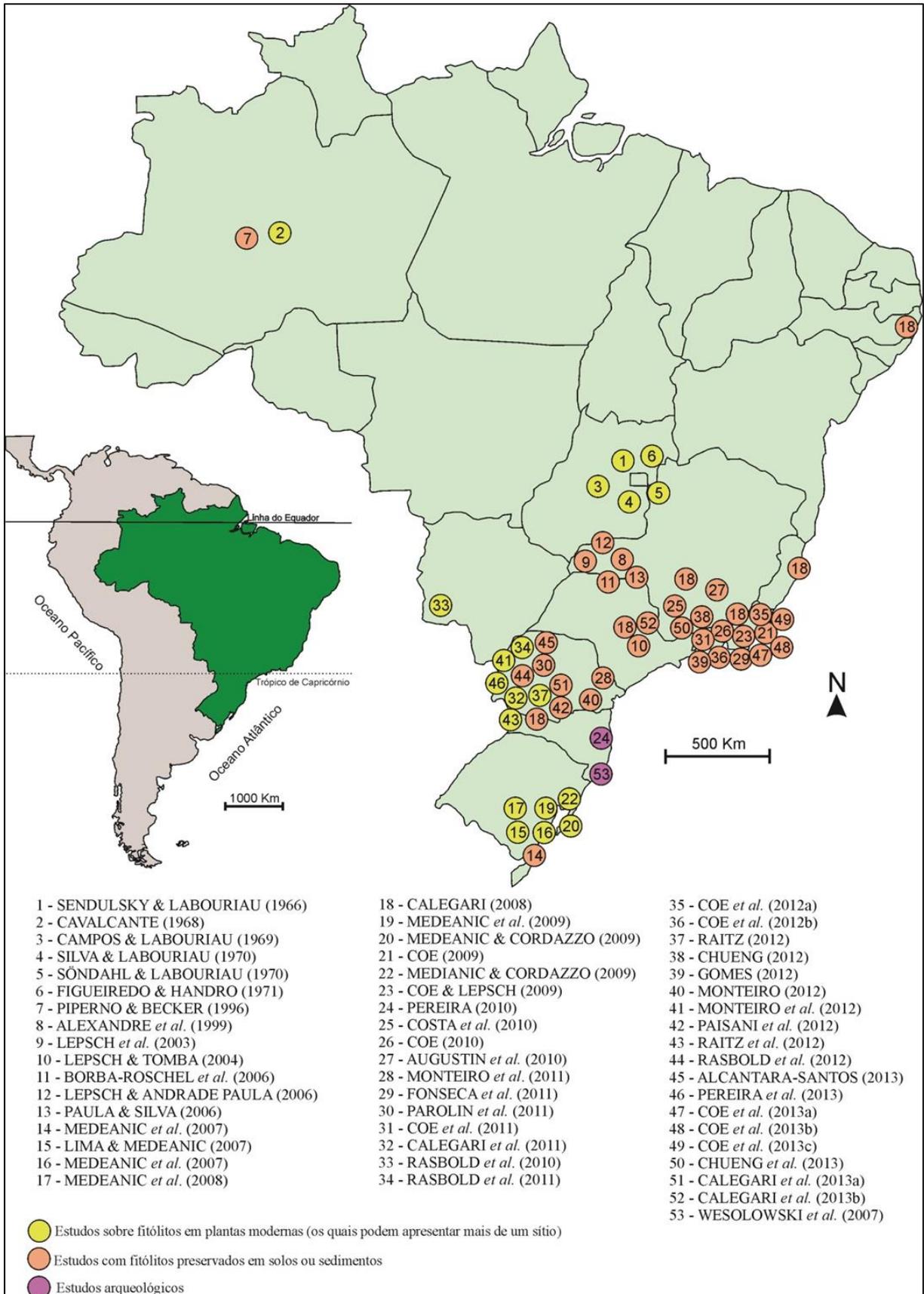


Figura 20: Mapa de distribuição dos trabalhos sobre fitólitos no Brasil

Fonte: Base cartográfica: IBGE (2010)

## 5. MATERIAL E MÉTODOS

### 5.1 – CAMPANHAS

Os testemunhos analisados foram coletados nos anos de 2010 e 2012 pela equipe do Laboratório de Estudos Paleoambientais da Fecilcam (Lepafe), na planície do rio Água dos Papagaios e rio Ranchinho no município de Campo Mourão, região Centro Ocidental do estado do Paraná em áreas com potencialidade para preservação fitolítica, no caso material turfáceo (Figura 21 e 22). O primeiro perfil coletado no ano de 2010 (rio Água dos Papagaios) alcançou uma profundidade de 260 cm, porém foi analisado apenas a parte superior com presença de turfa (110 cm) enquanto que perfil coletado em julho de 2012 (rio Ranchinho) também possui 110 cm. No rio Água dos Papagaios foi utilizada sonda vibratória (*vibro-core*) com uso de tubo de alumínio de 7,5 cm de diâmetro com 6 m de comprimento. Tradagens e coletas superficiais do sedimento turfoso foram localmente executadas. Por sua vez, na impossibilidade de sucesso com o uso do *vibro-core*, o tubo no rio Ranchinho foi enterrado com ajuda de marreta.



Figura 21: Sondagem com uso do *vidro-core* na planície do rio Água dos Papagaios.  
Fonte: Acervo do autor.



Figura 22: Sondagem na planície do rio Ranchinho com o uso da marreta e tradagens superficiais.  
Fonte: Acervo do autor, junho 2013.

Campo mourão apresenta poucas áreas com cerrado ainda preservado. Nesse sentido, os dados obtidos nos testemunhos sedimentares foram correlacionados com o conteúdo isotópico da matéria orgânica do solo presente na Estação Ecológica do Cerrado, na qual foi aberta uma trincheira de 3 (três) metros de profundidade e coletado amostras a cada 10 cm. Essas amostras foram coletadas pela equipe do Lepafe no ano de 2011, tomou-se cuidado quanto a contaminação, que por sua vez foram datadas e obtidos os resultados do conteúdo isotópico pelo Laboratório  $^{14}\text{C}$  do Centro de Energia Nuclear na Agricultura – CENA/USP.

## 5.2 – PROTOCOLOS LABORATORIAIS

Os testemunhos do rio Água dos Papagaios e Ranchinho foram separados em amostras de 4 e 3 cm, respectivamente. Para a análise fitolítica do material sedimentar foi empregada a metodologia padrão para recuperação polínica (FAEGRI; IVERSEN, 1975), com resultados satisfatórios. As amostras foram tratadas com ácido clorídrico (10%) e hidróxido de potássio (10%). Aplicou-se o método de separação entre as substâncias inorgânicas e orgânicas através de líquido denso (solução aquosa de cloreto de zinco de densidade 2,3 g/cm<sup>3</sup>). O conteúdo sobrenadante foi centrifugado inúmeras vezes para a retirada do líquido denso. Após o tratamento químico, as amostras foram montadas em lâminas e coladas com Intellan® (PAROLIN *et al.*, 2006).

Foram contados 200 fitólitos por sequência e classificados conforme o *International Code for Phytoliths Nomenclature 1.0* (ICPN) (MADELLA *et al.*, 2005) e aplicados os índices de cobertura arbórea (D/P) (ALEXANDRE *et al.*, 1997), índice de adaptação à aridez (índice *I<sub>ph</sub>*) (DIESTER-HAASS *et al.*, 1973), índice de estresse hídrico (Índice Bi) (BREMONT, 2003) e o índice climático (Índice *I<sub>c</sub>*) (TWISS, 1987). Também foi feito o índice de concentração de fitólitos em cada sequência por meio da contagem absoluta dos morfotipos de fitólitos encontrados. As contagens e os índices fitolíticos foram expressos em forma de gráfico produzido pelo *software* Tilia *Graph*®, no qual foi acrescido os resultados de análise de  $\delta^{13}\text{C}$ , datação  $^{14}\text{C}$ , análise física (granulometria), C%, N%, razão C/N e dados de combustão volátil e sólida com o uso do *software* CorelDraw x5®. As lâminas produzidas para contagem foram catalogadas e armazenadas no Lepafe sob os códigos: Col. Agrícola (turfeira rio Água dos Papagaios) L163.C16; L164.C16 e L165.C16; rio Ranchinho L147.C14; L148.C14; L149.C14 e L150.C14.

Para a determinação do carbono presente no material turfoso foi empregado o método de Walkley e Black (1934). Os percentuais de combustão (volátil e sólido) foram determinados amostrando 30g do material turfoso da base (100-90 cm), meio (50-40 cm) e topo (20-10 cm) do depósito. As amostras foram secas em estufa por 24 horas a 120°C, reproduzido até a estabilização do peso. Em seguida o material foi queimado num recipiente de porcelana com tampa em Mufla por 3 horas a 450°C. O material, após resfriamento no disseccador, foi pesado determinando-se o percentual de combustível volátil. Posteriormente o mesmo recipiente foi colocado em mufla a 650°C por 6 horas, sem tampa; após resfriamento o material foi pesado, determinando-se o percentual de queima de material combustível sólido (GUERREIRO *et al.*, 2012).

Para avaliação da humosidade dos sedimentos turfosos foi adotada a classificação de *von Post* (aplicado para turfeiras), simplificada por Stanek e Silc (1977), a qual leva em consideração o grau de decomposição do material orgânico. A escala de decomposição de *von Post* possui dez níveis de acordo com o grau de humosidade, e três classes de acordo com as características apresentadas. Da mesma forma, as turfeiras foram classificadas pelas características botânicas, utilizando as classificações discutidas por Lenz (1984); (GUERREIRO *et al.*, 2012).

O levantamento florístico das áreas estudadas foram feitas com base na publicação de Caetano e Nunes (2005), no que se refere a vegetação de cerrado e com base na coleção de referência do Herbário da Universidade Tecnológica Federal do Paraná – Campus de Campo Mourão – HCF para a florística das planícies dos rios Água dos Papagaios e rio Ranchinho.

O levantamento cartográfico foi realizado a partir de imagens obtidas dos satélites LANDSAT\_5 (*Land Remote Sensing Satellite*) e CBERS (Satélite Sino-Brasileiro de Recursos Terrestres). Para a elaboração dos mapas foram utilizadas imagens SRTM (*Shuttle Radar Topography Mission*), a Carta Topográfica SG-22-V-B-I-1 (Folha de Campo Mourão), mapas disponíveis no site do ITCG (Instituto de Terras, Cartografia e Geociências) do Estado do Paraná no endereço <[www.itcg.pr.gov.br](http://www.itcg.pr.gov.br)> e os softwares Global Mapper 9<sup>®</sup>, Spring 5.1.7<sup>®</sup> e CorelDRAW X5<sup>®</sup>, além do Tilia<sup>®</sup> versão 1.7.16 para elaboração dos gráficos.

### 5.3 – DATAÇÕES $^{14}\text{C}$ , $\delta^{13}\text{C}$ , $\delta^{15}\text{N}$ , C (%), RAZÃO C/N E ANÁLISES GRANULOMÉTRICAS

As datações de  $^{14}\text{C}$  e análise do conteúdo isotópico ( $\delta^{13}\text{C}$  e  $\delta^{15}\text{N}$ ) das amostras foram executadas pelo Laboratório  $^{14}\text{C}$  do CENA (Centro de Energia Nuclear na Agricultura – Esalq/USP) e pelo CAIS (*Center for Applied Isotope Studies*) da Universidade da Geórgia – Estados Unidos da América. Os resultados adquiridos foram posteriormente calibrados com o uso do software CALIB 6.0 (*Radiocarbon calibration*) (REIMER *et al.*, 2009).

As análises granulométricas do material sedimentar foram executadas pelo Laboratório de Análise de Solo, Departamento de Agronomia, da Universidade Estadual de Maringá, pelo método do peneiramento e pipetagem (SUGUIO, 1973), seguindo-se a classificação proposta por Wentworth (1922).

De posse dos dados de Carbono e Nitrogênio presente na MOS é possível obter a relação C:N do material. A razão C/N permite avaliar o grau de evolução da matéria orgânica (COE, 2009). Valores baixos <15 indicam liberação de N no ambiente com taxas de decomposição mais elevadas, por sua vez, valores maiores indicam menor capacidade de se decompor no ambiente, no entanto o húmus obtido é mais estável (GORDON; GOÑI, 2003; COE, *op cit.*).

#### 5.4 - TOPOGRAFIA

Tendo em vista a determinação da evolução geomorfológica da área, foram confeccionados dois perfis topográficos, um na planície aluvial do rio Ranchinho e outro na planície do rio Água dos Papagaios, além da construção do perfil longitudinal dos rios. Para a elaboração do perfil transversal do rio foi utilizado o clinômetro manual, posteriormente os dados foram trabalhados com o software CorelDraw x5<sup>®</sup> sendo montado, com a ajuda do mesmo software um blocodiagrama da área. Por sua vez, o perfil longitudinal foi obtido por meio da análise das cartas STRM (*Shuttle Radar Topography Mission*) trabalhadas no software Global Mapper 9<sup>®</sup>.

## 6. RESULTADOS

### 6.1 – TESTEMUNHO DO RIO RANCHINHO

#### 6.1.1 – Caracterização dos sedimentos turfosos<sup>6</sup>

O perfil analisado apresentou significativas variações granulométricas. Na base (106-103 cm) o perfil é mais arenoso (57%) contra 15% de silte e 28% de argila. Na sequência 85-82 cm, há a predominância de argila (57%), que volta a diminuir em direção ao meio do perfil, 47% (58-55 cm). A maior porcentagem de areia foi de 62% (37-34 cm) contra 35% de argila.

O poder de combustão, tanto volátil quanto sólido, do material foi baixo para o perfil analisado, com tendência a diminuição em direção do topo do perfil, combustão volátil de 10% (95 cm), 9,04% (40 cm), 4,5% (25 cm) e combustão sólida de 36,73% (95 cm), 31,66% (40 cm) e 19,33% (25 cm).

O material turfáceo presente na planície aluvial do rio Ranchinho constitui uma turfa límica sedimentar na base, altamente coloidal que por sua vez torna-se fibrosa no topo do perfil (20 cm de profundidade). Na classificação de *Von Post*, pode ser definida como Sáprica (H9) na base do perfil, entre 110 a 70 cm de profundidade, Hêmica (H6 – H7), de 70 a 20 cm e fibrosa na porção superior do perfil (Figura 23).

As idades obtidas a 95 e 45 cm correspondem ao Pleistoceno Superior, datadas respectivamente em  $48.800 \pm 270$  anos AP., a qual não foi possível a calibração devido ao limite de idade (50.000 anos) disposto na literatura, e  $\sim 41.460$  anos cal AP. (Tabela 3).

Tabela 3: Datações  $^{14}\text{C}$  e respectivas idades calibradas em anos AP (rio Ranchinho)

Profundidade (cm)	IDADE $^{14}\text{C}$ (anos AP)	Idade calibrada (anos AP), $2\sigma$	Média idade calibrada (cal anos AP)
45	$37920 \pm 160$	42072-42849	41460
95	$48800 \pm 270$	-	-

<sup>6</sup> A caracterização do material turfoso, combustão e caracterização *von Post*, para o rio Ranchinho e Água dos Papagaios foi transformada em um artigo, enviado para a Revista Brasileira de Geografia Física sob o título “Caracterização dos Sedimentos Turfosos em Campo Mourão, Paraná, Brasil”, aguardando parecer (ANEXO III).

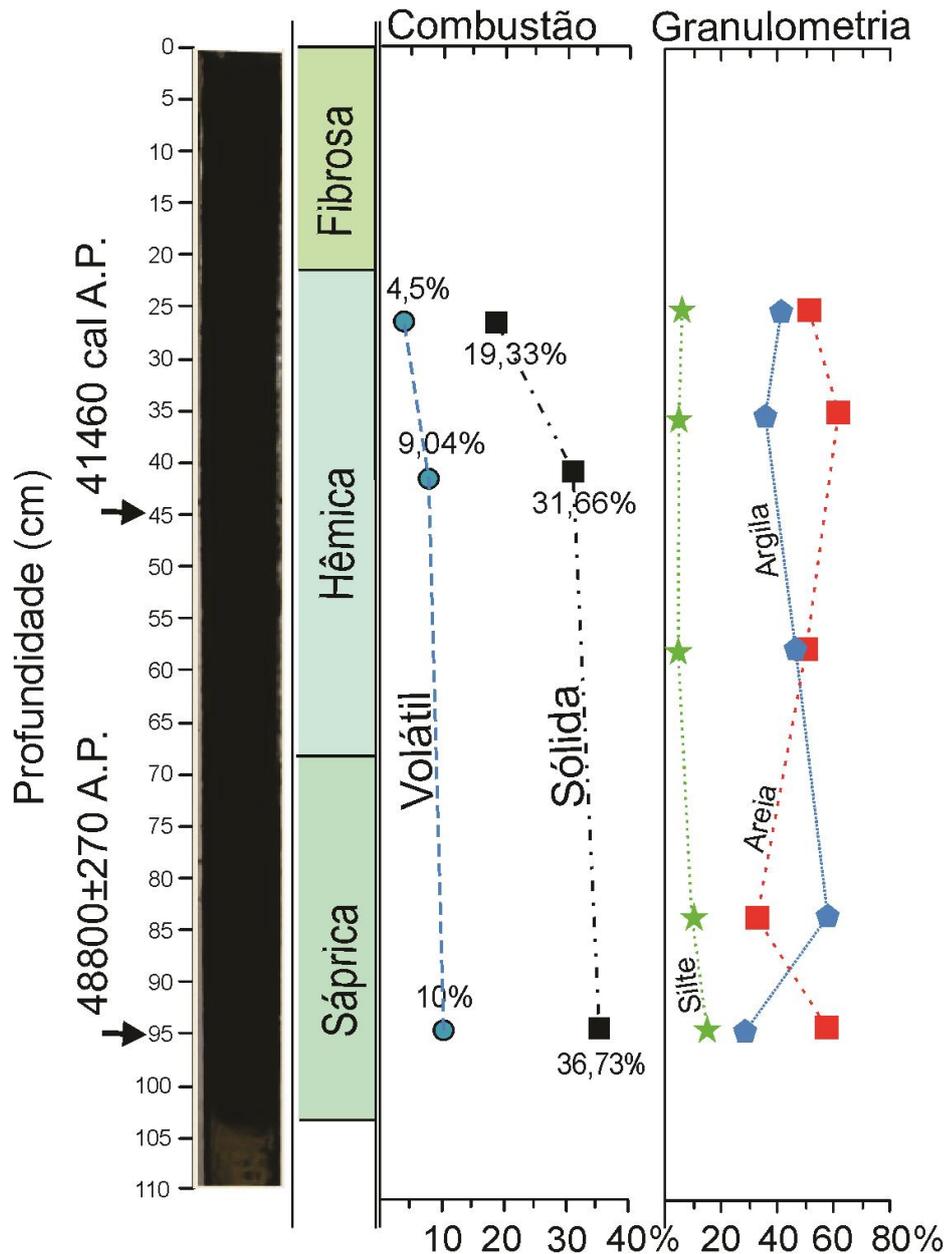


Figura 23: Caracterização da turfa presente na planície do rio Ranchinho: datação; foto do perfil sedimentar; classificação de von Post; combustão e granulometria.

