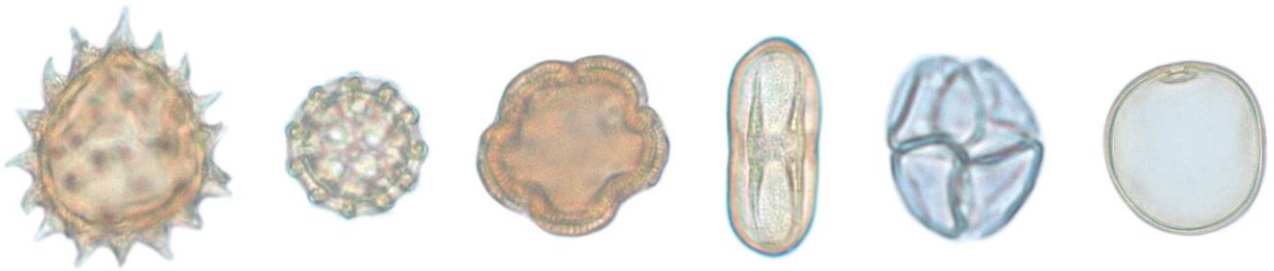
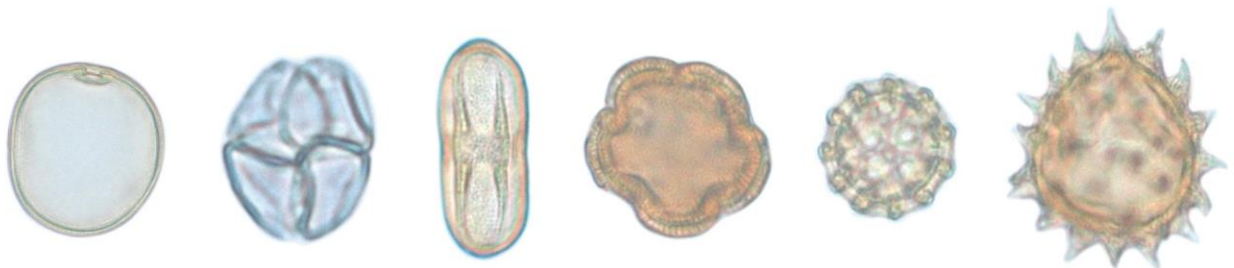


UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL  
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOCIÊNCIAS



**EVOLUÇÃO PALEOAMBIENTAL DO BIOMA PAMPA  
DURANTE OS ÚLTIMOS 17.400 ANOS:  
UMA ABORDAGEM MULTI-PROXY**



Vitor Luiz Scartazzini Bocalon

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL  
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOCIÊNCIAS**

**EVOLUÇÃO PALEOAMBIENTAL DO BIOMA PAMPA  
DURANTE OS ÚLTIMOS 17.400 ANOS: UMA ABORDAGEM  
MULTI-PROXY**

**VITOR LUIZ SCARTAZZINI BOCALON**

**ORIENTADOR – Prof. Dr. João Carlos Coimbra**

**Porto Alegre, 2024**

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL  
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOCIÊNCIAS**

**EVOLUÇÃO PALEOAMBIENTAL DO BIOMA PAMPA  
DURANTE OS ÚLTIMOS 17.400 ANOS: UMA ABORDAGEM  
MULTI-PROXY**

**VITOR LUIZ SCARTAZZINI BOCALON**

Orientador: Prof. Dr. João Carlos Coimbra

**BANCA EXAMINADORA**

Profa. Dra. Adriana Leonhardt – FURG

Prof. Dr. Marcelo de Araújo Carvalho – UFRJ

Prof. Dr. Roberto Ianuzzi – UFRGS

Profa. Dra. Alessandra da Silva dos Santos – UNISINOS (Suplente)

Profa. Dra. Silane Aparecida Ferreira da Silva Caminha – UFMT (Suplente)

Tese de Doutorado apresentada ao  
Programa de Pós-Graduação em Geociências  
da Universidade Federal do Rio Grande do Sul  
para obtenção do título de Doutor em Ciências.

Porto Alegre, 2024

Aos meus pais, Eduardo (*in memoriam*) e Beatriz, que sempre estimularam a leitura e o convívio com livros.

*Usted no conoce el sur  
si piensa que es el desierto;  
mire bien ese horizonte:  
¿no ve mil barcos veleros?*

*¡La Pampa es un viejo mar  
donde navega el silencio!*

(Ricardo Nervi)

## **AGRADECIMENTOS**

---

Chegar ao final de uma tese significa que várias pessoas contribuíram ao longo do caminho. Mesmo de forma remota, quando os tempos de pandemia impediram o convívio físico, estas pessoas se mostraram capazes não somente de compartilhar seus saberes, mas de disponibilizar parte de seu tempo e paciência, para que este caminho pudesse ser percorrido.

Primeiramente, expresso minha gratidão ao Programa de Pós-Graduação em Geociências da Universidade Federal do Rio Grande do Sul pelo papel fundamental na ampliação do meu conhecimento através de um ensino de excelência.

Aos meus orientadores, João Carlos Coimbra e Soraia Girardi Bauermann, o grande esforço e auxílio. A ambos, pela amizade proveniente deste momento. Coimbra, por sempre estar disposto a mostrar o como fazer, “mas se eu não souber fazer, te indico quem sabe”. Soraia, pela generosidade, paciência e, principalmente, acreditar sempre que esse momento, enfim, chegaria.

Profa. Dra. Gisele L. Priman mostrou como podem ser lindos os pólenes, mesmo que isso implicasse em descrições infinitas quanto aos âmbitos, formas, ornamentações e que tais. Somente agradecer a ela por isso parece, hoje, ser insuficiente.

À Profa. Dra. Maria G. Pivel, pelo generoso e inestimável auxílio prestado. Um auxílio que me serviu de estímulo reconfortante para o término deste trabalho.

Ao Prof. Dr. Mattias N. Ritter por, mesmo em um curto tempo de troca de saberes, se mostrar disposto a contribuir com a tese.

Aos hoje biólogos mestres Jeferson N. Radaeski e Andreia C. P. Ewaldt, que auxiliaram nas fases de laboratório. A eles agradeço não somente pelo auxílio técnico, mas também aos bons momentos compartilhados à época, e pela amizade então advinda.

Ao projeto MCT/CNPq/MEC/CAPES/FNDCT – Ação Transversal/FAPs Nº 47/2010 – Sistema Nacional de Pesquisa em Biodiversidade – SISBIOTA BRASIL, ter financiado as atividades de campo e de laboratório.

Às demais pessoas que também contribuíram para chegarmos até aqui: Luiz, pelo constante companheirismo, sempre, e Márcia, pelos bons momentos compartilhados.

## RESUMO

---

O estado do Rio Grande do Sul apresenta grande diversidade paisagística, resultante de sua variedade geológica, pedológica, climática e vegetal. A porção centro-sul do Estado é constituída por paisagem campestre, denominada de Bioma Pampa (BP), que se estende para além das fronteiras nacionais, avançando sobre os países vizinhos Argentina e Uruguai, constituindo-se no setor norte das denominadas Pradarias do Rio da Prata (PRP). É nesse contexto geomorfológico e vegetal que se encontram alguns depósitos de turfas no Rio Grande do Sul, como o do município de Cacequi, local do presente estudo. Nas turfeiras são gerados ambientes estagnados e anóxicos, criando as condições propícias para a preservação de pólen e esporos, objetos de estudo da Palinologia. A interpretação destes dados permite a caracterização do ambiente deposicional no qual a turfeira foi gerada e, de maneira mais precisa, sua história vegetal evolutiva, acompanhando os câmbios climáticos que ocorreram durante o Quaternário. Ao longo do intervalo de tempo estudado, no BP predominou paisagem do tipo savana, com grande contribuição de táxons tropicais, ao contrário do que ocorre nos setores uruguaio e argentino das PRP. A presente tese teve por objetivo a identificação do conteúdo palinológico presente em um testemunho de sondagem de 3,20 m, associando-o com dados estratigráficos, geocronológicos e teores de cinzas, a fim de se estabelecer as condições paleoambientais e paleoecológicas ocorrentes ao longo dos últimos 17.4 cal kyr B.P., idade relacionada ao final do Último Máximo Glacial (UMG). Foi possível observar que, ao longo deste intervalo de tempo, a diversidade vegetal se mostrou muito semelhante à atual, com a predominância de condições campestres, mesmo ocorrendo intercalações de condições climáticas secas e úmidas. Embora não tenha ocorrido mudanças vegetacionais significativas, a influência de grupos vegetais tanto subtropicais quanto tropicais se fez presente, principalmente a partir do Holoceno, momento em que se detectou maior aumento de umidade. Apesar de os dados palinológicos possibilitarem a indicação de aumento de umidade, eles não permitiram a caracterização de condições associadas à temperatura.