#### 6.1.2 – Assembleia Fitolítica, $\delta^{13}\text{C}$ , $\delta^{15}\text{N}$ e razão C/N

O testemunho do rio Ranchinho apresentou enriquecimento de Carbono (total) na porção superior do perfil, da mesma forma que o Nitrogênio (total). O sinal isotópico  $\delta^{13}\text{C}$  apresentou enriquecimento em grande parte do perfil, duas sequências apresentaram valores menores que -19‰, 43-40 (-19,6‰) e topo (-20,17‰). O maior valor de  $\delta^{15}\text{N}$  foi detectado na sequência 88-85 (11,0‰). Por sua vez, a razão C/N apresentou valores baixos, exceto em três sequências: 28-25 (15,61); 58-55 (14,46) e 79-75 (14,36) (Tabela 4).

Tabela 4: Valores de C(%), N(%),  $\delta^{13}\text{C}$  e razão C/N (Rio Ranchinho)

Profund. (cm)	C (%)	N (%)	$\delta^{13}\text{C}$	$\delta^{15}\text{N}$	RAZÃO C/N
0	21,85	15,15	-20,17	2,78	1,42
10-07	26,98	15,15	-16,3	3,48	1,78
19,16	21,1	5,98	-16,89	6,38	3,52
28-25	16,48	1,01	-15,8	-	15,61
34-31	15,31	4,34	-15,97	8,16	3,52
43-40	-	-	-19,6	-	-
58-55	15,28	1,10	-16	-	14,46
67-64	11,27	3,14	-15,11	9,15	3,58
79-75	14,05	0,84	-14,9	-	14,36
88-85	7,78	2,29	-15,62	11,0	3,39
97-94	-	-	-15,4	-	-

A assembleia fitolítica do testemunho do rio Ranchinho é composta principalmente pelos morfotipos *Elongate*, *Bulliform parallelepipedal* e *Bulliform cuneiform*. (Figura 24).

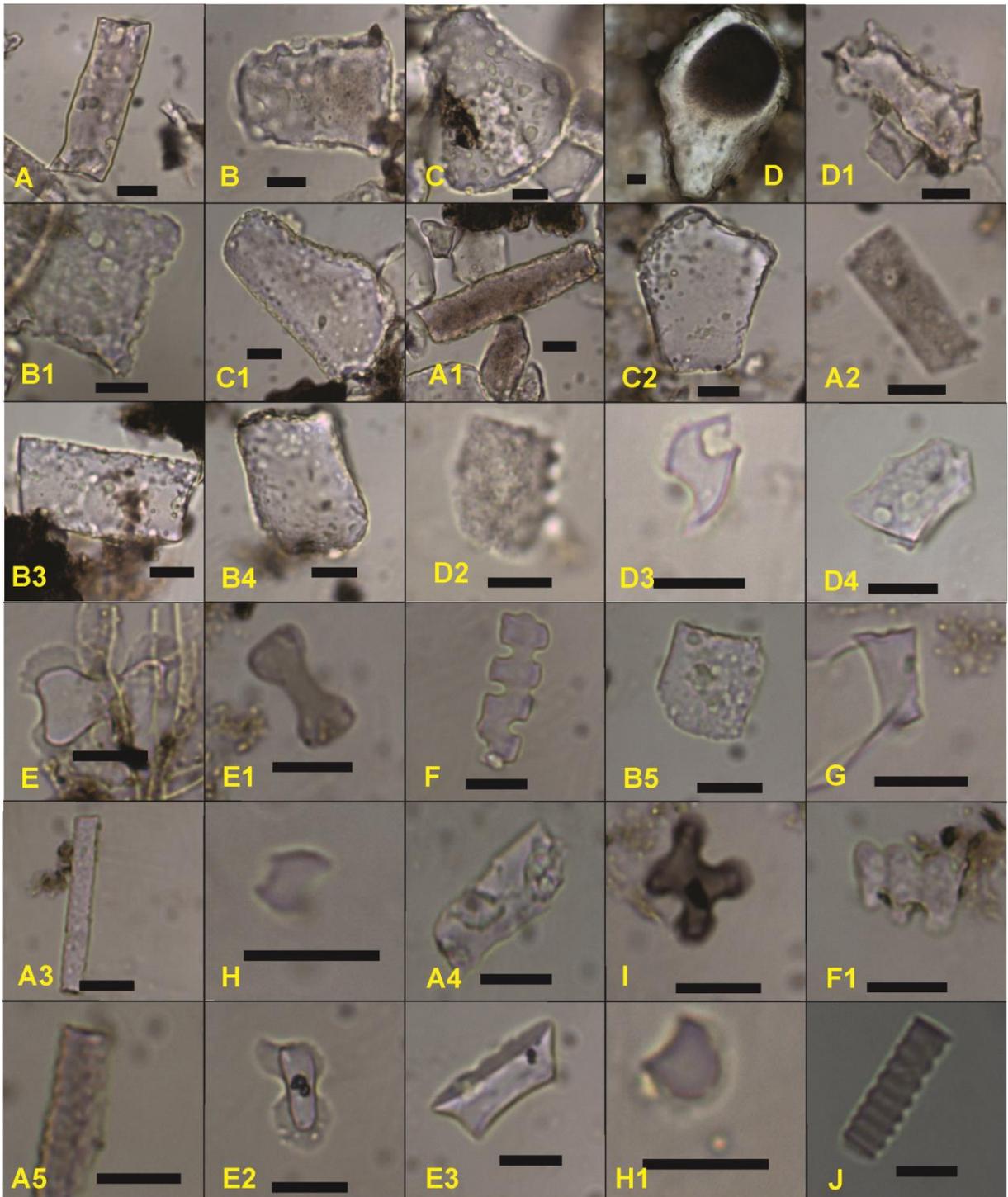


Figura 24: Principais morfotipos encontrados no testemunho do rio Ranchinho. A – *Elongate*; B – *Bulliform parallelepipedal*; C – *Bulliform cuneiform*; D – *Unclassified*; E – *Bilobate*; F – *Cilyndric polilobate*; G – *Rondel*; H – *Saddle*; I – *Cross*; J – *Cilyndric tracheid*.

Foram estabelecidas quatro fases distintas de evolução paleoambiental para o testemunho do rio Ranchinho (Figura 25).

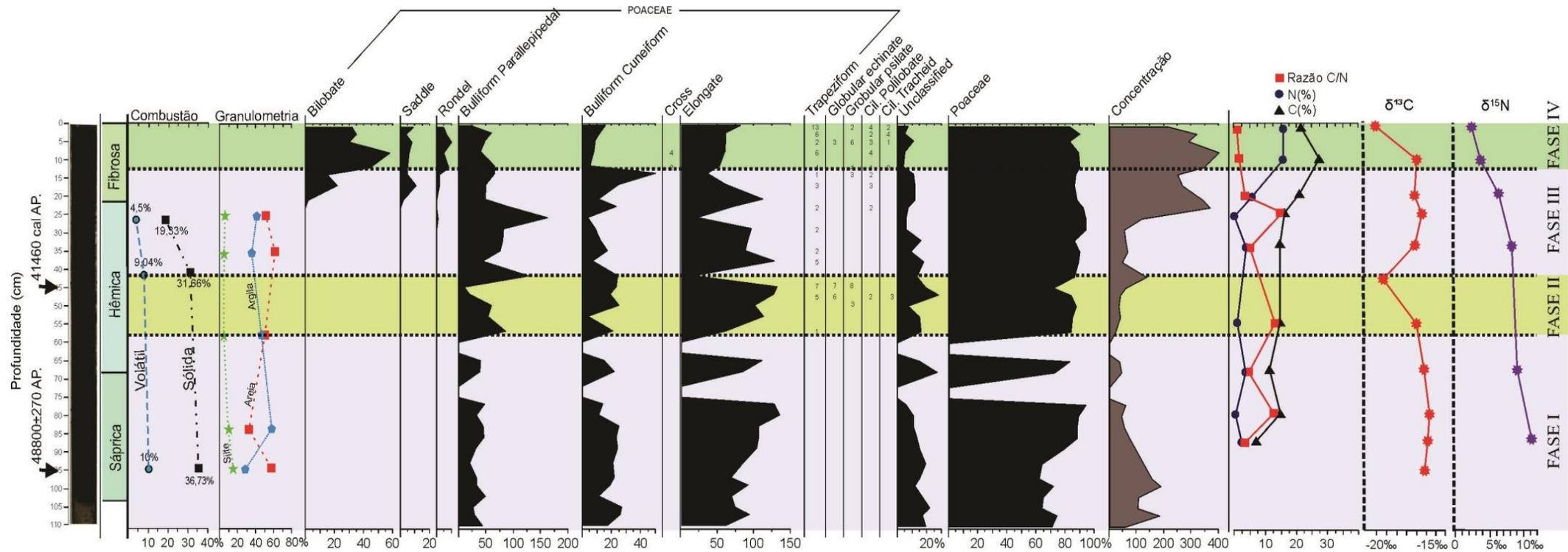


Figura 25: Datação, perfil sedimentar, caracterização da turfa, resultados de combustão, granulometria, contagem fitolítica por morfotipos, índices fitolíticos, concentração e dados isotópicos do C e N do rio Ranchinho.

## FASE I

Compreende o intervalo de 110 a 60 cm do testemunho com datação de  $48.800 \pm 270$  anos AP. (94 cm). Essa fase é caracterizada pelos valores isotópicos ( $\delta^{13}\text{C}$ ) mais baixos, variando de  $-14,9\text{‰}$  (79-75 cm) a  $-15,62\text{‰}$  (88-85 cm), os valores de  $\delta^{15}\text{N}$  tiveram leve diminuição a partir da base: de  $11,0\text{‰}$  (88-85 cm) para  $9,15\text{‰}$  (67-64 cm). A razão C/N teve seu máximo na sequência de 79-76 cm com valor de 14,03. Em relação à assembleia fitolítica houve a predominância dos morfotipos produzidos no interior das células buliformes (*Bulliform parallelepipedal* e *Bulliform cuneiform*), além dos *Elongates*. Quatro sequências não apresentaram deposição de fitólitos suficientes para contagem (76-73; 73-70; 64-61; 61-58). Nessa assembleia não foi possível estabelecer os índices fitolíticos devido a pouca diversidade de morfotipos encontrados.

## FASE II

Compreende o intervalo de 60 a 40 cm do testemunho com datação de 41.460 cal AP. (45 cm). Essa fase apresenta um empobrecimento isotópico ( $\delta^{13}\text{C}$ ) na altura da datação ( $-19,6\text{‰}$ ). O teor de Carbono (%) teve leve aumento em relação a fase anterior (15,28%) na sequência de 58-55 cm. Nessa fase houve a incidência dos morfotipos *short cells* como *Globular psilate*, *Globular echinate* e *Trapeziform*, principalmente próximo à datação, no entanto, não tiveram maior incidência que 10 fitólitos. Nessa fase é notório a diminuição dos morfotipos *Bulliform parallelepipedal* e *Bulliform cuneiform*.

## FASE III

Compreende o intervalo entre 40 a 15 cm do testemunho. Essa fase é caracterizada pelo enriquecimento isotópico ( $\delta^{13}\text{C}$ ), em que os valores retornam ao patamar da Fase I, abaixo de  $-16\text{‰}$ . Os valores de  $\delta^{15}\text{N}$  tiveram leve decréscimo, com valor mais baixo na sequência de 19-16 ( $6,38\text{‰}$ ). Essa fase apresenta o valor máximo de fitólitos do morfotipo *Bulliform parallelepipedal*, na sequência de 28-25 cm, com 162 fitólitos. Da mesma forma, o morfotipo *Bulliform cuneiform* apresentou seu ápice na sequência 16-13 cm, com 50 fitólitos. No fim desta fase os fitólitos *short cells* começaram a aparecer.

## FASE IV

Compreende o intervalo de 15 a 0 cm do testemunho. Essa fase é caracterizada pelo empobrecimento isotópico ( $\delta^{13}\text{C}$ ), com valor de  $-20,17\text{‰}$  na serrapilheira e menor valor de  $\delta^{15}\text{N}$  ( $2,78\text{‰}$ ). Nessa fase os valores de N(%) foram maiores, em torno de 15,15%, e altos valores de C(%), com pico de 26,98% na sequência de 10-07 cm. Conseqüentemente, a razão C/N foi baixa, em torno de 1,5. Quanto a assembleia fitolítica houve a predominância dos *shorts cells*, com destaque para o morfotipo *Bilobate*, o qual apresentou incidência de 35 fitólitos na sequência de 04-01.

### 6.1.3 - Geomorfologia

A análise topográfica na área estudada do rio Ranchinho, permitiu a distinção detalhada de dois terraços e da planície aluvial (Figura 26). Os terraços são divididos por pequenas rampas de declives. O primeiro terraço distingue-se do segundo por um declive de aproximadamente 43 cm, seu início se dá a ~155 metros da margem do rio Ranchinho, no ponto avaliado possui ~56 metros de largura. O segundo terraço inicia-se a cerca de 77 metros da margem, possui ~63 metros de largura, estando aproximadamente 30 cm mais alto que a planície aluvial. A planície aluvial possui uma largura de cerca de 77 metros.

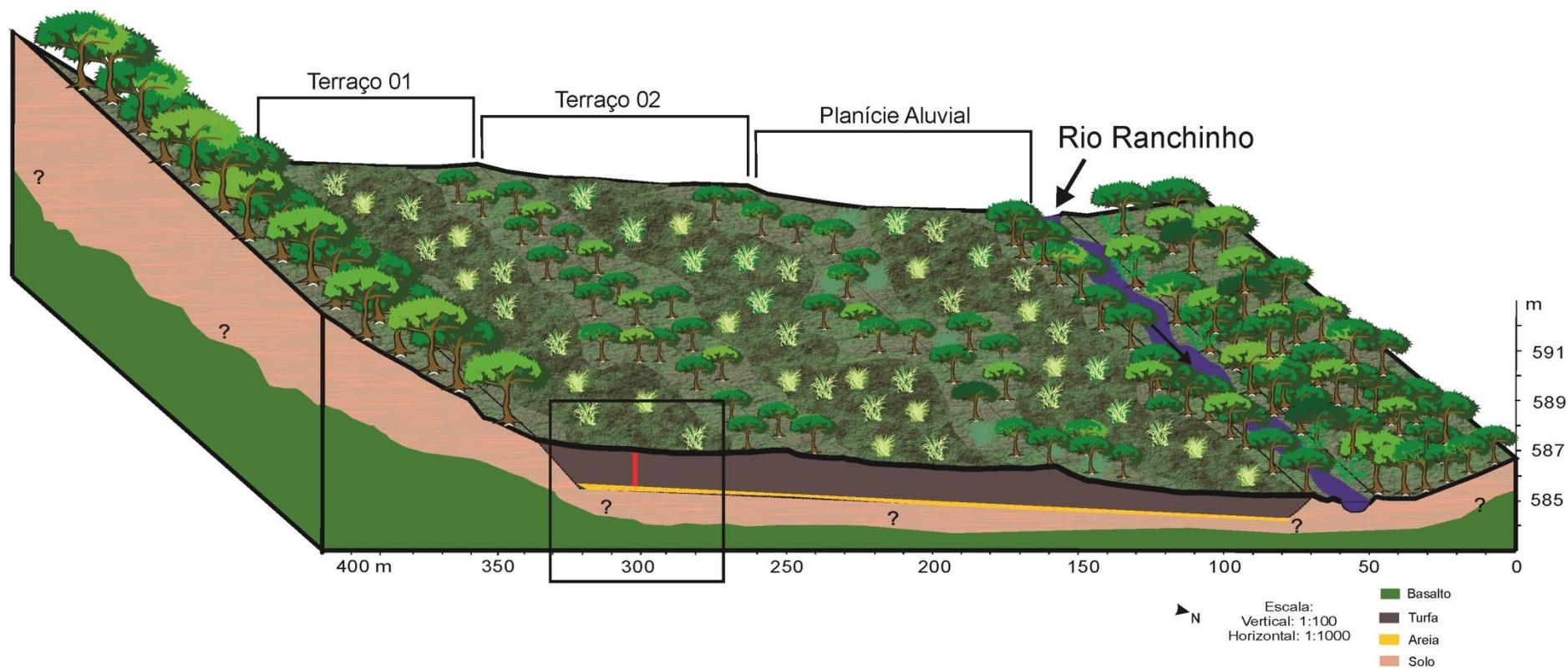


Figura 26: Blocodiagrama esquemático da área em que foi retirado o testemunho analisado no rio Ranchinho.

## 6.2 – TESTEMUNHO DO RIO ÁGUA DOS PAPAGAIOS

### 6.2.1 – Caracterização dos sedimentos turfosos<sup>6</sup>

Os resultados granulométricos apresentaram variações crescentes em direção ao topo. Os maiores percentuais de fração argilosa estão localizados na base, chegando a atingir valores de 67% (110 – 100cm). As frações de areia alcançaram maiores porcentagens do meio ao topo do perfil, 63% (50 – 40 cm) e 75% (22 – 10 cm). Os valores de silte mantiveram-se estáveis (~10%).

A combustão, tanto volátil quanto sólida, do material foi baixo para o perfil analisado, combustão volátil de 16,66% (95 cm), 17,77% (65 cm), 29,89% (45 cm) e combustão sólida de 29,6% (95 cm), 35,3% (65 cm) e 45% (45 cm) (Figura 27).

O material turfáceo presente na planície aluvial do rio Água dos Papagaios constitui uma turfa límmica sedimentar na base, altamente coloidal que por sua vez torna-se fibrosa no topo do perfil (15 cm de profundidade). Na classificação de *Von Post*, simplificada por Stanek e Silc (1977) pode ser definida como Sáprica (H9) na base do perfil, entre 110 a 80 cm de profundidade, Hêmica (H6 – H7), de 90 a 15 cm e fibrosa na porção superior do perfil.

Foram realizadas duas datações na base do perfil em que não há a presença de turfa, mas sim de material intemperizado do basalto e areia, nas profundidades de 210 e 160 cm, com idades de 19.934 anos cal AP. e 16.016 anos cal AP., respectivamente. Por sua vez as idades obtidas a 75 e 45 cm, da turfa propriamente dita, correspondem ao Holoceno, datadas respectivamente em ~7.280 anos cal AP. e ~3.284 anos cal AP. (Tabela 5).