**Palavras-chave:** paleoclimatologia, paleoecologia, palinologia, Quaternário, turfeira.



## ABSTRACT

---

The state of Rio Grande do Sul presents great landscape diversity that results from its geological, pedological, climatic and vegetational variety. The central-southern portion of the State is made up of a field landscape, called the Pampa Biome (PB), which extends beyond national borders and advances over the neighboring countries of Argentina and Uruguay, forming the northern sector of the so-called Río de La Plata Grasslands (RPG). It is in this geomorphological and vegetational context that some peat deposits are found in Rio Grande do Sul, such as that in the municipality of Cacequi, the location of the present study. Stagnant and anoxic environments are generated in peatbog, creating favorable conditions for the preservation of pollen and spores, objects of study in Palynology. The interpretation of these data allows the characterization of the depositional environment in which the peatland was generated and, more precisely, its evolutionary vegetation history, following the climatic changes that occurred during the Quaternary. Throughout the time interval studied, the PB predominated in a savanna-type landscape, with a large contribution of tropical taxa, contrary to what occurs in the Uruguayan and Argentine sectors of the RPG. The present thesis aimed to identify the palynological content present in a 3.20 m drill core, associating it with stratigraphic, geochronological and ash content data, in order to establish the paleoenvironmental and paleoecological conditions occurring along the last 17.4 cal kyr B.P., age related to the end of the Last Glacial Maximum (LGM). It was possible to observe that, throughout this period of time, plant diversity was very similar to the current one, with the predominance of countryside vegetation areas, even with interspersed dry and humid climatic conditions. Although there were no significant vegetation changes, the influence of both subtropical and tropical plant groups was present, mainly from the Holocene onwards, when a greater increase in humidity was detected. While palynological data revealed an increase in humidity, they did not provide information on temperature-related conditions.

**Keywords:** paleoclimatology, paleoecology palynology, peatlands, Quaternary.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

---

- Figura 1. Mapa simplificado da cobertura vegetal do estado do Rio Grande do Sul e das Pradarias do Rio da Prata (modificado de Hasenack *et al.*, 2023).....16
- Figura 2. Localização da área estudada. a) Distribuição das PRP na América do Sul (modificado de Paruelo *et al.*, 2007); b) região de campos e município de Cacequi (modificado de IBGE, 2019); c) mapa geológico de Cacequi e local de amostragem da turfeira analisada (modificado de Wildner *et al.*, 2006).....30
- Figura 3. Modelo idade x profundidade e descrição do testemunho sedimentar (baseado em Bocalon *et al.*, 2023). O modelo de profundidade média de idade é indicado pela linha pontilhada vermelha, os intervalos de confiança de 95% são indicados pelas curvas pontilha cinza escuro e as quatro datas calibradas são mostradas em azul.....155
- Figura 4. Blocos diagramas representando a evolução paleoambiental da turfeira analisada, com base nos proxies estudados. Os diagramas são meramente ilustrativos e não representam resultados quantitativos.....156
- Figura 5. Perfil colunar da turfeira de Cacequi mostrando sucessão sedimentar, matéria orgânica, teor de cinzas e grau de humificação.....157
- Figura 6. Diagrama percentual e frequência dos palinomorfos erbáceos.....160
- Figura 7. Diagrama percentual e frequência dos palinomorfos arbóreos e aquáticos.....161
- Figura 8. Diagrama percentual e frequência dos esporos e táxons de samambaias, briófitas, algas e fungos.....162
- Figura 9. Diagrama de soma e zonas polínicas identuificadas através das análises de agrupamento Coniss.....163
- Figura 10. *Ephedra* Tourn. ex. L, VE (A); Annonaceae, VG (B); *Echinodorus* Rich. ex. Engel., VG (C). *Sisyrinchium* L., VE (D); Arecaceae, VE (E); Poaceae, VG (F); *Eleocharis* R.Br., VE (G); *Typha* L., VE (H); *Berberis* L., VP (I); *Roupala* Aubl., VP (J); *Myriophyllum* L., VP (K); *Croton* L., VP (L); *Erythroxyllum* P.Browne, VE (M); *Mimosa* L., VE (N); Mimosoideae, VE (O); *Polygala* L.,

VE (P); *Prunus* L., VE (Q); *Phyllostylon* P.Browne Tipo I, VP (U); *Cuphea* P.Browne Tipo II, VE (V); *Miconia* Ruiz & Pav., VE (W); Vochisiaceae, VE (X); *Schinus* L., VE (Y); Sapindaceae, VP (Z). Barra de escala = 10 µm. VE = Vista Equatorial. VP = Vista Polar. VG = Vista Geral.....164

Figura 11. Meliaceae, VE (A); Rutaceae, VE (B); *Pavonia* Cav., VG (C); *Struthanthus* Mart., VP (D); *Cerastium* L., VG (E); *Polygonum* L., VG (F); Amaranthaceae, VG (G); Loasaceae, VE (H); Ericaceae, VG (I); *Myrsine* L. Jacq., VP (J); Sapotaceae, VE (K); *Justicia* Jacq., VE (L); *Hyptis* Jacq., VP (M); *Sinningia* Nees, VE (N); Orobanchaceae, VP (O); *Plantago* L., VG (P); *Lippia* L., VP (Q); *Convolvulus* L., VE (R); *Solanum* L., VE (S); Apocynaceae, VP (T); *Borreria* G.Mey., VP (U); *Tournefortia* L., VE (V); *Ilex* L., VG (W); Asteraceae, VP (X); Calyceraceae, VE (Y); *Eryngium* L., VE (Z); *Valeriana* L., VE (ZZ). Barra de escala = 10 µm. VE = Vista Equatorial. VP = Vista Polar. VG = Vista Geral.....165

Figura 12. Influência dos táxons tropicais na porção brasileira das PRP. Tais táxons referem-se, especialmente, aos arbóreos.....166

Figura 13. Distribuição espacial nas PRP dos grãos de pólen identificados neste trabalho. Os táxons marcados com um asterisco (\*) são descritos pela primeira vez nas PRP.....167

## **LISTA DE QUADROS**

---

Quadro 1. Principais designações empregadas para caracterizar turfas e turfeiras (adaptado de Craft,2016).....	19
Quadro 2. Classificação das turfas de acordo com a matéria vegetal presente (adaptado de Birks & Birks, 1980).....	21

## **SUMÁRIO**

---

<b>INTRODUÇÃO</b> .....	14
<b>OS CAMPOS SULINOS</b> .....	15
<b>TURFAS, TURFEIRAS E REGISTROS PALEOAMBIENTAIS</b> .....	17
<b>CARACTERÍSTICAS E CLASSIFICAÇÃO DAS TURFAS</b> .....	19
<b>PRINCIPAIS CONSTITUINTES VEGETAIS DAS TURFAS</b> .....	22
<b>GRAU DE HUMIFICAÇÃO DA TURFA</b> .....	23
<b>AS TURFAS E OS REGISTROS PALEOECOLÓGICOS</b> .....	24
<b>OS ESTUDOS PALINOLÓGICOS NO BIOMA PAMPA</b> .....	26
<b>ÁREA DE ESTUDO</b> .....	29
<b>MATERIAL E MÉTODOS</b> .....	31
Coleta e Descrição do Testemunho de Sondagem.....	31
Análises Granulométricas .....	32
Análises Palinológicas.....	32
Idades Radiométricas.....	33
Teor de Matéria Orgânica .....	33
Teor de Cinzas.....	33
Grau de Humificação .....	34
<b>RESULTADOS</b> .....	34
<b>CAPÍTULO I</b>	
Landscape changes in the Campos region, southernmost Brazil, since the early deglaciation based on a multi-proxy analysis of a peat bog.....	38
<b>CAPÍTULO II</b>	
Late Pleistocene-Holocene spatial and temporal distribution of pollen from Río de La Plata Grasslands, South America: paleoecological significance .....	79
<b>INTEGRAÇÃO DOS RESULTADOS</b> .....	154
Aspectos Evolutivos da Turfeira de Cacequi.....	154
Palinologia da Turfeira De Cacequi.....	158
Distribuição Espaço-Temporal dos Táxons Polínicos nas Pradarias do Rio da Prata .....	159
<b>CONCLUSÕES</b> .....	168
<b>TRABALHOS FUTUROS</b> .....	169
<b>REFERÊNCIAS</b> .....	170