Tabela 5: Datações <sup>14</sup>C e respectivas idades calibradas em anos AP. (rio Água dos Papagaios)

<b>Profundidade (cm)</b>	<b>Idade <sup>14</sup>C (anos AP.)</b>	<b>Idade calibrada (anos AP.), 2σ</b>	<b>Média idade calibrada (cal anos AP.)</b>
45	3060±25	3215-3353	3284
75	6340±25	7239-7323	7281
160	13320±35	15839-16194	16016
210	16530±40	19746-20123	19934

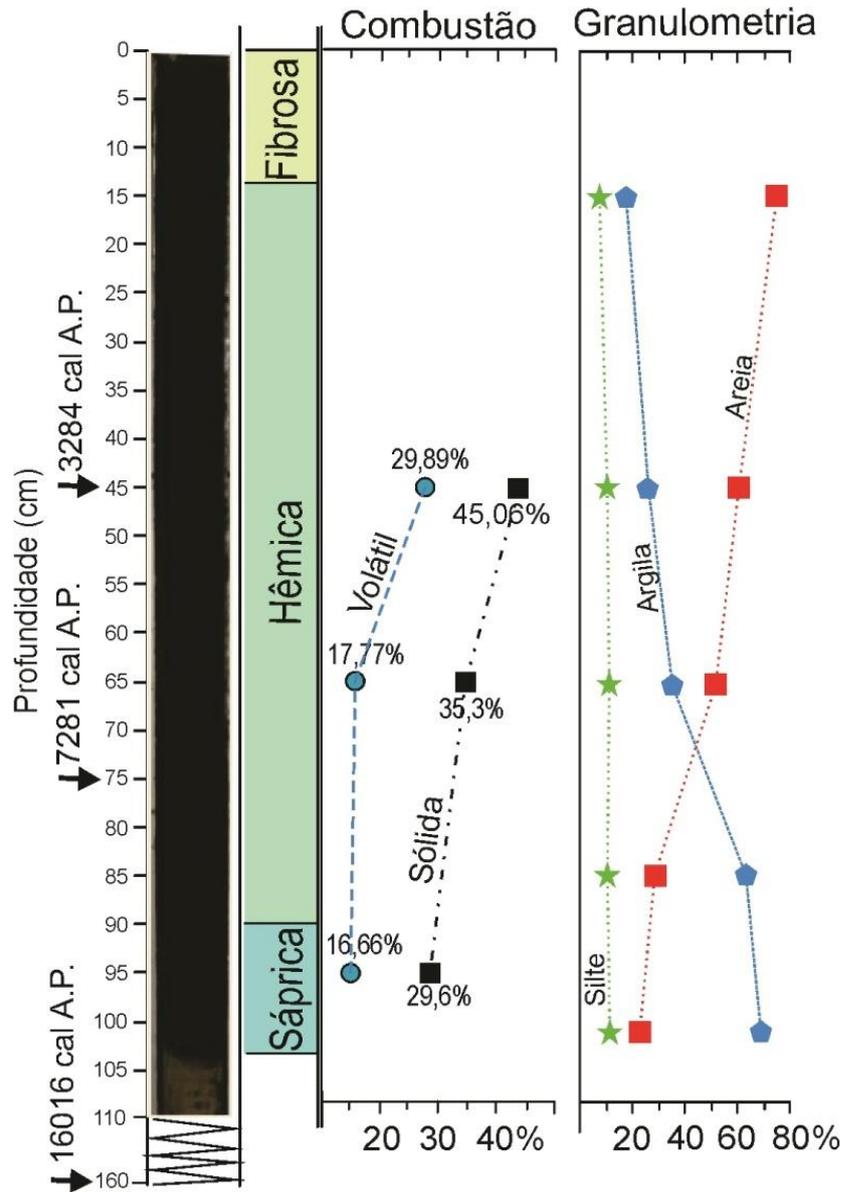


Figura 27: Caracterização da turfa presente na planície do rio Água dos Papagaios: datação; foto do perfil sedimentar; classificação de *von Post*; combustão e granulometria.

### 6.2.2 – Assembleia Fitolítica, $\delta^{13}\text{C}$ , $\delta^{15}\text{N}$ e razão C/N

Os valores de  $\delta^{13}\text{C}$  oscilaram entre -14,24 (110 cm) e -19,04‰ (5 cm). A concentração de Carbono (%) obteve uma variação de 0,4% (110 cm) a 29,6% (15 cm), por sua vez, o nitrogênio (%) obteve valores de 0,04% (110 cm) a 1,86 % (15 cm). Os valores de  $\delta^{15}\text{N}$  oscilaram de 2,49% (95 cm) a 18,9% (75 cm). A razão C/N obteve variação de 12,03 (110 cm) a 56,4 (80 cm) (Tabela 6):

Tabela 6: Valores de C (%), N (%),  $\delta^{13}\text{C}$ ,  $\delta^{15}\text{N}$  e Razão C/N do testemunho de turfa do rio Água dos Papagaios

Profund. (cm)	Carbono (%)	$\delta^{13}\text{C}$	Nitrogênio (%)	$\delta^{15}\text{N}$	Razão C/N
0	-	-	1,76	4,77	-
5	23,62	-19,04	1,76	5,32	13,42
10	26,36	-19,2	1,85	4,72	14,23
15	29,64	-16,48	1,86	4,25	15,90
20	27,68	-16,62	1,71	4,4	16,23
25	25,93	-16,5	1,59	4,48	16,32
30	24,19	-16,21	1,47	4,68	16,46
35	18,33	-18,03	1,03	6,75	17,76
40	18,04	-17,90	0,85	7,99	21,34
45	17,25	-17,93	0,80	6,56	21,53
50	16,00	-17,44	0,70	5,95	22,96
55	17,45	-17,22	0,96	4,7	18,22
60	19,67	-17,06	0,93	5,09	21,10
65	19,08	-16,23	0,85	6,97	22,34
70	13,55	-16,23	0,59	8,42	23,01
75	8,06	-14,85	0,22	18,9	35,96
80	6,78	-14,52	0,12	3,19	56,47
85	6,86	-16,47	0,18	3,2	38,13
90	10,22	-16,64	0,28	3,15	36,48
95	9,59	-17,01	0,27	2,49	35,53
100	12,49	-16,76	0,33	3,26	37,83
110	0,48	-14,24	0,04	4,13	12,03
160	-	-25,6	-	-	-
210	-	-23,6	-	-	-

Os resultados dos índices fitolíticos obtiveram os seguintes valores: a) o índice D/P (Dicotiledôneas lenhosas x Poaceae) apresentou o valor máximo de 5,56 (66-62 cm); b) O índice climático (Ic) obteve variação de 2,67% (72 cm) a 10,05% (serrapilheira); c) o índice de adaptação à aridez (*Iph*) obteve valores entre 0,81% (4 cm) a 39,66% (72 cm) e d) o índice de estresse hídrico (Bi) variou de 1,15% (52 cm) a 28,7% (72 cm). A concentração de fitólitos característicos de Poaceae variou de 32,5% (72 cm) a 66,5% (24 cm). Da mesma forma, pode ser observado que o número de fitólitos não identificados tende a um aumento conforme a profundidade. Os morfotipos de fitólitos com maior incidência foram os *Bilobates* e *Elongates*, ambos característicos das gramíneas (Figura 28):

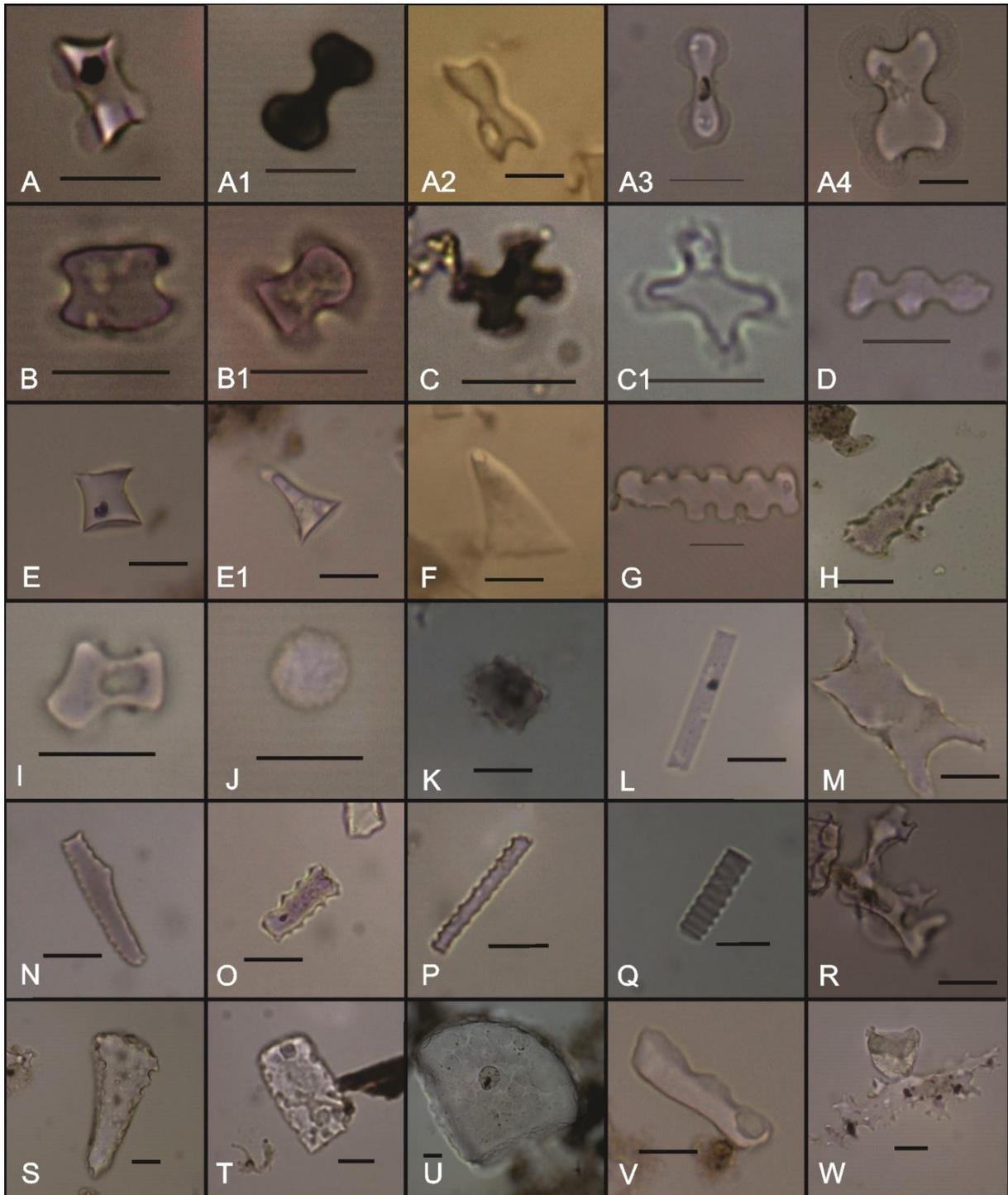


Figura 28: Principais morfotipos de fitólitos quantificados no rio Água dos Papagaios. A, A1, A2, A3, A4 – *Bilobate*; B, B1 – *Saddle*; C, C1 – *Cross*; D, G – *Cylindrical polylobate*; E, E1 – *Rondel*; F – *Hair cell*; H – *Elongate*; I – *Unclassified*; J – *Globular psilate*; K – *Globular echinate*; L – *Elongate psilate*; M – *Unclassified*; N, Q – *Cylindric sulcate tracheid*; O, P – *Elongate echinate*; R – *Unclassified*; S, U – *Bulliform cuneiform*; T – *Bulliform papalpepedal*; V – *Trapeziform sinuate*; W – *Dentritic*. Escala: 12  $\mu$ m.

Diante dos índices fitolíticos e dos outros *proxies* analisados foi possível o estabelecimento de três fases (Figura 29):

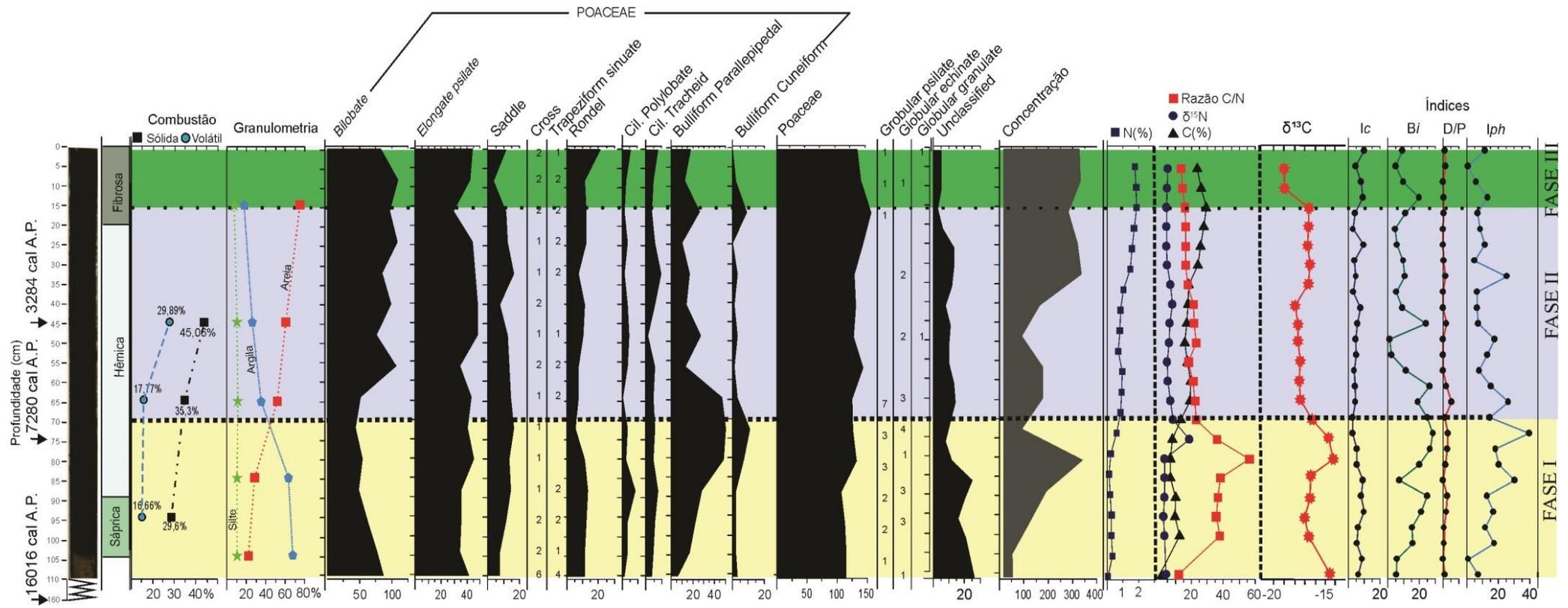


Figura 29: Datação, perfil sedimentar, caracterização da turfa, resultados de combustão, granulometria, contagem fitolítica por morfotipos, índices fitolíticos, concentração e dados isotópicos do C e N do rio Água dos Papagaios.

## FASE I

No sedimento turfoso compreende o intervalo de 110 a 70 cm do perfil, com datação de 7.280 anos cal AP. (75 cm). Essa fase é caracterizada pelas Razões Carbono/Nitrogênio altas, com progressivo aumento a partir da base, 12,03 (110 cm) e 56,47 (80 cm). O índice D/P apresentou elevação a partir da base, com valor máximo de 3,05 (80 cm). O índice climático (Ic) variou de 2,6% (80 cm) a 9,88% (92 cm). A variação no índice de adaptação a aridez (*Iph*) foi de 1,05% (104 cm) a 39,66% (72 cm). Por sua vez, o índice Bi apresentou um incremento, de 8,49 (110 cm) à 28,7 (80 cm). A porcentagem total dos fitólitos de Poaceae tende a uma redução no final dessa fase, de 57,5% (110 cm) a 53% (70 cm). A queima dos elementos voláteis e sólidos (95 cm) foi de 16,66% e de 29,6% respectivamente. Os valores de  $\delta^{13}\text{C}$  oscilaram de -14,2‰ (110 cm) a -17,01‰ (95 cm). A concentração de Nitrogênio (%) obteve variação de 0,04% (110 cm) a 0,33 (100 cm). Por sua vez, os valores de  $\delta^{15}\text{N}$  foi de 2,49‰ (95 cm) a 4,13‰ (110 cm). A concentração de fitólitos obteve valor máximo de ~363 fitólitos a 80 cm. Nessa mesma profundidade foi registrado o valor máximo da razão C/N (56,47%). Por sua vez, o valor mais alto de  $\delta^{15}\text{N}$  (18,9%) foi registrado a 75 cm.

## FASE II

Compreende o intervalo entre 70 cm a 15 cm com datação de 3.284 anos cal AP. (45 cm). O início da fase é marcado pela baixa concentração fitolítica (~41 fitólitos por sequência) com aumento progressivo em direção ao topo da fase. Nessa fase a razão C/N passa a apresentar valores entorno de 20%, com pouca variação, da mesma forma que os valores de Nitrogênio (%). Por sua vez, a concentração de Carbono (%) apresentou acréscimo da base para o topo da fase, de 13,55% (70 cm) para 29,64% (15 cm). Houve um leve empobrecimento isotópico ( $\delta^{13}\text{C}$ ) de -16,23‰ (70 cm) para -18,03‰ (35 cm). Os morfotipos *Bulliforms* (*Parallelepipedal* e *Cuneiform*) reduziram da base para o topo da fase, o maior valor do índice D/P foi constatado na sequência 44 cm (2,21). O índice Ic, variou entre 2,91% (20 cm) a 9,77% (24 cm). O índice *Iph* apresentou o maior valor na profundidade de 32 cm (25,49%). O índice Bi variou de 1,15% (48 cm) a 26,47 na base da fase. Essa fase apresenta a incidência dos morfotipos *Globular granulate* e *Globular psilate*.

## FASE III

Abrange os 15 cm do topo do testemunho. Essa fase apresenta o maior valor de Carbono Total para o perfil, 29,6% (15 cm), maior valor de  $\delta^{13}\text{C}$ , -19,04‰ (5 cm), bem como o menor valor da razão C/N 13,4 (5 cm). A concentração de fitólitos foi grande, >350 fitólitos. Os índices D/P e Ic mantiveram-se estáveis, ~0,60 e ~14%, respectivamente. Por sua vez, o índice *I<sub>ph</sub>* obteve o menor valor do perfil 0,81% (4 cm). Por sua vez, o índice Ic apresentou o maior valor 10,05% (serrapilheira). No topo do perfil, observa-se a maior incidência de *Rondel* (10,5%).

### 6.2.3 – Geomorfologia

Na margem direita do rio Água dos Papagaios observou-se a existência de um terraço de ~32 cm distinguindo-se da planície aluvial (Figura 30). O terraço inicia-se a ~155 metros da margem do rio Água dos Papagaios com aproximadamente 75 m de largura, já a planície aluvial possui uma largura de aproximadamente ~80 metros.