## INTRODUÇÃO

---

## OS CAMPOS SULINOS

Na região sul do Brasil, as paisagens abertas estão incluídas nos denominados Campos Sulinos. Também conhecidos como Campos do Sul do Brasil, recobrem uma área total de 13.656.000 ha. Nos estados do Paraná, Santa Catarina e no nordeste do Rio Grande do Sul, estão situados em altitudes superiores a 800 m, constituindo os Campos de Altitude, circundados pela Floresta Estacional Decidual e Floresta Ombrófila Mista, ambas constituintes do Bioma Mata Atlântica (Overbeck *et al.*, 2009; Boldrini *et al.*, 2010; IBGE, 2012; Andrade *et al.*, 2016). No Rio Grande do Sul, os denominados Campos Sulinos Subtropicais (Boldrini *et al.*, 2010; Bencke *et al.*, 2016; Andrade *et al.*, 2019; Borba & Sell, 2020) encontram-se situados a sul do paralelo 30° e se estendem em direção ao Uruguai e à região centro-norte argentina, denominado de Pradarias do Rio da Prata (PRP; Paruelo *et al.*, 2007; Baeza *et al.*, 2022). No Brasil, os Campos Sulinos Subtropicais são denominados de Bioma Pampa (BP; Hasenack *et al.*, 2010; IBGE, 2019; Barbosa *et al.*, 2022).

Esta região é recoberta por vegetação predominantemente do tipo gramínea, desenvolvida sobre solos rasos (Cabrera & Willink, 1980; Iriondo & Garcia, 1993; Iriondo, 1999; Paruelo *et al.*, 2007; Streck *et al.*, 2008). Ela também apresenta características climáticas distintas e, por conseguinte, cobertura vegetal específica (Boldrini *et al.*, 2005; 2010), correspondendo à Província Pampeana (Cabrera & Willink, 1980; Morrone, 2001). A Província Pampeana ocorre no leste da Argentina, Uruguai e sul do Rio Grande do Sul, caracterizada por relevo plano com presença de esparsos morros testemunhos, e cuja vegetação dominante é do tipo gramínea, com predominância de elementos florísticos dos domínios Chaquenho, Amazônico e Andino-Patagônico (Cabrera & Willink, 1980; Morrone, 2014; Arana *et al.*, 2017; Morrone *et al.*, 2022).

As PRP (Figura 1) abrangem área de cerca de 700.000 km<sup>2</sup>, estendendo-se entre 30°S e 38°S de latitude, incluindo o extremo sul do Brasil, a totalidade superficial do Uruguai e o centro-leste da Argentina (Paruelo *et al.*, 2007; Oyarzabal *et al.*, 2020). No território brasileiro, onde se localiza o limite norte das PRP, as áreas de campo se encontram sob forma de mosaicos, interconectando-se com as florestas de platô, no sul (Andrade *et al.*, 2016; 2018; Hasenack *et al.*, 2023). A vegetação arbustiva se encontra pouco representada, sendo constituída basicamente por Asteraceae (*Bacharis* e *Eupatorium*; Paruelo *et al.*, 2007; Oyarzabal *et al.*, 2020). Da mesma maneira, a vegetação arbórea ocorre de forma esparsa, estando preferencialmente

associada a entornos de corpos d'água, formando as matas de galeria. A diversidade de espécies deste grupo vegetal é baixa, além de componentes tropicais serem raros (Andrade *et al.*, 2018; Oyarzabal *et al.*, 2020).