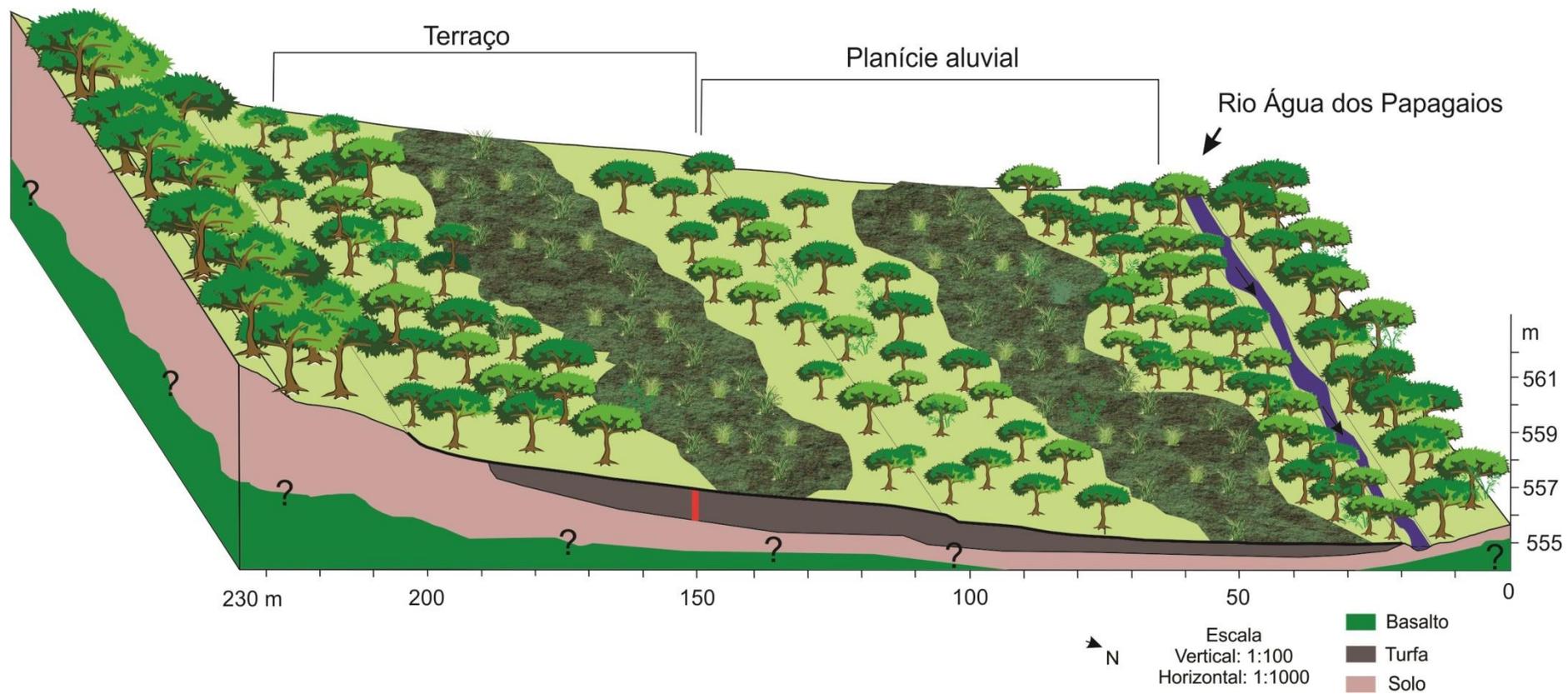


Figura 30: Blocodiagrama esquemático planície do rio Água dos Papagaios com destaque para o local de retirada do testemunho.

### 6.3 – TRINCHEIRA DA ESTAÇÃO ECOLÓGICA DO CERRADO

Os resultados de C (%) e  $\delta^{13}\text{C}$  da trincheira da Estação Ecológica do Cerrado são apresentados na Tabela 7. A sequência 120-130 cm foi datada em ~5.820 anos cal AP. (Tabela 8) com sinal isotópico de -17,8‰.

Tabela 7: Valores de C (%) e  $\delta^{13}\text{C}$  da Trincheira na Estação Ecológica do Cerrado

<b>PROFUND. (CM)</b>	<b>CARBONO (%)</b>	<b><math>\delta^{13}\text{C}</math></b>
0-10	2,10	-18,94
30-40	1,52	-16,33
40-50	1,37	-16,51
60-70	1,12	-16,41
90-100	0,84	-16,56
100-110	0,78	-16,95
120-130	0,69	-17,80
140-150	0,66	-18,45
160-170	0,56	-17,77
190-200	0,50	-17,07
200-210	0,44	-16,35
220-230	0,45	-15,22
240-250	0,44	-14,55
260-270	0,41	-14,48
270-280	0,35	-17,13
300-310	0,33	-15,08
320-330	0,33	-14,00
340-350	0,29	-15,20
370-380	0,28	-15,38

Tabela 8: Datação  $^{14}\text{C}$  e respectivas idades calibradas em anos AP (Trincheira Estação do Cerrado)

<b>Profundidade (cm)</b>	<b>IDADE <math>^{14}\text{C}</math> (anos AP)</b>	<b>Idade calibrada (anos AP), <math>2\sigma</math></b>	<b>Média idade calibrada (cal anos AP)</b>
120-130	5060±30	5738-5903	5820

## 7. DISCUSSÃO

O material turfoso obtido na planície do rio Água dos Papagaios e do rio Ranchinho, embora apresentasse alta decomposição (escala de *Von Post*), o potencial de queima, volátil e sólida não foi suficiente para indicar o uso como combustível. Guerreiro *et al.* (2012) analisando os depósitos turfosos formados pelo rio Tibagi, nos Campos Gerais, com o uso do mesmo protocolo laboratorial, indicou que os depósitos também apresentavam alta decomposição (H9 e H10 – Quadro 3), sem possibilidade de uso como combustível.

Em relação a geomorfologia, a área estudada apresenta dois terraços construídos pelo rio Ranchinho e um terraço formado pelo rio Água dos Papagaios. A origem dos terraços aluviais ainda é tema de discussão na Geociência e não apresenta consonância entre as linhas de pesquisa. Alguns autores os consideram como fruto de flutuações climáticas, outros como resultados de basculamentos de blocos por ação da tectônica. Bigarella e Mousinho (1965) asseveram que em períodos de semiaridez ou aridez são predominantes os processos de agradiação, gerando um acúmulo de material no leito, enquanto que, em períodos mais úmidos, os processos de degradação atuam de forma mais constante e ocasionam a construção dos terraços fluviais. Por outro lado, Stevaux 1993 e Fortes 2003, ao estudarem a região do Alto Rio Paraná consideram a ação desses dois fatores.

Os fitólitos, que neste trabalho se apresentam como o principal *proxy* para o estudo da evolução paleoambiental, tiveram papel fundamental na inferência sobre as condições e processos que atuaram para a modificação da paisagem em questão. Embora a análise fitolítica do testemunho do rio Ranchinho não tenha permitido estabelecer os parâmetros matemáticos usados para calcular os índices dispostos na literatura internacional, a correlação com os outros *proxies* utilizados permitiu algumas inferências sobre a evolução paleoambiental da área.

### 7.1 – RIO RANCHINHO

A evolução paleoambiental do rio Ranchinho pode ser expressa em quatro fases (Figura 25) conforme segue:

#### FASE I

Datada em  $48.800 \pm 270$  anos AP. (94 cm) com valores  $\delta^{13}\text{C} \sim -15\text{‰}$  (Figura 31), indicando predominância de plantas  $\text{C}_4$ . A razão C/N aliada aos dados de nitrogênio indicam

mistura entre matéria orgânica de origem terrestre e aquática. Ocorrência significativa dos morfotipos *Bulliform parallelepipedal*, *Bulliform cuneiform* e *Elongate*, característicos de Poaceae. Esses morfotipos, segundo Bremond (2003), evidenciam que houve estresse hídrico, forçando as plantas a acumularem sílica nas células buliformes. Vale salientar, que nessa fase foram detectadas apenas formas mais robustas, que por sua vez, apresentavam sinais de deterioração (Figura 24/A, A1, A2, A4, B, B1, B3, B4, B5, C, C1, C2, D, D1 e D4). Essa condição pode estar relacionada ao processo natural de dissolução dos fitólitos por conta da idade do sedimento, em que, somente as formas mais resistentes suportaram tal processo, como explicado nos trabalhos de Alexander *et al.* (1997, 1999), Borba-Roschel *et al.* (2006) e Coe (2009), no entanto, a ausência dos morfotipos *globulares*, também resistentes (ALEXANDRE *et al.*, 1997), reforça a ideia de condição mais seca.

As condições mencionadas evidenciam a existência de um clima mais seco que o atual. Esse evento seco pode estar relacionado ao período descrito por Stevaux (1993; 1994a; 1994b), na região de Porto Rico/PR, distante aproximadamente 200 km a noroeste da região pesquisada, responsável pela formação do terraço Fazenda Boa Vista (SUGUIO *et al.*, 1984 e NOGUEIRA JR, 1988), em que predominaram processos de fluxo de densidade (fluxo de grãos e/ou fluxo de detritos), bem como, a ausência de matéria orgânica em depósitos lacustres e presença de atividade eólica (KRAMMER e STEVAUX, 2001), o qual, associado às mudanças climáticas locais e ao tectonismo ascendente durante o Pleistoceno, gerou um terraço de 5 a 8 m de altura (STEVAUX, 1993).

Os sedimentos gerados pelo rio Ranchinho nessa fase correspondem a base do primeiro terraço, decorrente desse período mais seco, em que houve a agração de material na planície, seguido por um período de maior umidade (Fase II), responsável pela escavação e formação do terraço. A hipótese de formação por neotectonismo não foi considerada pois não foram detectados durante as atividades de campo as feições (e.g. estrias) necessárias para constatar a presença de atividade tectônica durante o Pleistoceno Superior.

## FASE II

Datada em 41.460 anos cal AP. (45 cm), apresentou valor  $\delta^{13}\text{C}$  de -19,6‰ (Figura 31), indicando provável mistura de plantas com ciclo fotossintético  $\text{C}_3$  e  $\text{C}_4$ , com tendência para plantas  $\text{C}_3$  (geralmente de porte arbóreo), da mesma forma houve a redução da incidência dos morfotipos *Cuneiform* e *Parallelepipedal* e pela primeira vez, ocorrência dos morfotipos *Globular echinate* e *Globular psilate*. *Globulares echinates* que são produzidos

principalmente por *Arecaceae* (PIPERNO, 2006; BREMOND, 2003; RASBOLD *et al.*, 2010), além de *Marantaceae* e *Bromeliaceae* (PIPERNO, 2006). Os *Globulares psilates* tem seu registro para *Euphorbiaceae*, *Proteaceae* (MERCADER *et al.*, 2009). Raitz (2009) detectou a ocorrência de *Globular psilate* para pteridófitas, *Orchidaceae*, *Meliaceae*, *Lauraceae* e *Salicaceae* e em menor proporção nas *Poaceae*. Behling *et al.* (2004), ao analisar um turfeira em Cambará do Sul/RS (Planalto Meridional), com datação de 42.840 e 41.470 anos AP., evidenciou uma condição climática mais úmida do que a registrada para o período do Último Máximo Glacial, porém ainda sob clima seco e frio. Na região de Botucatu/SP (localizada ~400km a nordeste da área de estudo), Behling e Lichte (1997) e Behling (2002), por meio do registro polínico, evidenciaram uma condição de Savana, sob clima mais seco e frio, durante o período de 48.000 a 18000 AP. Diante da condição de relativa umidade apresentada nessa fase, o rio Ranchinho aumentou seu poder erosivo, formando o primeiro terraço (Figura 26). Deve ser considerado, também, que nessa fase há a redução da concentração de fitólitos (Figura 25), bem como aumento nos teores de areia, fato que corrobora a interpretação de uma condição relativamente menos seca que a anterior.

### FASE III

Nessa fase (Figura 25) há o enriquecimento do sinal isotópico  $\delta^{13}\text{C}$ , de 19,6‰ na base desse intervalo para 16,8‰. Embora tais valores indiquem mistura de plantas  $\text{C}_3$  e  $\text{C}_4$ , tem-se nesse caso a tendência para plantas  $\text{C}_4$ . Na sequência 28-25 cm, a razão C/N teve valor de 15,61 indicando menor disponibilidade de água na planície. Na porção superior dessa fase tem-se o retorno da umidade, valores C/N ficam abaixo de 5%, corroborando essa interpretação vê-se o aumento dos percentuais de nitrogênio e carbono total. O expressivo aumento do morfotipo *Bulliform parallepipedal* entre 28-25 cm aliada ao aumento da concentração dos fitólitos, permite inferir que essa fase era mais seca que a anterior (fase II) e mais seca que a atual, pelo menos até a sua porção média. Embora, esta sequência, não tenha datação absoluta, a condição ambiental demonstrada remete à transição entre o Pleistoceno Superior e o Holoceno. Os sedimentos gerados na porção inferior dessa fase constituem a base do segundo terraço no rio Ranchinho (Figura 26), decorrente de período seco.

### FASE IV

Fase com maior umidade expressa pela baixa razão C/N e aumento dos percentuais de Nitrogênio e Carbono. Os valores de  $\delta^{13}\text{C}$  (-19,4‰) evidenciam mistura de plantas  $\text{C}_3$  e  $\text{C}_4$ , é provável que os processos erosivos, decorrentes da maior umidade iniciada na fase III tenham culminado nessa fase, formando o segundo terraço.

Cabe ressaltar que em uma das atividades de campo, foi relatado por um morador local, que no entorno da área houve nas últimas décadas o plantio de arroz, bem como a prática de pecuária. Tal condição pode ser a explicação para alta concentração de fitólitos nessa fase

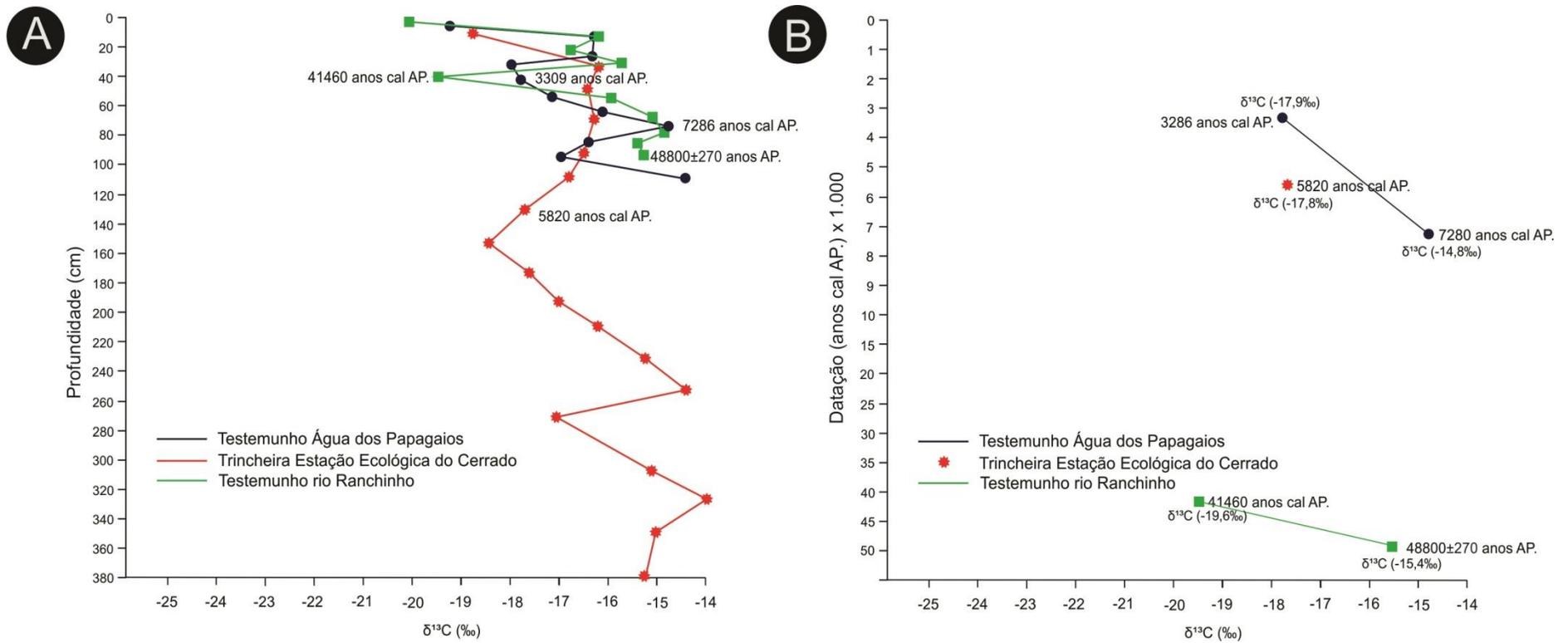


Figura 31: Datações e sinais isotópicos obtidos no testemunho do rio Ranchinho, Água dos Papagaios e da trincheira na Estação Ecológica do Cerrado. A – gráfico conforme a profundidade e B – conforme a cronologia do material.

## 7.2 – RIO ÁGUA DOS PAPAGAIOS

O perfil sedimentar do rio Água dos Papagaios apresentou uma idade de 19.934 anos cal AP. na profundidade de 260 cm, com razão isotópica ( $\delta^{13}\text{C}$ ) de -23,6‰ (Figura 29 e 31), indicando a presença de plantas  $\text{C}_3$ , fato que se prolonga para 16.016 anos cal AP. (-25,6‰) (Figura 29 e 31), no entanto, não é possível inferir, que essa área passou a apresentar uma melhoria das condições ambientais nesse período. A presença de sinais isotópicos típicos de plantas  $\text{C}_3$  pode ser em decorrência de condições locais que permitiram o desenvolvimento de uma vegetação mais arbórea, possivelmente de mata de galeria próximo ao leito do rio. Salientando que o sedimento analisado nessa profundidade, trata-se de restos de matéria orgânica que estavam misturadas ao material já muito intemperizado do basalto com grande quantidade de areia. Tal condição propicia a preservação de partículas de carvão originárias de espécies lenhosas, que no caso em questão, não foram enviadas amostras específicas ou mesmo homogêneas para a determinação dos valores de  $\delta^{13}\text{C}$ .

Os sedimentos turfosos do rio Água dos Papagaios apresentaram idade holocênica, mais especificamente ao Holoceno Médio 7.280 cal AP. (WALKER *et al.*, 2012 – 8.200 a 4.200 anos AP.) e Holoceno Superior 3.284 anos cal AP. (*op cit.*). A assembleia fitolítica apresentou maior quantidade de morfotipos em relação ao testemunho do rio Ranchinho, permitindo o cálculo dos índices fitolíticos (Figura 32) dispostos na literatura internacional e calibrada para a África Ocidental Diante das análises operadas, a evolução paleoambiental pode ser inferida em três fases (Figura 29):

### FASE I

Datada entre 16.010 anos cal AP e 7.280 anos cal AP. (75 cm). Fase eminentemente mais seca que atual, na qual predominaram os processos de deposição. No entanto os dados isotópicos sugerem oscilações significativas no período (Figura 29 e 31). Na base (110cm) o valor de  $\delta^{13}\text{C}$  indica predomínio de plantas  $\text{C}_4$ . Os dados de  $\delta^{15}\text{N}$  aliado a razão C/N, mostram mistura de matéria orgânica de origem terrestre e aquática, com predomínio da primeira. Na porção média (85 a 105 cm) os valores de  $\delta^{13}\text{C}$  variaram entre -15 e -17‰ (predomínio de plantas  $\text{C}_4$ ), o  $\delta^{15}\text{N}$  se manteve entre 3 e 4 e os valores de C/N aumentaram para ~50, sugerindo predomínio de matéria orgânica de origem terrestre. Na porção superior (75 a 80 cm) o  $\delta^{13}\text{C}$  foi de ~-16‰ (plantas  $\text{C}_4$ ), os valores de  $\delta^{15}\text{N}$  aumentaram para >16 e

C/N diminuiu para ~35, sugerindo uma fase mais úmida do que a da porção média dessa fase. Salienta-se que o índice *Bi* e *Iph* sofrem redução nesse intervalo, corroborando os dados isotópicos (Figura 32). No topo dessa fase (70cm) as condições relacionadas ao isótopos, indicam aos mesmos padrões registrados para a porção média, ou seja condição mais seca. Embora seja uma fase eminentemente mais seca que a atual, destaca-se que o valor de Nitrogênio ( $\delta^{15}\text{N}$ ) mais elevado (19,5‰) (Figura 29), seguido do aumento expressivo da razão C/N (base da fase), podem ser em decorrência da maior atividade bacteriana no ambiente em virtude do acúmulo de material orgânico, com apodrecimento de restos de vegetação ripária na planície com formação de um ambiente anaeróbico no período próximo a datação de 7.280 anos cal AP.

Quanto aos fitólitos, os morfotipos característicos de Poaceae, foram abundantes, embora tenham sido registrados em menor proporção, os *Globulares* e os morfotipos não classificados (*Unclassified*) associados geralmente a dicotiledôneas, tiveram redução progressiva em direção ao topo. Também foram detectados fitólitos com diversos graus de corrosão na superfície, principalmente os morfotipos *Bulliform paralelepipedal* e *cuneiform* (Figura 28/S, T, U), situação essa já discutida no item 6.1, Fase I do rio Ranchinho.

Observa-se flutuações no índice *Iph* da base para o topo da fase (Figura 32), no entanto com tendência a aumento, até próximo ao topo (90cm), caracterizando aumento progressivo das gramíneas do tipo Chloridoideae ( $C_4$ ), com redução de umidade no solo. Essa condição, aliada ao aumento do índice *Bi* é interpretada como de maior estresse hídrico na área. O índice *Ic* mostra-se baixo, evidenciando a predominância de plantas  $C_4$  (Panicoideae e Chloridoideae), tal condição reforça a interpretação de ambiente mais seco que o atual. O índice *Ic* corrobora os dados isotópicos que incidam a presença de plantas  $C_4$ . O índice D/P, embora calculado, não foi avaliado, pela pouca (<5%) ou nenhuma ocorrência do morfotipos *Globular granulate*.

Esta fase é caracterizada pela transição Pleistoceno Superior/Holoceno, em que houve a formação dos depósitos do terraço do rio Água dos Papagaios. A presença de um clima mais seco no Estado do Paraná durante essa transição é atestada por diversos trabalhos: No alto rio Paraná por Stevaux (1993, 1994a, 2000); Krammer e Stevaux (2001); Parolin e Stevaux (2001, 2006); Parolin (2006); Nas lagoas próximas ao médio curso do rio Ivaí por Fernandes (2009) e Rezende (2010); e no baixo curso do rio Ivaí por Alcantara-Santos (2013) e Guerreiro *et al.* (2013).

No trabalhos do rio Ivaí (Figura 15), área mais próxima em relação ao local pesquisado, cabe destacar: i) condições mais secas vigorando entre 11.726 a 4.224 anos,

registradas via palinologia por Fernandes (2009) na Lagoa Fazenda localizada em São Tomé/PR, distante aproximadamente 62 km a noroeste da área de estudo; ii) os dados de Rezende (2010), com base em espículas de esponjas de água doce, estudando a mesma lagoa e outra próxima (Lagoa Seca), indicou fases mais secas que a atual na transição entre o Pleistoceno Superior/Holoceno, bem como no Holoceno Médio, com progressivo aumento da umidade até os dias atuais; iii) os resultados de Pessenda *et al.* (1996) sobre os isótopos presentes na matéria orgânica do solo, na região de Londrina, 150 km ao norte da área de estudo, que mostraram condições de maior umidade desde o Holoceno Superior até o presente; iv) os dados de Alcantara-Santos (2013), que ao pesquisar os fitólitos preservados no solo, juntamente com dados isotópicos  $\delta^{13}\text{C}$  de uma área de Floresta Estacional Semidecidual em Douradina, 126 km a noroeste da área pesquisada, constatou o predomínio de condições mais secas que as atuais, no entanto, sob o domínio de floresta em 10.195 cal AP, e condições mais úmidas, vigorando a partir de 5.963 anos AP.; v) os dados de Guerreiro *et al.* (2013) que detectaram na região de Querência do Norte/PR, 170 km a noroeste da área de estudo, espículas de esponjas continentais na lagoa Milharal e Seca que atestam melhoria climática a  $7.540 \pm 40$  anos AP.; vi) os estudos de Moro *et al.* (2004) com frústulas de diatomáceas em um testemunho obtido na Lagoa Dourada (Campos Gerais), 267 km a leste da área da área de estudo, que encontraram uma fase mais seca por volta  $8.710 \pm 150$  anos AP., no entanto, no testemunho estudado, logo acima dessa datação, tem-se evidências de condições mais úmidas vigorando desde o Holoceno Médio até o presente.

## FASE II

Fase com grande oscilação ambiental, datada em sua porção média em 3.280 anos cal AP. (45 cm). Nela há o empobrecimento gradual dos valores de  $\delta^{13}\text{C}$  para  $\sim -18\%$ , os valores de  $\delta^{15}\text{N}$  e C/N diminuem para  $\sim 3$  e  $\sim 20$  respectivamente, indicativo de mistura de matéria orgânica de origem terrestre com menor influência aquática. O índice *Bi* oscilou muito nessa fase, registrando estresse hídrico entre 70 e 60 cm e na profundidade de 45 cm (3.280 anos cal AP). A partir dos 45 cm até a base este índice mostra condições ambientais menos restritivas, configurando ambiente mais úmido. O índice *I<sub>ph</sub>* embora flutue muito nesse intervalo possui tendência para relativamente menos elevados do que os vistos na fase anterior, indicando melhora das condições de umidade da base para o topo.

Nessa fase há o aumento da fração arenosa. Argumenta-se que a incisão responsável pela formação do terraço, possivelmente, tenha ocorrido ainda no Holoceno Médio (porção

basal da fase, quando há a diminuição da fração argilosa e aumento da areia), durante o *óptimum* climático, que na região do Alto Paraná (distante ~200 km a NO da área estudada) situa-se entre 8000 a 3500 anos AP. (STEVAUX, 2000). Reforçando esse argumento, verifica-se entre 60 e 50 cm redução significativa do índice *Bi*.

A concentração de fitólitos nessa fase aumenta consideravelmente em direção ao topo da fase, considerando os dados de  $\delta^{13}\text{C}$  (-17,9‰), é possível argumentar mistura de plantas  $\text{C}_3$  e  $\text{C}_4$  nesse período, no entanto, com tendência pró  $\text{C}_4$ . Fato corroborado pelos dados da assembleia fitolítica que indicam a maior presença dos morfotipos *Bilobate* e *Saddle*.

Parolin e Stevaux (2001), Parolin (2006) e Parolin e Stevaux (2006), asseveram a presença de dunas eólicas ativas, sob um clima mais seco, durante o Holoceno Médio (formadas entre 3.300 e 3.700 anos – datação LOE) para a região de Taquarussu/MS, distante ~200 km da área estudada. A presença de um curto período mais seco, possivelmente, seja resultado dessa fase encontrada pelos autores citados anteriormente. O índice *Bi* indicou uma condição de maior estresse hídrico na profundidade de 45 cm (24,36%), datada em 3.284 anos cal. AP. Monteiro *et al.* (2011) ao estudar os fitólitos de uma turfeira nos Campos Gerais (distante ~300 km a SE da área estudada) indicou condições mais frias e secas vigorando a 3.220 anos AP. passando para condições quentes e úmidas a 2.770 anos AP. Guerreiro (2011a) ao estudar o mesmo material, porém, com o uso da palinologia, evidencia a presença de um ambiente pantanoso com mata de galeria na planície do rio Tibagi, no entanto, com campo nas áreas mais altas e que a Floresta Ombrófila Mista (adaptada a condições mais úmidas e frias) tenha se instalado nos últimos séculos.

### FASE III

Os valores de  $\delta^{13}\text{C}$  ficam mais empobrecidos (~-18‰) tendência indicativo de maior contribuição de plantas  $\text{C}_3$ ,  $\delta^{15}\text{N}$  e  $\text{C/N}$  se mantem. Provável melhoria das condições de umidade no Holoceno Superior. Tal como no rio Ranchinho a alta concentração de fitólitos pode ser explicada pela interferência antrópica ocorrida na área nas últimas décadas.

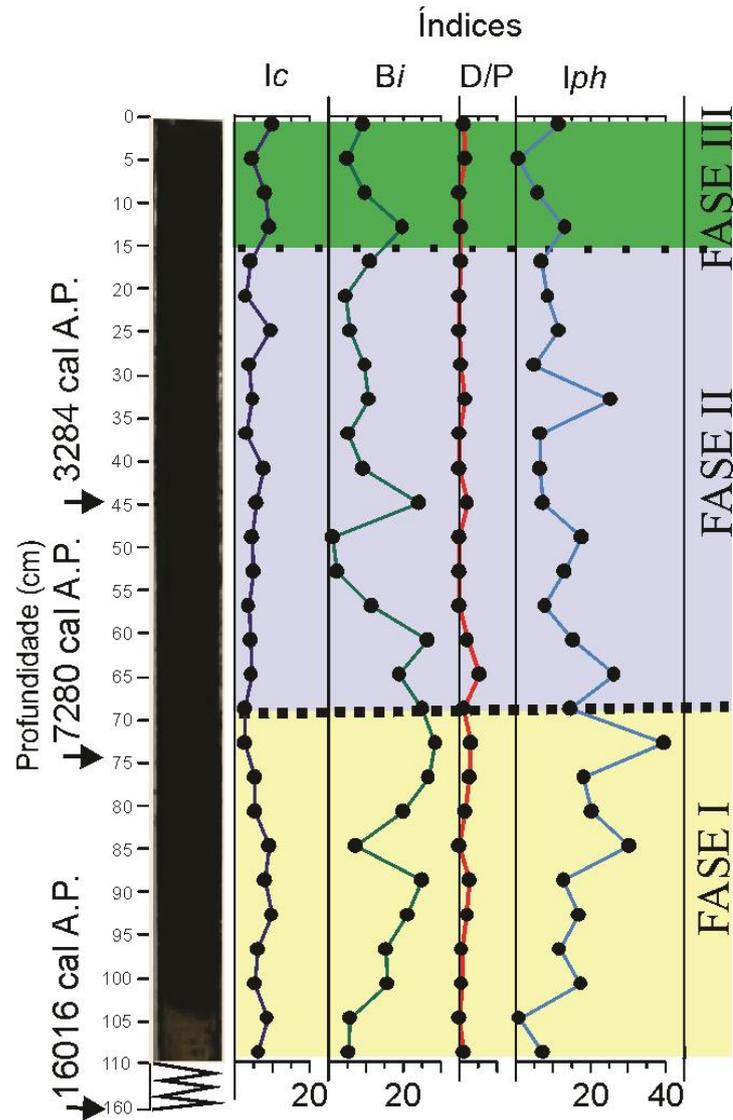


Figura 32: Datação, perfil sedimentar e índices fitolíticos do testemunho do rio Água dos Papagaios.

A correlação dos resultados obtidos a partir do testemunho do rio Água dos Papagaios, com outros trabalhos do Centro-Sul do Brasil e Nordeste da Argentina pode ser observado na figura 33.

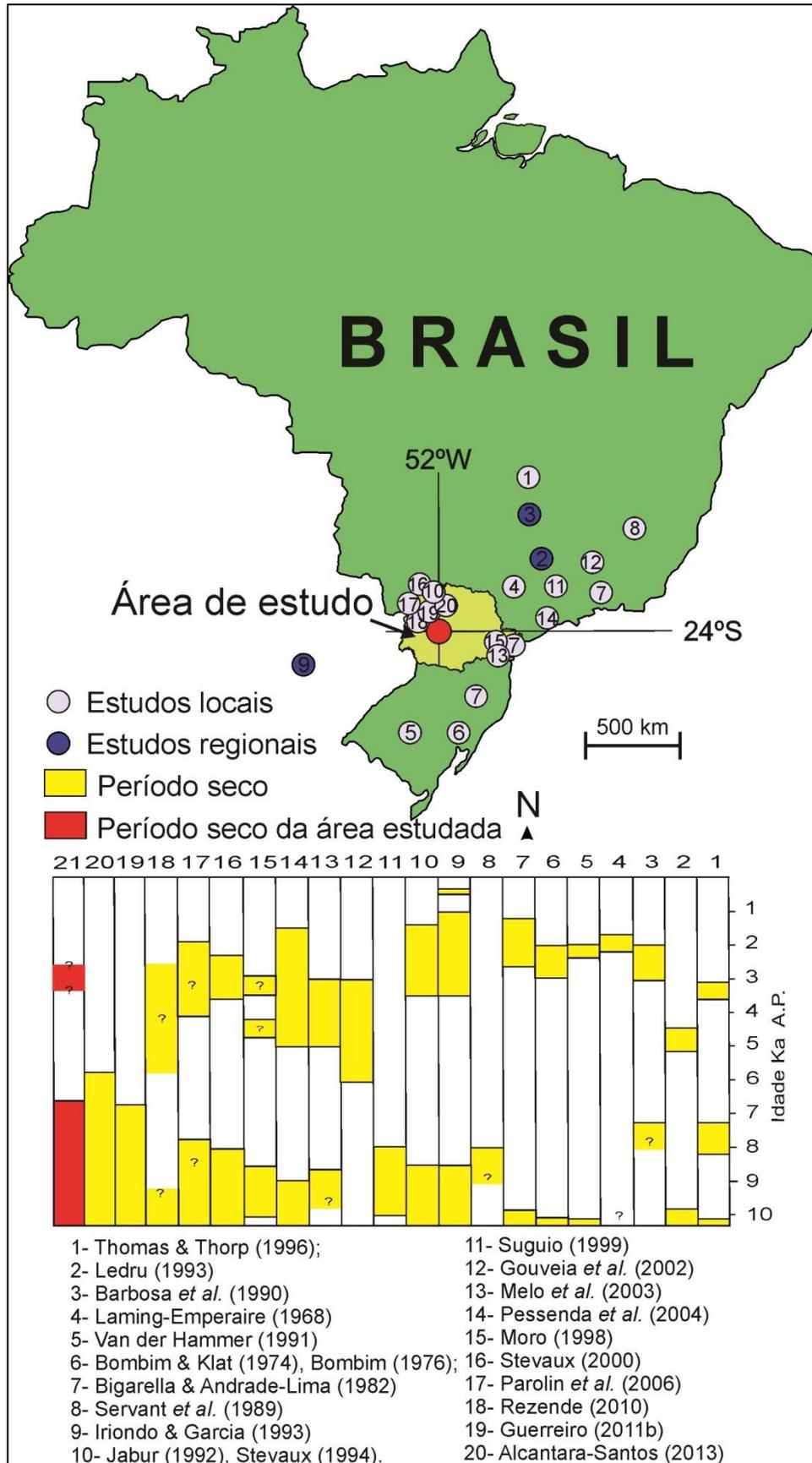


Figura 33: Correlação entre os resultados obtidos neste trabalho com outros estudos na região Centro-Sul do Brasil e NE da Argentina.

## Evolução da área

Na figura 34 é apresentada a evolução hipotética das áreas de estudo, primeiramente na planície do rio Ranchinho que possui idades mais antigas e posteriormente no rio Água dos Papagaios com idades holocênicas.

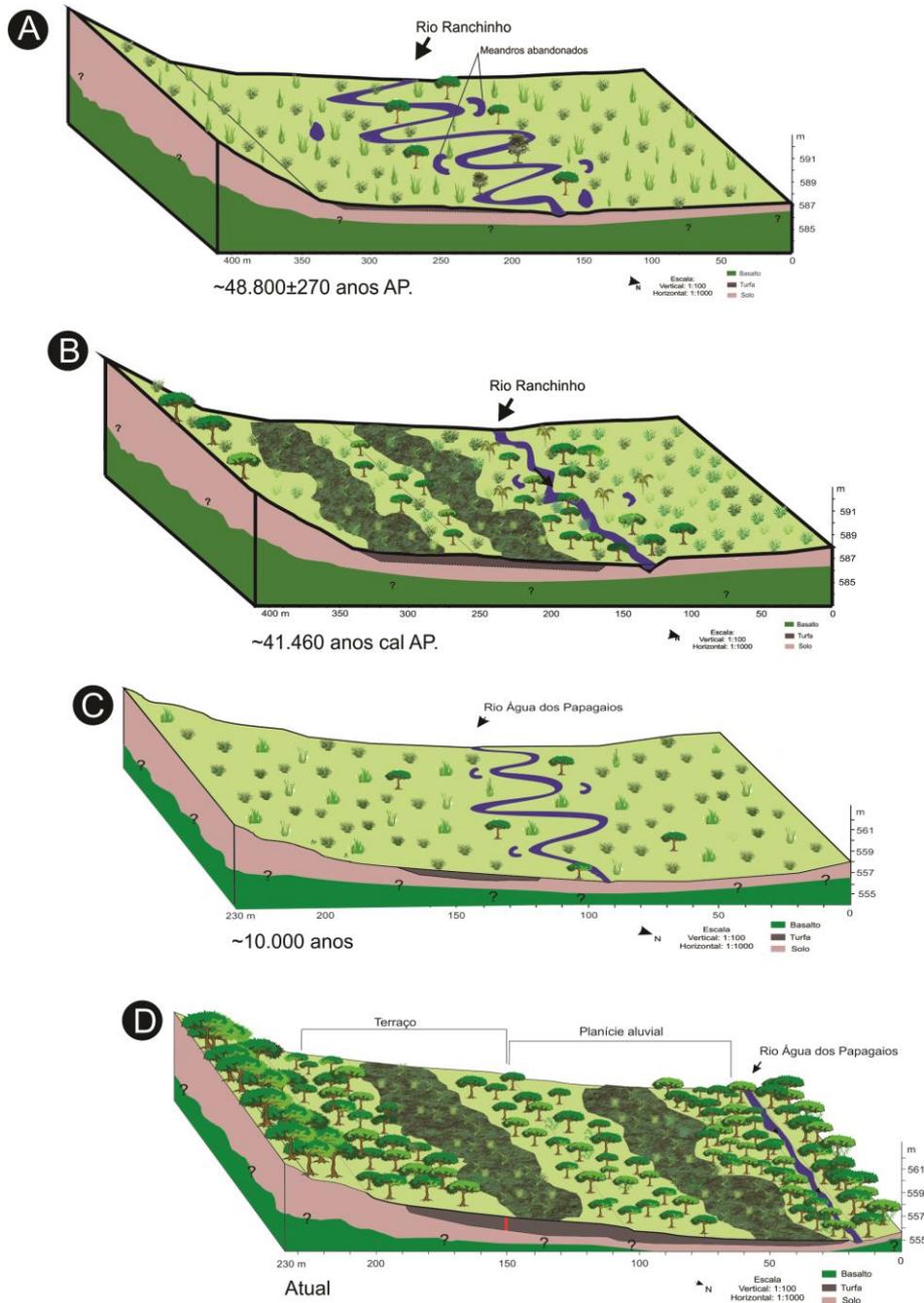


Figura 34: Evolução paleoambiental da área de estudo. A – presença de vegetação aberta com acúmulo de sedimento em um período mais seco que o atual; B – Melhoria das condições ambientais por volta de 41.460 anos cal AP. com maior volume hídrico; C – Presença de um clima mais seco e com vegetação aberta na transição entre o Pleistoceno e Holoceno; D – Condições ambientais atuais que começaram a ser instauradas no Holoceno Médio.

## Estação Ecológica do Cerrado

Na trincheira da Estação Ecológica do Cerrado, da base para o topo há um empobrecimento isotópico (Figura 31), na base os resultados de  $\delta^{13}\text{C}$  (-15,38‰) indicam uma condição de plantas  $\text{C}_4$ . Em direção ao topo, ocorre pequenas variações e empobrecimento isotópico indicando provável mistura de plantas  $\text{C}_3$  e  $\text{C}_4$ . A 120 cm o solo datado em 5.280 anos cal AP. o valor de  $\delta^{13}\text{C}$  (-17,8‰), predominância de plantas  $\text{C}_4$ . Acima desse ponto ocorre enriquecimento isotópico, média  $\sim$ -16,5‰, aumentando condição de plantas  $\text{C}_4$ , tal condição pode ser correlacionada às considerações observadas no rio Água dos Papagaios a 3.280 anos cal AP. sob uma fase mais seca que atual. No topo observa-se o empobrecimento isotópico, sugerindo maior mistura de plantas  $\text{C}_3$  e  $\text{C}_4$  (-18,94‰).

Pessenda *et al.* (1996) verificaram que na região de Londrina os valores isotópicos variaram de -15,0‰ na base a -25,8‰ no topo de uma trincheira de 180 cm (Nitossolo). Na trincheira, a base foi datada em  $9.340 \pm 120$  anos AP. e apresentou valor de -15,0‰, indicativo de plantas  $\text{C}_4$ , enquanto que o horizonte entre 120-130 cm correspondeu a idade de  $5.450 \pm 90$  anos AP. (muito próxima à detectada na Estação Ecológica na mesma profundidade) com sinal de  $\delta^{13}\text{C}$  de -16,8‰. Na mesma trincheira, a matéria orgânica do solo apresentou tendência a plantas  $\text{C}_3$  a partir do horizonte 90-100 cm com idade de  $2.390 \pm 60$  anos AP. e sinal de  $\delta^{13}\text{C}$  de -21,3‰. Relacionando os dados obtidos por Pessenda *et al.* (1996) com os da Estação Ecológica e os obtidos nas planícies dos rios Ranchinho e Água dos Papagaios, é possível afirmar que a vegetação de Cerrado está presente na região desde o Pleistoceno Superior e que o avanço da Floresta Estacional Semidecidual e Ombrófila Mista se deu a menos tempo, provavelmente no final do Holoceno Médio.

## 8. CONCLUSÕES

Em relação a caracterização das turfeiras realizadas concomitantemente ao foco dado à reconstituição paleoambiental da região de Campo Mourão, constatou-se que: i) o material não tem poder de combustão para o uso como combustível; ii) na escala de decomposição de *Von Post* aplicado às turfeiras, as mesmas podem ser definidas como sáprica (H9) nas porções inferiores dos testemunhos, hêmica (H6 – H7), nas porções médias e fibrosa nas porções superiores.

A planície aluvial dos rios Ranchinho e Água dos Papagaios apresenta pequenos terraços, sendo dois no rio Ranchinho cuja base apresentou datação de  $48.800 \pm 270$  anos AP. e um no rio Água dos Papagaios, com base (160 cm) datada em 16.016 anos cal AP. As datações, aliadas aos resultados dos isótopos (Carbono e Nitrogênio) e fitólitos, possibilitam a interpretação que os mesmos foram formados em decorrência de flutuações climáticas que a região apresentou. A empregabilidade da análise fitolítica foi satisfatória tanto no testemunho da turfa do rio Ranchinho quanto do rio Água dos Papagaios, com boa resposta aos outros *proxies* analisados ( $\delta^{13}\text{C}$ ,  $\delta^{15}\text{N}$ ), permitindo, juntamente com datações absolutas ( $^{14}\text{C}$ ), inferências sobre as condições paleoambientais e paleoclimáticas da região de Campo Mourão nos últimos  $\sim 48.800 \pm 270$  anos AP.

A evolução paleoambiental da região de Campo Mourão pode ser interpretada da seguinte forma: i) de  $48.800 \pm 270$  anos AP. a  $\sim 41.146$  anos cal AP. (fase seca), provável predominância de vegetação campestre (Cerrado), nesse período houve processos de agradaciação da planície do rio Ranchinho, que culminaram formando a base do primeiro terraço; ii) em  $\sim 41.146$  anos cal AP. (fase menos seca que a anterior) com presença de morfotipos (*Globular*) característicos de famílias botânicas representativas de maior umidade (e.g. *Arecaceae*, *Bromeliaceae* entre outros), considera-se nessa fase o adensamento da vegetação, porém ainda sob condição de campo com construção do primeiro terraço do rio Ranchinho; iii) fase seca na transição do Pleistoceno Superior/Holoceno; iv) provável formação da base do segundo terraço no rio Ranchinho e do terraço detectado no rio Água dos Papagaios durante o Holoceno Médio ( $\sim 7.280$  anos cal AP.); v) fase menos úmida por volta de 3.284 anos cal AP. e melhoria climática desde então.

Os dados de  $\delta^{13}\text{C}$  da trincheira da Estação Ecológica do Cerrado de Campo Mourão permitiram evidenciar uma condição de plantas  $\text{C}_4$  anterior a 5.280 anos cal AP., com empobrecimento isotópico apenas no topo, sugerindo que o avanço das formações florestais Floresta Ombrófila Mista e Estacional Semidecidual são recente na área.

O emprego dos índices fitolíticos mostrou resultados satisfatórios, no entanto, não excluem a necessidade de pesquisa visando a calibração ou mesmo a criação de outros índices mais adaptados a nossa condição, ressaltando, por exemplo, a correspondência entre a vegetação existente e à deposição/preservação em solo, diferenciando estas dos depósitos sedimentares. Outro fato marcante é a necessidade de mais bancos de dados sobre fitólitos atuais, pois muitos morfotipos apresentam-se sem possibilidade de identificação.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AB'SABER, A. N. Conhecimento sobre as flutuações climáticas do Quaternário no Brasil. **Boletim da Sociedade Brasileira de Geologia**, nº 6, p. 39-48, 1957.
- AB'SABER, A. N. Espaços ocupados pela expansão dos climas secos da América do Sul, por ocasião dos períodos glaciais quaternários. **Paleoclimas**, vol. 3, p. 1-19, 1977.
- AB'SABER, A.N. Bases para o estudo dos ecossistemas da Amazônia brasileira. **Estudos avançados**, São Paulo, nº 16, p. 07-30, 2002.
- ABREU, S.F. **Recursos Minerais do Brasil**. 2 ed. São Paulo: Ed. Edgar Blücher, 1973.
- ABSY, M. L.; CLEEF, A.; FOURNIER, M.; MARTIN, L.; SERVANT, M.; SIFEDDINE, A.; VAN DER HAMMEN, T. Mise en évidence de quatre phases d'ouverture de la forêt dense dans le sud-est de l'Amazonie au cours des 60 000 dernières années. **Comptes rendus de l'Académie des sciences. Série 2, Mécanique, Physique, Chimie, Sciences de l'univers, Sciences de la Terre**, v. 312, n. 6, p. 673-678, 1991.
- ALCANTARA-SANTOS, J.C. **Paleogeografia e paleoambientes do Baixo Curso do rio Ivaí – Pr**. 2013, 83 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) Universidade Estadual de Maringá, Maringá, 2013.
- ALEXANDRE, A.; MEUNIER, J.-D. LÉRZINE, A.-M.; VINCENS, A.; SCHWARTZ, D. Phytoliths: indicators of grassland dynamics during the late Holocene in intertropical Africa. **Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology**, v.136, n.1-4, p.213-229, 1997.
- ALEXANDRE, A.; MEUNIER, J.-D.; MARIOTTI, A.; SOUBIES, F. Late Holocene Phytolith and Carbon-Isotope Record from a Latosol at Salitre, South-Central Brazil. **Quaternary Research**, v.51, p.187-194, 1999.
- AUGUSTIN, C; COE, H.H.G; CHUENG, K.F. & VASCONCELOS, A.M.C. 2010. Geomorphic interpretations and climatic conditions in the Upper Pleistocene in Southeast Brazil: contribution of phytoliths. In: 8<sup>th</sup> INTERNATIONAL MEETING ON PHYTOLITH REASERCH. 2010. **Abstracts**, Colorado, USA.
- BAEZ, J. 2006. Disponível em: <[http://math.ucr.edu/home/baez/week\\_240.html](http://math.ucr.edu/home/baez/week_240.html)>. Acesso em: 14 abr. 2013.
- BAKER, G.. Opal phytoliths in some Victorian soils and "Red Rain" residues. **Australian J. Botany**, vol.7, pp. 64-87, 1959.
- BARBOSA, A.S.; RIBEIRO, M.B.; SHIMITZ, P.I. Cultura e ambiente em áreas de cerrado do sudoeste de Goiás. In: PINTO, M.N. (ed.) **Cerrado – caracterização ocupação e perspectivas**. Editora da UNB, p. 67-100. 1990.

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.

BEHLING, H. & LICHTER, M., Evidence of dry and cold climatic conditions at glacial times in tropical Southeastern Brazil. **Quaternary Research**, vol. 48 (3), p. 348–358, 1997.

BEHLING, H. South and southeast Brazilian grasslands during Late Quaternary times: a synthesis. **Palaeogeography, Palaeoclimatology, Paleoecology**. Vol. 177 (1), p. 19–27, 2002.

BEHLING, H.; PILLAR, V. D.; ORLÓCI, L.; & BAUERMAN, S. G. Quaternary Araucaria forest, grassland (Campos), fire and climate dynamics, studied by high-resolution pollen, charcoal and multivariate analysis of the Cambará do Sul core in southern Brazil. **Palaeogeography, Palaeoclimatology, Paleoecology**, v. 203, n. 3, p. 277-297, 2004.

BIGARELLA, J. J. & AB'SABER, A. N. Paläogeographische und paläoklimatische Aspekte des Känozoikums in Süd Brasiliens. **Zeitschrift Für Geomorphologie**, nº 8, p.286-312, 1964.

BIGARELLA, J.J. Variações climáticas no Quaternário e suas implicações no revestimento florístico do Paraná. **Boletim Paranaense de Geografia**. n.10-15, p.211-31, 1964.

BIGARELLA, J.J. Variações climáticas no Quaternário Superior do Brasil e sua datação radiométrica pelo Método do Carbono 14. **Paleoclimas**, Inst. geogr. USP, n.1, p.1-22, 1971.

BIGARELLA, J.J.; ANDRADE LIMA, D.; RIEHS, P.J. Considerações a respeito das mudanças paleoambientais na distribuição de algumas espécies vegetais e animais no Brasil. **An.Acad.bras.Cienc.**, Rio de Janeiro, v.47, p.411-64, 1975. (Suplemento).

BOMBIM, M.; KLANT, E. Evidência paleoclimática em solos do Rio Grande do Sul. In: Congresso Brasileiro de Geologia, 28 Porto Alegre, **Anais**, p.183-194, 1974.

BOMBIM, M. Modelo paleoecológico evolutivo para o Nequaternário da Região da Campanha Oeste do Rio Grande do Sul. A formação Touro Passo, seu conteúdo fossilífero e pedogênese pós-deposicional. **Comunicação do Museu de Ciências da Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul**, Porto Alegre, v. 15, 1976.

BORBA-ROSCHER, M.; ALEXANDRE, A.; VARAJÃO, A.F.D.C.; MEUNIER, J.D.; VARAJÃO, C.A.C.; COLIN, F. Phytoliths as indicators of pedogenesis and paleoenvironmental changes in the Brazilian Cerrado. **Journal of Geochemical Exploration**, v. 88, n. 1, p. 172-176, 2006.

BOUTTON, T.W. Stable carbon isotope ratios of natural materials. II. Atmospheric, terrestrial, marine and freshwater environmental. In: COLEMAN, D.C. & FRY, B (Ed.) **Carbon isotope techniques**, New York, Academic Press, pp. 173-185, 1991.

BREMOND, L. **Calibration des fonctions de transfert entre Assemblages phytolithiques, structure des végétations et variables bioclimatiques actuelles, pour l'intégration de la**

**dynamique des biomes herbacés dans les modèles de végétation.** 2003, 199 f. Thèses (Geosciences de l'environnement). Université de Droit, d'Économie et des Sciences d'Aix-Marseille. Marseille, 2003.

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, 2005.

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

BREMOND, L.; ALEXANDRE, A.; WOOLLER, M. J.; HÉLY, C.; WILLIAMSON, D.; SCHÄFER, P. A.; MAJULE, A.; GUIOT, J. Phytolith indices as proxies of grass subfamilies on East African tropical mountains. **Global and Planetary Change**, v. 61, p. 209–224, 2008.

BROWN, D.A. Prospects and limits of a phytolith key for grasses in the central United States. **Journal of Archaeological Science**, Vol. 11, pp. 345-368, 1984.

BUCKMAN, H. O.; BRADY, N. C. Natureza e propriedades dos solos. São Paulo: Bookman, 1968.

BUSH, M.B; OLIVEIRA, P.E. The rise and fall of the refugial hypothesis of amazonian speciation: a paleoecological perspective, **Biota Neotropica**, v. 6, n. 1, 2006.

CALEGARI, M. R. **Ocorrência e significado paleoambiental do horizonte A húmico em latossolos.** 259 f. Tese de doutorado, Universidade de São Paulo Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba, São Paulo, 2008.

CALEGARI, M.R.; RAITZ, E.; PAISANI, J.C. Coleção de referência de fitólitos da Floresta Ombrófila Mista no SW do Paraná: primeira aproximação. In: XIII CONGRESSO DA ABEQUA, 2011, Búzios, **Anais...**, 2011.

CALEGARI, M.R.; MADELLA, M.; VIDAL-TORRADO, P.; OTERO, X.L.; MACIAS, F.; OSTERRIETH, M. Opal phytolith extraction in oxisols. **Quaternary International**, v.287, pp. 56-62, 2013a.

CALEGARI, M.R.; MADELLA, M.; VIDAL-TORRADO, P.; PESSENDA, L.C.R.; MARQUES, F.A. Combining phytolith and  $\delta^{13}\text{C}$  matter in Holocene paleoenvironmental studies of tropical soils: an example of an Oxisol in Brazil. **Quaternary International**, 287, pp. 47-55, 2013b.

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

CAVALCANTE, P.B. Contribuição ao estudo dos corpos silicosos das gramíneas Amazônicas I. Panicoideae (Melinideae, Andropogoneae, e Tripsaceae). **Botânica**, v.80, p.1-11, 1968.

CHUENG, K. F. **Inferência da cobertura vegetal e das condições climáticas no espinhaço meridional, MG, durante o Quaternário através dos indicadores fitólitos e isótopos de carbono**. 115 f. Monografia (Graduação em Geografia) Universidade do Estado do Rio de Janeiro - UERJ, Rio de Janeiro, 2012.

COE, H. H.G. **Fitólitos como indicadores de mudanças na vegetação xeromórfica da região de Búzios/Cabo frio, RJ, durante o quaternário**. 2009. 340 f. Tese (Doutorado em Geologia e Geofísica Marinha) Universidade Federal Fluminense – UFF, Niterói – RJ, 2009.

COE, H.H.G. Use of a new phytolith index for identifying changes in palm tree cover density in the region of Búzios, Rio de Janeiro, Brazil. In: 8TH INTERNATIONAL MEETING ON PHYTOLITH RESEARCH **Anais...**, 2010.

COE, H.H.G.; LEPSCH, I.F. Silicofitólitos como indicadores de descontinuidades litológicas em três pedons da região de Búzios/Cabo Frio, RJ. In: XXXII CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO **Anais...**, 2009.

COE, H.H.G.; OSTERRIETH, M.; BORRELLI, N. L. ; SILVA, A. S. ; GOMES, J. G. Contributions of Phytolith Studies on the Identification of Soil Genesis and Environmental Changes in the Sao Joao River Basin, Rio de Janeiro, Brazil. In: 8TH INTERNATIONAL MEETING ON PHYTOLITH RESEARCH **Anais...**, 2010.

COE, H.H.G.; CHUENG, K.F.; OSTERRIETH, M.; SANTOS, A.S.; GOMES, J.G.; FONSECA, C.M. Gênese de solos e mudanças ambientais na bacia do rio São João, RJ, identificadas através do *proxy* fitólitos. In: XIII CONGRESSO DA ABEQUA, **Anais...**, 2011.

COE, H.H.G.; CHUENG, K.F.; GOMES, J.G. Mudanças possivelmente antrópicas na cobertura vegetal na região de Búzios, Rio de Janeiro, identificadas através de análises de fitólitos. **Revista Tamoios**, Ano VII, n. 2, pp.60-76, 2012a.

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, pp. 248-261, 2012b.

COE, H.H.G.; ALEXANDRE, A.; CARVALHO, C.N.; SANTOS, G.M.; SILVA, A.S.; SOUSA, 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**, 287, pp.63-72, 2013a.

COE, H.H.G.; SOUSA, L.O.F.; SILVA, A.L.C.; SANTOS, C.P.; RAMOS, Y.B.M.; PIRES, G.S.S.; SEIXAS, A.P.; SILVESTRE, C.P.; RAMIRES, J.V. Caracterização das comunidades

vegetais da restinga da APA de Maricá, RJ, através de estudos de fitólitos: resultados preliminares. In: **Anais... II SEMINÁRIO DE ESTUDOS COSTEIROS**, 2013b.

COE, H.H.G.; GOMES, J.G.; PINTO, T.R.M.; PIRES, G.S.S.; CHUENG, K.F.; RAMIRES, J.V.; RAMOS, Y.B.M. Inferências de mudanças ambientais através de análises fitolíticas e isotópicas na bacia do rio São João, RJ, Brasil. In: XIV ENCONTRO DE GEOGRÁFOS DA AMÉRICA LATINA, Lima, Peru. **Anais...**, 2013c.

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

COSTA, L.M.; MOREAU, A.M.; MOREAU, M.S. Estabilidade da sílica biogênica extraída de capim Jaraguá (*Hyparrhenia rufa*) em solução de NaOH. **Química Nova**, v. 33, n. 8, 1658-1663, 2010b.

CHRISTOFOLETTI, A. **Geomorfologia fluvial** - o canal fluvial. São Paulo: Edgard Blücher, 1981. 313p.

DELVIGNE, J. Bilans géochimiques de l'altération des roches basiques en cote-d'ivoire ferrallitique. **Revue de Géographie Physique et de Géologie Dynamique**. Vol. IX, (4), pp. 311-320, 1967.

DIAZ, J.I. Teoría astronômica de Milankovitch y modelos climáticos de gran escala temporal. **Revista Académica de Ciências Exactas, Físicas y Naturales**. Vol. 91, Nº. 1, pp 29-33, 1999.

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.

FAEGRI, K; IVERSEN, J. **Textbook of pollen analysis**. 4. Ed, New York: John Wiley e Sons, 1989, 295p.

FERNANDES, R. S. **Reconstrução paleoambiental da lagoa Fazenda durante o Pleistoceno Superior e região de Jussara, Estado do Paraná, com ênfase em estudos palinológicos**. 2008. 125 f. Dissertação (Mestrado em Análise Geoambiental) – CEPPE, Universidade de Guarulhos, Guarulhos-SP, 2008.

FIGUEIREDO, R.C.L; HANDRO, W. Corpos silicosos de gramíneas dos Cerrados V. In: III Simpósio sobre o Cerrado. **Anais...** pp. 215-231, 1971.

FONSECA, C.M.; GOMES, J.G.; COE, H.H.G. Identificação de mudanças ambientais na Bacia do Rio São João, RJ, a partir da análise de fitólitos extraídos de perfis de solo. In: **Anais... XIV Simpósio Brasileiro de Geografia Física Aplicada**, 2011.

- FORTES, E. **Geomorfologia do baixo curso do rio Ivinhema, MS: uma abordagem morfogenética e morfoestrutural**. Tese (Doutorado em Geociências e Meio Ambiente). 298 f. UNESP: Rio Claro, 2003.
- GOMES, J. G. **Contribuição para a compreensão da gênese e evolução de solos na bacia do rio São João, RJ, através de análises fitolíticas**. 2012. 137 f. Monografia (Graduação em Geografia) Universidade do Estado do Rio de Janeiro - UERJ, Rio de Janeiro, 2012.
- GORDON, E.S.; GOÑI, M.A. Sources and distribution of terrigenous organic matter delivered by the Atchafalaya River to sediments in the northern Gulf of Mexico. **Geochimica et Cosmochimica Acta**, v. 67, n. 13, pp. 2359-2375, 2003.
- GOSLAR, T; ARNOLD, M; PAZDUR, M. The Younger Dryas cold event-was it synchronous over the North Atlantic region? **Radiocarbon**, Vol. 37, No. 1, 1995, P. 63-70
- GOUVEIA, S.E.M.; PESSENDA, L.C.R.; ARAVENA, R.; BOULET, R.; SCHEEL-YBERT, R.; BENDASSOLLI, J.A.; RIBEIRO, A.S.; FREITAS, H.A. Carbon isotopes in charcoal and soils in studies of paleovegetation and climate changes during the late Pleistocene and the Holocene in the southeast and centerwest regions of Brazil. **Global and Planetary Change**, v. 33, pp. 95-106, 2002.
- GUERREIRO, R. L. **Evolução geomorfológica e paleoambiental dos terraços da margem esquerda do alto rio Paraná**. 2011, 67 f. Dissertação (Mestrado em Geociências e Meio Ambiente) Instituto de Ciências Exatas e Geociências, Universidade Estadual Paulista, 2011.
- GUERREIRO, R. L. **Paleoambientes holocênicos da planície do Alto Tibagi, Campos Gerais, sudeste do estado do Paraná**. 2011, 88 f. Dissertação (Mestrado) Programa de Pós-graduação em Geografia, Universidade Estadual de Maringá, 2011a.
- GUERREIRO, R. L.; GASPARETTO, N. V. L.; PAROLIN, M.; STEVAUX, J. C. Distribuição e análise de sedimentos turfosos holocênicos na planície do alto Tibagi, Campos Gerais, Paraná. **Revista de Ciências Ambientais**, v.6, n.1, p.105-116, 2012.
- HAMMEN, T.V.D.; ABSY, M. L. Amazonia during the last glacial. **Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology**, v. 109, n. 2, p. 247-261, 1994.
- HAFFER, J.; PRANCE, G. T. Impulsos climáticos da evolução da Amazônia durante o Cenozóico: sobre a teoria dos refúgios da diferenciação biótica. **Estudos Avançados**, 16 (46), 2002.
- HAFFER, J. Speciation in Amazonian forest birds. **Science**, 165, pp.131-137. 1969.
- HÓRAK, I. **Relações pedológicas, isotópicas e palinológicas na reconstrução paleoambiental da Área de Proteção Especial (APE) Pau-de-fruta, Serra do Espinhaço Meridional – MG**. Dissertação (Mestrado) Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” - ESALQ, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2009, 282 p.

INSTITUTO AGRONÔMICO DO PARANÁ (IAPAR). **Classificação Climática do Estado do Paraná**. Disponível em <

<http://www.iapar.br/modules/conteudo/conteudo.php?conteudo=863>> Acesso em 23 de maio de 2013.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Brasil**. Disponível em <[www.ibge.gov.br](http://www.ibge.gov.br)> acesso abr. de 2013.

INSTITUTO DE TERRAS, CARTOGRAFIA E GEOCIÊNCIAS. Dados e informações geoespaciais temáticos. Disponível em:

<<http://www.itcg.pr.gov.br/modules/faq/category.php?categoryid=9#>> , acesso em 25 de abr. 2013.

IRIONDO, M.; GARCIA, N.O. Climatic variations in the Argentine plains during the last 18,000 years. **Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology**, v.101, p.209-220, 1993.

JABUR, I.C. **Análise paleoambiental do quaternário superior da bacia do Alto Paraná**. 1992. 184 f. Tese (Doutorado em Geociências) Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 1992.

KONDO, R.; CHILDS, C.; ATKINSON, I. **Opal Phytoliths of New Zealand**: Manaaki Whenua Press, 1994. 85 p

KRAMER, V. M.: Mudanças ambientais climáticas durante o Quaternário na região do alto curso do rio Paraná. **Akrópolis – Revista de Ciências Humanas da UNIPAR**. v. 10, nº 1 e 2, jan./jun. 2002.

LAMING-EMPERAIRE, A. Missions archéologiques françaises au Chili austral et au Brésil méridional. **Journal de la Société des Américanistes** v. 57, n.1, pp.77-99, 1968.

LAPPALAINEN, E. Environmentally-friendly alternatives to peat. In: **Coal, oil shale, natural bitumen, heavy oil and peat – Vol. II**. EOLSS, 2001.

LEDRU, M. P. Late Quaternary environmental and climatic changes in Central Brazil. **Quaternary Re- search**, 39, pp.90-98, 1993

LEINZ, V.; AMARAL, S. E. **Geologia Geral**. São Paulo: Companhia Editora Nacional, 1977, 360p.

LENZ, G. R. Turfa - métodos de lavra e opções para o uso no nordeste brasileiro. **Revista Brasileira de Geociências**, v. 14, n.2, pp.111-119. 1984.

LEPSCH, I.F.; ANDRADE PAULA, L.M. Fitólitos em solos sob cerradões do Triângulo Mineiro: relações com atributos e silício adsorvido. **Caminhos de Geografia**, v. 6, p. 185, 2006.

LEPSCH, I.F.; PINILLA-NAVARRO, A.; OLIVEIRA, L. A. Soil phytoliths as related to some Brazilian dicotyledoneous cerrado species with asperous leaves. In: XIX CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, **Anais....** CD-ROM, 2003.

LEPSCH, I.F.; TOMBA, A.C. Silico-fitólitos de bambus (*Poacea*) e solos da parcela permanente do Parque Estadual Carlos Botelho. SP. In: III SIMPÓSIO INTERNO DO PROJETO PARCELAS PERMANENTES, **Anais...** - CD-ROM, 2004.

LESSA, G.; ANGULO, R.S. A proposed model for the stratigraphy and evolution of the Paranaguá coastal plain - Paraná, Brazil. In: CONGRESSO DA ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ESTUDOS DO QUATERNÁRIO, 5, 1995, Niterói. **Anais...** Niterói: ABEQUA, pp. 92-8, 1995.

LIMA, L. G.; MEDEANIC, S. A variação morfológica dos fitólitos de opala em duas espécies de gramíneas na Planície Costeira do Rio Grande do Sul e sua importância nas paleoreconstruções. In: XI CONGRESSO DE ABEQUA, Belém, PA. **Anais...**, CD-ROM. 2007.

LORSCHUITTER, M.L.; TAKEDA, I.J.M. Reconstituição Paleoambiental da Região dos Campos Gerais, Paraná, através da Palinologia de Sedimentos da Lagoa Dourada. In: CONGRESSO DA ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ESTUDOS DO QUATER-NÁRIO, 5, 1995, Niterói. **Anais...** Niterói: ABEQUA, 1995. p.18-21.

LUCAS, Y.; SOUBIÈS, F.; CHAUVEL, A. e DESJARDINS, T. Estudos do Solo Revelam Alterações Climáticas da Amazônia. **Revista Ciência Hoje**, vol.16, n.º93, p. 36-39, 1993.

MAACK, R. Notas preliminares sobre clima, solos e vegetação do Estado do Paraná – **Arquivos de Biologia e Tecnologia**, Vol. III, art. IX, p. 351-362, 1948.

MAACK, R. **Geografia física do Estado do Paraná**. 3. ed. Curitiba: Imprensa Oficial, 2002. 440 p.

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.; JONES, M.K.; ECHLINC, P.; POWERS-JONES, A.; MOORED, M. Plant water Availability and analytical microscopy of phytoliths: Implications for ancient irrigation in arid zones. **Quaternary International**. Vol. 193, pp.32-40, 2009.

MEDEANIC, S.; CORRÊA, I. C. S.; WESCHENFELDER, J. Palinomorfos nos sedimentos de fundo da Laguna dos Patos, RS: Aplicação nas reconstruções paleoambientais. **Gravel**, v. 5, n. 1, p. 89-102, 2007.

MEDEANIC, S.; CORDAZZO, C.V.; CORREIA, 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.º2, p.1-14, 2008.

MEDEANIC, S.; CORDAZZO, C.V.; CORREIA, I.C.S.; MIRLEAN, N. Notas sobre Fitólitos em *Androtrichum trigynum* (Spr.) Pfeiffer no Extremo Sul do Brasil: Tipos morfológicos e uso nas paleoreconstruções costeiras. **Gravel**, v.7, nº1, p.31-36, 2009.

MEDEANIC, S.; CORDAZZO, C.V. Study of phytoliths in extant plants in Brazil: Implications for paleoecological reconstructions. 2009. Disponível em: <[http://archive.nbu.gov.ua/portal/chem\\_biol/nvlnau/Biol/2009\\_1/Medyanik01\\_09.pdf](http://archive.nbu.gov.ua/portal/chem_biol/nvlnau/Biol/2009_1/Medyanik01_09.pdf)> acesso: 20 fev. 2013.

MELO, M.S.; GIANNINI, P.C.F.; PESSENDA, L.C.R.; BRANDT NETO, M. Holocene paleoclimatic reconstruction based on the Lagoa Dourada deposits, southern Brazil. **Geologic Acta**, v.1, n.3, pp. 289-302, 2003.

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

MEYERS, P.A.; ISHIWATARI, R. Lacustrine organic geochemistry – an overview of indicators of organic matter sources and diagenesis in lake sediments. **Org. Geochemistry**. 20, pp. 867-900, 1993.

MEYERS, P.A. Preservation of elemental and isotopic source identification of sedimentary organic matter during and after deposition. **Org. Geochemistry**, 144, p. 213-250, 1994.

MINEROPAR, Minérios do Parana S/A. **Avaliação do potencial mineral e consultoria técnica no município de Barbosa Ferraz**. Curitiba: MINEROPAR, 2001, 54 p.

MINEROPAR, Minérios do Parana S/A. **Atlas geomorfológico do Estado do Paraná**. MINEROPAR (Minérios do Paraná), Curitiba, 2006, 63p.

MONTEIRO, M. R.; PAROLIN, M; GUERREIRO. Primeiras considerações paleoambientais com análise de fitólitos em sedimentos turfosos nos Campos Gerais do Estado do Paraná. In: XIII CONGRESSO DA ABEQUA, Búzios, RJ, **Anais...** 2011.

MONTEIRO, M. R.; PEREIRA, J. S. R.; RASBOLD, G. G.; PAROLIN, M.; CAXAMBÚ, M. G. Morfologia de fitólitos característicos de duas espécies de Arecaceae do Bioma Mata Atlântica: *Bactris setosa* Mart. e *Geonoma schottiana* Mart. **Rev. Biol. Neotrop.**, v. 9, n. 1, p. 10-18, 2012.

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, 2012.

MOREAU, R.E. Pleistocene climatic changes and the distribution of life in East Africa. **Journal of Ecology**, Vol. 21, N°2, Aug. pp.415-435, 1933.

- MORO, R. S. **Interpretações paleoecológicas do Quaternário a partir da análise da comunidade de diatomáceas (*Bacillariophyta*) nos sedimentos da Lagoa Dourada, Ponta Grossa, Pr.** 1998, 125 f. Tese (Doutorado em Biologia Vegetal) Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Rio Claro, 1998.
- MORO, R.S.; BICUDO, C.E.M.; MELO, M.S. & SCHIMITT, J. Paleoclimate of the late Pleistocene and Holocene at Lagoa Dourada, Paraná State, southern Brazil. **Quaternary International**, Vol.114, p. 87-99, 2004.
- 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.
- NOGUEIRA JR, J. **Possibilidades de colmetação química de filtros e drenos da barragem de Porto Primavera (SP) por compostos de ferro.** 1988, 239 f. Dissertação (Mestrado em Geologia) Universidade de São Paulo, Instituto de Geociências, São Paulo, 1988.
- OSTERRIETH, M.; MADELLA, M.; ZURRO, D.; ALVAREZ, M.F. Taphonomical aspects of silica phytoliths in the loess sediments of the Argentinean Pampas. **Quaternary International**, v.193, pp.70–79, 2009.
- PAISANI, J. C.; CALEGARI, M. R.; PESSENDA, L.C.R.; PAISANI, S.D.L.; RAITZ, E. Dinâmica ambiental e da vegetação do Planalto das Araucárias - Superfície II - no Quaternário Tardio: contribuições das análises de fitólitos, de isótopos de carbono e da mineralogia de argila. In: IX SIMPÓSIO NACIONAL DE GEOMORFOLOGIA, **Anais...**, 2012.
- 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 (UFRGS)**, Porto Alegre, v. 28, p. 233-243, 2001.
- PAROLIN, M. **Cenários do Brasil e do alto rio Paraná após o Último Máximo Glacial.** 2003, 34 f. Exame Geral de qualificação (Mestrado em Ecologia de Ambientes Aquáticos Continentais) Universidade Estadual de Maringá: Maringá, 2003.
- 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 Ecologia) Programa de pós-graduação em Ecologia de Ambientes Aquáticos Continentais, Universidade Estadual de Maringá, 2006.
- 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, pp. 137-148, 2006.
- PAROLIN, M.; STEVAUX, J.C. Dry climate and eolian dune formation in the Middle Holocene in Mato Grosso do Sul State, Central West Brazil. **Zeitschrift für Geomorphologie**. Supplementband, v. 145, p. 177-190, 2006.

PAROLIN, M.; RASBOLD, G.G.; PESSEDA, L.C.R. Primeiras considerações palinológicas e paleoclimáticas do Pleistoceno Tardio na região de Campo Mourão, Paraná, Brasil In: XIII CONGRESSO DA ABEQUA, Búzios, RJ, **Anais...** 2011.

PAROLIN, M.; DOMICILIANO, R. T.; GUERREIRO, R. L.; CAXAMBU, M. G. Primeiras considerações palinológicas e paleoclimáticas do Pleistoceno tardio na região de Campo Mourão, Paraná, Brasil. In: XIII CONGRESSO DA ABEQUA, Búzios, RJ **Anais...** 2011.

PAROLIN, M.; CAXAMBU, M.G.; CARDOSO, O. A espera do fogo: a lenta agonia do Cerrado de Campo Mourão – PR. 2013 In: I SIMPÓSIO NACIONAL DE MÉTODOS E TÉCNICAS DA GEOGRAFIA e XXII SEMANA DE GEOGRAFIA DA UEM, **Anais...** pp.1059-1072, 2013.

PAULA, L.M.A.; SILVA, P.C. A formação do mineral opala biogênica nos solos dos cerradões de Uberlândia. 2006. In: VII SIMPÓSIO NACIONAL DE GEOMORFOLOGIA, **Anais....** 2006.

PEREIRA, G.L. Identificação de fitólitos a partir de fragmentos de carvão. **Cadernos do LEPAARQ** – Textos de Antropologia, Arqueologia e Patrimônio. v. VII, nº13/14. Pelotas, RS: 89 Editora da UFPEL, 2010.

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

PESSEDA, L.C.R.; CAMARGO, P.B.; CRUZ, M.V.L.; LISI, C.S.; VALENCIA, E.P.E. O laboratório de radiocarbono do CENA/USP no programa internacional de intercomparação laboratorial dos resultados. **Química Nova**, v.16, n.3 p.221-223, 1993.

PESSEDA, L.C.R.; ARAVENA, R.; MELFI, A.J.; TELLES, E.C.C.; BOULET, R.; VALENCIA E.P.E.; TOMAZELLO, M. The use of carbon isotopes ( $^{13}\text{C}$ ,  $^{14}\text{C}$ ) in soil to evaluate vegetation changes during Holocene in Central Brazil. **Radiocarbon**, v.38, n.2, pp.191-201, 1996.

PESSEDA, L.C.R.; GOUVEIA, S.E.M.; ARAVENA, R.; BOULET, R.; VALENCIA, E.P.E. Holocene fire and vegetation changes in southeastern Brazil as deduced from fossil charcoal and soil carbon isotopes. **Quaternary International**, 114, pp. 35-43, 2004.

PESSEDA, L.C.R.; LEDRU, M.P; GOUVEIA, S.E.M; ARAVENA, R.; RIBEIRO, A.S.; BENDASSOLLI, J.A.; BOULET, R. Holocene paleoenvironmental reconstruction in northeastern Brazil inferred from pollen, charcoal and carbon isotopic records. **The Holocene**, v.15, n.6, p. 814-822, 2005.

PESSEDA, L.C.R.; SAIA, S.E.M.G.; GOUVEIA, S.E.M; LEDRU, M.P.; SIFEDDINE, A.; AMARAL, P.G.C.; BENDASSOLLI, J.A. Last millennium environmental changes and

climate inferences in the Southeastern Atlantic forest, Brazil. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**. V.82, n.3, pp.717-729, 2010.

PIPERNO, D.R. The status of phytolith analysis in the American tropics. **Journal of World Prehistory**, v. 5, n. 2, 1991.

PIPERNO, D. R. **Phytoliths**: a comprehensive guide for archaeologists and paleoecologists. Oxford: AltaMira Press, 2006. p.238.

PIPERNO, D. R.; BECKER, P. Vegetational history of a site in the central Amazon basin derived from phytolith and charcoal records from natural soils. **Quaternary Research**, v. 45, n. 2, p. 202-209, 1996.

PIPERNO, D. R.; SUES, H.D. Dinosaurs Dined on Grass. **Science**, vol. 310, pp. 1126-1128, 2008.

RAITZ, E. **Coleção de referência de Silicofitólitos da flora do Sudoeste do Paraná: Subsídios para estudos paleoambientais**. 2012, 204 f. Dissertação (Mestrado) Pós-Graduação em Geografia, Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Francisco Beltrão, 2012.

RAITZ, E.; CALEGARI, M.R.; PAISANI, J.C. Fitólitos da Floresta Ombrófila Mista e do Campo da região SW do Estado do Paraná: Produção e Classificação. In: VI SIMPÓSIO PARANAENSE DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA EM GEOGRAFIA. **Anais...**, 2012.

RAPP, G., J.; MULHOLAND, S.C. (Ed.). **Phytolith Systematics**. New York: Plenum Press, 1992.

RASBOLD, G. G. MONTEIRO, M. R; PAROLIN, M ; CAXAMBÚ, M. G.; PESSENDA, L. C. R.. Caracterização dos tipos morfológicos de fitólitos presentes em *Butia paraguayensis* (Barb. Rodr.) L. H. Bailey (Arecaceae). **Iheringia**. Série Botânica, Porto Alegre, 66(2), p.265-270, 2011.

RASBOLD, G. G.; PAROLIN, M ; CAXAMBÚ, 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, Porto Alegre, 67 (2), p. 137-148. 2012.

RASBOLD, G. G.; PAROLIN, M.; CAXAMBÚ, M. G. Avaliação das formas de fitólitos presentes em *Cyperus giganteus* Vahl (Cyperaceae). In: V ENCONTRO DE PRODUÇÃO CIENTÍFICA E TECNOLÓGICA – EPCT. **Anais**. Campo Mourão: Fecilcam, 2010.

REIMER, P.J.; BAILLIE, M.G.L.; BARD, E.; BAYLISS, A.; BECK, J.W.; BLACKWELL, P.G.; BRONK RAMSEY, C.; BUCK, C.E.; BURR, G.S.; EDWARDS, R.L.; FRIEDRICH, M.; GROOTES, P.M.; GUILDERSON, T.P.; HAJDAS, I.; HEATON, T.J.; HOGG, A.G.; HUGHEN, K.A.; KAISER, K.F.; KROMER, B.; MCCORMAC, F.G.; MANNING, S.W.;

REIMER, R.W.; RICHARDS, D.A.; SOUTHON, J.R.; TALAMO, S.; TURNEY, C.S.M.; VAN DER PLICHT, J.; WEYHENMEYER, C.E. Intcal 09 and marine 09 radiocarbon age calibration curves, 0–50,000 years cal BP. **Radiocarbon**, 51, pp.1111-1150. 2009.

REZENDE, A. B. **Espículas de esponjas em sedimentos de lagoa como indicador paleoambiental no NW do Estado do Paraná**. 2010, 65 f. Dissertação (Mestrado em Análise Ambiental) – CEPPE, Universidade de Guarulhos, Guarulhos-SP, 2010.

RODERJAN, C.V.; GALVÃO, F.; KUNIYOSHI, Y.S. & HATSCHBACH, G.G. As unidades fitogeográficas do Estado do Paraná. **Ciência e Ambiente**, v. 24, n. 1, p. 75-42, 2002.

ROVNER, I. Potential of opal phytoliths for use in paleoecological reconstruction. **Quaternary Research**, Vol. 1. N° 3, pp. 343-359, 1971.

SAIA, S.E.M.G.; PESSENDA, L.C.R.; GOUVEIA, S.E.M.; ARAVENA, R. & BENDASSOLLI, J.A. Last glacial maximum (LGM) vegetation changes in Atlantic Florest, southeastern Brazil. **Quaternary International**, v. 184, n. 1, p. 195-201, 2008.

SALGADO-LABOURIAU, M.L. **História Ecológica da Terra**. São Paulo, Editora Edgard Blücher Ltda, 1996.

SANT`ANNA NETO, J.L; NERY, J. T. Variabilidade e mudanças climáticas no Brasil e seus impactos regionais. In. SOUZA, C. R. G.; SUGUIO, K.; OLIVEIRA, A. M. S.; DE OLIVEIRA, P. E. (ORGS) **Quaternário do Brasil**. ABEQUA, Holos Editora: Ribeirão Preto, 2005.

SANTOS, J. C. A. dos ; 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, 2011.

SENDULSKY, T. S.; LABOURIAU, L. G. Corpos silicosos de gramíneas dos Cerrados. I. In: Simpósio Sobre o Cerrado. 2. **Academia Brasileira de Ciências**, Rio de Janeiro, p. 159-170, 1966.

SERVANT, M.; FOURNIER, M.; SOUBIÈS, F.; SUGUIO, K.; TURCQ, B. Sécheresse holocène au Brésil (18-20° latitude sud). Implications paléométrologiques **C. R. Acad. Sci. Paris**, t. 309, série II, p.153-156, 1989.

SILVA, C. M. **Palinologia das turfeiras de São José dos Campos – São Paulo**. 1995, 155 f. Tese (Doutorado) Instituto de Geociências – Programa de Pós-graduação em Geologia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 1995.

SILVA, S. T.; LABOURIAU, L. G.. Corpos silicosos de gramíneas dos Cerrados III. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.5, p.167-182, 1970.

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

SÖNDAHL, M.R.; LABOURIAU, L.G. Corpos silicosos de gramíneas dos Cerrados IV. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.5, p.183-207, 1970.

STANEK, W.; SILC, T. Comparisons of four methods for determination of degree of peat humification (decomposition) with emphasis on the von Post Method. **Canadian Journal of Soil Science**, v. 57, p. 109-117, 1977.

STEVAUX, J.C. **O rio Paraná: geomorfogênese, sedimentologia e evolução quaternária de seu curso superior**. Tese (Doutorado) Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo. São Paulo, 1993, 142 p.

STEVAUX, J. C. Upper Paraná River (Brazil) Geomorphology and Paleoclimatology. **Quaternary International**, 21. p. 143-161, 1994a.

STEVAUX, J.C. Geomorfologia, Sedimentologia e Paleoclimatologia do Alto Curso do Rio Paraná (Porto Rico-PR). Boletim Paranaense de Geociências. Curitiba: **Editora da UFPR**, nº42, , p.97-112, 1994b.

STEVAUX, J. C; SOUZA FILHO, E.E.; JABUR, I. C. A História quaternária do rio Paraná em seu alto curso. In: VANZZOLER, *et al.* (Ed). **A Planície de Inundação do Alto Rio Paraná - Aspectos físicos, biológicos e socioeconômicos**. EDUEM, Maringá, 1997.

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**, nº72, pp.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.

STUIVER, M; REIMER, P.J.; REIMER, R. W. **CALIB 5.0**. 2005.

SUGUIO, K. **Introdução à sedimentologia**. São Paulo: Editora E. Blücher, 1973. 165 p.

SUGUIO, K.; NOGUEIRA JR, J.; TANIGUICHI, H.; VASCONCELLOS, M.L. Quaternário do rio Paraná em Pontal do Paranapanema: proposta de um modelo de sedimentação. **Anais... XXXVIII Congresso Brasileiro de Geologia**, vol.1, Rio de Janeiro, pp. 10-18, 1984.

SUGUIO, K. **Geologia do Quaternário e mudanças ambientais: passado + presente = futuro?** São Paulo: Paulo's Editora, 1999.

SUGUIO, K. & SUZUKI, U. **A evolução geológica da Terra e a fragilidade da vida**. São Paulo: Editora Edgar Blücher, 2003, 164 p.

SUGUIO, K. Introdução. In: SOUZA, C. R.; SUGUIO, K.; OLIVEIRA, A. M.; OLIVEIRA, P. E. (Orgs.). **Quaternário do Brasil**. Ribeirão Preto, SP: HOLOS, 2005.

THOMAS, M.F.; THORP, M. B. The response of geomorphic systems to climatic and hidrological change during the late glacial and early Holocene in the humid and sub-humid Tropics. **Geological Society Special Publication**, n.115, p.139-153, 1996.

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, pp. 179-188, 1987.

TWISS, P. C. Predicted world distribution of C<sub>3</sub> and C<sub>4</sub> grass phytoliths. In: RAPP, G. Jr.; MULHOLLAND, S. C. (Ed.). **Phytolith systematics: Emerging issues**. Advances in Archaeological and Museum Science. n.1, p.113-128, 1992.

TWISS, P.C.; SUESS, E.; SMITH, R.M. Morphological Classification of Grass Phytoliths. **Soil Science Society of America Proceedings**, Vol. 33, nº 1, Jan.-Feb., pp. 109-115, 1969.

VALENCIA, E.P.E. **Datação por 14C e razão 13C/12C de solos sob climas tropical e subtropical do Brasil**. 1993, 91 f. Dissertação (Mestrado) Centro de Energia Nuclear na Agricultura – Universidade de São Paulo, 1993.

VAN DER HAMMEN, T. Palaeoecological background: neotropics. **Climatic change**, v. 19, n. 1-2, p. 37-47, 1991.

VANZOLINI, P. E. Paleoclimas e especiação em animais da América do sul. In: Amazônia: tempos e espaços. **Estudos Avançados**, nº 15, pp. 41-65, 1992.

VIADANA, A.G. A teoria dos refúgios florestais aplicada ao estado de São Paulo. **Edição do Autor**, Rio Claro, 2002.

VIADANA, A.G.; CAVALCANTI, A.P.B. A teoria dos refúgios florestais aplicada ao estado de São Paulo. **Revista da casa da Geografia de Sobral**, vol. 8/9, n.1, pp. 61-80, 2006.

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 Stratigraph (International Commission of Stratigraph). **Journal of Quaternary Science**, 27, p. 649-659, 2012.

WALKLEY, A.; BLACK, I. A. An examination of the Degtjareff method for determining soil organic matter and a proposed modification of the chromic acid titration method. **Soil Science**, 37, p. 29-38, 1934.

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.

WENTWORTH, C. K. A scale of grade and class terms for Clastic Sediments. **The Journal of Geology**, v. 30, n. 5, pp. 377-392, 1922.

WHITMAN, W. Geleiras: o trabalho do gelo. In: PRESS, F. *et al.* **Para entender a Terra**. Tradução Rualdo Menegat *et al.* 4. Ed. Porto Alegre: Bookman, 2006.

ZIZANG, L; XINTU, L. The global distribution of peat. In: **Coal, oil shale, natural bitumen, heavy oil and peat** – Vol. II. EOLSS, 2001.

**ANEXOS**

## ANEXO I

DOMINGOS-LUZ, L.; KALINOVSKI, E.C.Z.; PAROLIN, M.; SOUZA-FILHO, E.E. O estágio atual do conhecimento sobre fitólitos no Brasil. (no prelo)

Artigo enviado para a Revista Terræ Didática do Instituto de Geociências da UNICAMP.

## **Estágio Atual do Conhecimento sobre Fitólitos No Brasil**

Leandro Domingos Luz

Programa de Pós-graduação em Geografia. Universidade Estadual de Maringá – UEM, Av.  
Colombo, 5790, 87020-900, Maringá, Paraná Brasil. *leandroluz07@gmail.com*

Elaine Cristina Zavadovski Kalinovski

Programa de Pós-graduação em Geografia. Universidade Estadual de Maringá – UEM, Av.  
Colombo, 5790, 87020-900, Maringá, Paraná Brasil.

Mauro Parolin

Laboratório de Estudos Paleoambientais da Fecilcam, Rua Chafic Bader Maluf, 21, 87300-  
170, Campo Mourão, PR, Brasil.

Edvard Elias de Souza Filho

Universidade Estadual de Maringá – UEM, Av. Colombo, 5790, 87020-900, Maringá, Paraná  
Brasil.

RESUMO - Efetuou-se um estudo analítico sobre as pesquisas com fitólitos (corpos micrométricos de opala biogênica precipitados nos tecidos vegetais) produzidas no Brasil até junho de 2013. Foi utilizado o buscador de periódicos da CAPES, bem como informações para monografias e artigos adquiridas com pesquisadores em âmbito nacional e internacional. Os resumos simples publicados em eventos não fizeram parte do levantamento. Os resultados indicaram que as pesquisas de aplicação (como dado *proxy*) têm sido maiores (63,5%) que as

E-mail de submissão.



Leandro Luz <leandroluz07@gmail.com>

## Submissão de Artigo

1 mensagem

**Leandro Luz** <leandroluz07@gmail.com>  
Para: terraedidatica@ige.unicamp.br

30 de agosto de 2013 19:46

Prezado Editor,

Segue em anexo o artigo de revisão intitulado "Estágio Atual do Conhecimento sobre Fitólitos no Brasil", inédito e exclusivo.

A submissão foi sugerida pelo Prof. Dr. João Carlos Coimbra da Revista Brasileira de Paleontologia.

Desde já agradeço a atenção,

Cordialmente

-

Leandro Domingos Luz  
Mestrando em Análise Ambiental - UEM  
(44) 9973-4093

### 3 anexos



**Figura 02.jpg**  
1838K

**LUZ ET AL. 2013 (TERRAE DIDATICA).doc**  
116K

**FIGURA 01.doc**  
64K

## ANEXO II

DOMINGOS-LUZ, L.; KALINOVSKI, E.C.Z.; PAROLIN, M. Estágio atual das pesquisas sobre fitólitos no Estado do Paraná, Brasil. In: I Simpósio Nacional de Métodos e Técnicas da Geografia – XXII Semana de Geografia da UEM. 2013, Maringá. **Anais...** Maringá: DGE, vol.1, 2013.



## ESTÁGIO ATUAL DAS PESQUISAS SOBRE FITÓLITOS NO ESTADO DO PARANÁ, BRASIL

Leandro Domingos Luz

Programa de Pós-graduação em Geografia – Universidade Estadual de Maringá  
leandro luz07@gmail.com.br

Elaine Cristina Zavadovski Kalinovski

Programa de Pós-graduação em Geografia – Universidade Estadual de Maringá  
elaine\_kalinovski@hotmail.com

Mauro Parolin

Universidade Estadual do Paraná – Campo Mourão/ Programa de Pós-graduação em Geografia  
mauroparolin@gmail.com

### RESUMO

O trabalho apresenta uma revisão da literatura científica disponível a respeito do uso de fitólitos no Estado do Paraná. Fitólitos são corpos micrométricos de opala biogênica, precipitados ao longo da vida nos tecidos vegetais, consistindo uma importante estrutura para o conhecimento das mudanças no tipo de formação vegetal e na densidade da cobertura arbórea. Na presente pesquisa enfatizou-se tanto os estudos de classificação e morfologia de corpos silicosos em plantas atuais, quanto a sua utilização como indicador *proxy* para inferir paleoambientes e paleoclimas. Para tanto, foram utilizadas ferramentas como o buscador de periódicos da CAPES, Google Scholar®, acesso ao currículo Lattes dos principais pesquisadores sobre o tema e solicitação por e-mail aos mesmos para o envio dos trabalhos. Os resultados apontaram que as produções ainda são incipientes e muito recentes no Estado do Paraná, totalizando até o presente momento 13 publicações, das quais 6 são de identificação de fitólitos em plantas modernas e 7 de aplicação como ferramenta de interpretação paleoambiental, dispostas na forma de teses, dissertações, trabalhos de conclusão de curso, artigos em periódicos, artigos em eventos e resumos expandidos. O estudo faz-se importante para um maior conhecimento acerca da literatura existente sobre fitólitos no Paraná, evidenciando a urgência de um maior número de pesquisas na área, uma vez que o Estado apresenta uma dinâmica vegetacional e uma composição florística extremamente variada, que, no entanto, ainda carece de informações mais detalhadas.

**Palavras-chave:** Corpos silicosos, plantas modernas, reconstrução paleoambiental.

### ABSTRACT

The paper presents a review of the available scientific literature on the use of phytoliths in the State of Paraná. Phytoliths are opal micrometric biogenic bodies precipitates lifelong in plant tissues, consisting an important framework for understanding the changes in the type of vegetation formation and density of tree cover. In the present research we were emphasized both studies classification and morphology of silica bodies present in plants, as its use as a proxy indicator for inferring paleoenvironment and paleoclimate. Thus, we used tools such as search engine CAPES journals, Google Scholar®, access to Lattes leading researcher on the topic and request by e-mail to them for sending the works. The results showed that the productions are still incipient and very recent in Paraná State, so far totaling 13 publications, of which 6 are identification of phytoliths in modern plants and 7 application as a tool for paleoenvironmental interpretation, arranged in the form of theses, dissertations, course completion, journal articles, articles on events and extended abstracts. The study it is important for a better knowledge of the existing literature on phytoliths in Paraná, highlighting the urgency for more research in the area, the State has a dynamic vegetation and floristic composition extremely varied, which in however, still needs more detailed information.

**Keywords:** Silicon bodies, modern plants, paleoenvironmental reconstruction.

## ANEXO III

DOMINGOS-LUZ, L.; PAROLIN, M. Caracterização dos sedimentos turfosos em Campo Mourão, Paraná, Brasil. (no prelo).

Artigo enviado para a Revista Brasileira de Geografia Física, aguardando parecer.

## Caracterização dos Sedimentos Turfosos em Campo Mourão, Paraná, Brasil

Leandro Domingos Luz<sup>1</sup>, Mauro Parolin<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Mestrando em Geografia, Universidade Estadual de Maringá (UEM). Av. Colombo, 5790, Jardim Universitário, CEP: 87020-900 – Maringá – PR, Brasil, email: leandroluz07@gmail.com

<sup>2</sup> Professor adjunto da Universidade Estadual do Paraná (UNESPAR – Campo Mourão), coordenador do Laboratório de Estudos Paleoambientais da Fecilcam. Av. Comendador Norberto Marcondes, 733, Centro, CEP: 87302-060 – Campo Mourão – PR, Brasil, email: mauroparolin@gmail.com

**RESUMO:** Foi caracterizado os sedimentos turfosos da planície dos rios Água dos Papagaios e Ranchinho no município de Campo Mourão, PR. Para tanto, foram determinados: a) a datação absoluta (<sup>14</sup>C); b) a caracterização dos sedimentos via escala de *von Post*; c) o percentual de queima do material, sólido e volátil e d) a determinação granulométrica do sedimento. Os depósitos no rio Água dos Papagaios apresentaram idades entre ~7.280 anos cal AP. (75 cm) e ~3.280 anos cal AP. (45 cm), portanto formada durante o Holoceno. Por sua vez o depósito do rio Ranchinho apresentou idades mais antigas, de ~48.800±270 anos AP. (95 cm) e ~41.460 anos cal AP. (45 cm). Os depósitos apresentaram alto grau de decomposição entre as classes H6 e H9 (hêmica e sáprica). Os percentuais de combustão volátil e sólido foram maiores no testemunho rio Água dos Papagaios (29,89% e 45,06% respectivamente). No entanto, em virtude da presença de conteúdo mineralógico e dos valores médios de combustão o uso de ambas as turfeiras como combustível não é viável.

**Palavras-chave:** Turfa, escala de *von Post*, Pleistoceno Superior, Holoceno.

### Analysis of Peat Bogs in Campo Mourão, Paraná State, Brazil

**ABSTRACT:** Was characterized the peat sediments of rivers Água dos Papagaios and Ranchinho floodplain in Campo Mourão, PR. Thus, we determined: a) the absolute dating (<sup>14</sup>C); b) the characterization of sediments with *von Post* scale; c) the percentage of the burning material, solid and volatile; d) sediments granulometry. The deposits ages in the river



Leandro Luz &lt;leandroluz07@gmail.com&gt;

---

**[RBGF] Agradecimento pela Submissão**

2 mensagens

**Josiclêda Domiciano Galvncio** <rbgf@ufpe.br>

28 de outubro de 2013 17:57

Para: Leandro Domingos Luz &lt;leandroluz07@gmail.com&gt;

Leandro Domingos Luz,

Agradecemos a submissão do seu manuscrito "Caracterização dos Sedimentos Turfosos em Campo Mourão, Paraná, Brasil" para Revista Brasileira de Geografia Física. Através da interface de administração do sistema, utilizado para a submissão, será possível acompanhar o progresso do documento dentro do processo editorial, bastando logar no sistema localizado em:

URL do Manuscrito:

<http://www.revista.ufpe.br/rbgfe/index.php/revista/author/submission/691>

Login: luzleandro

Em caso de dúvidas, envie suas questões para este e-mail. Agradecemos, mais uma vez, considerar nossa revista como meio de transmitir ao público seu trabalho.

Josiclêda Domiciano Galvncio  
Revista Brasileira de Geografia Física  
Josiclêda Domiciano Galvncio  
Revista Brasileira de Geografia Física  
<http://www.ufpe.br/rbgfe>