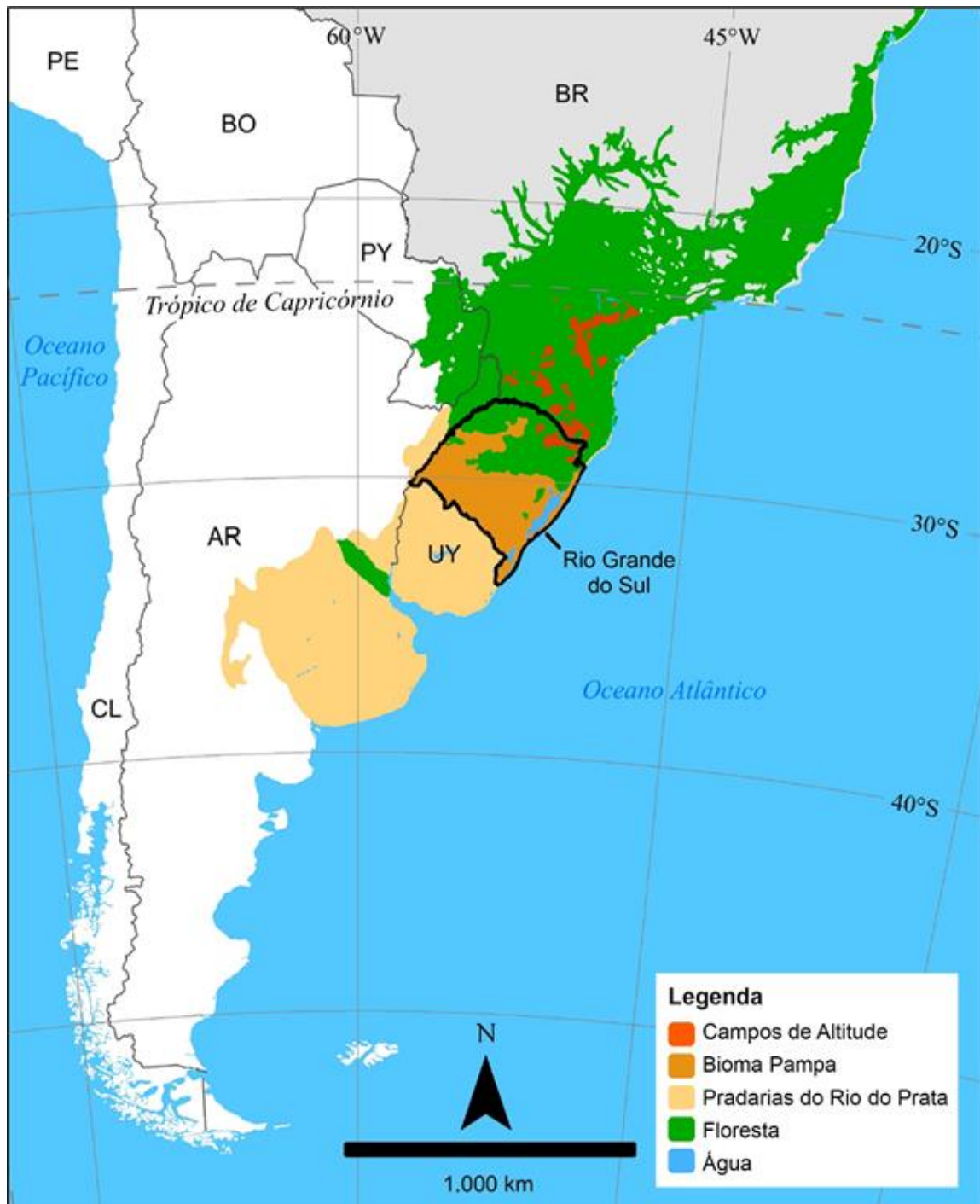


Figura 1. Mapa simplificado da cobertura vegetal do estado do Rio Grande do Sul e das Pradarias do Rio da Prata (modificado de Hasenack *et al.*, 2023).

A diversidade vegetal do BP (Figura 1), caracterizada principalmente pela presença de grande número de espécies das famílias Poaceae e Asteraceae, bem como de Fabaceae, se deve em grande parte à variação climática e pedológica nele



encontradas. O conjunto destas variáveis define, conforme Hasenack *et al.* (2010; 2023), os sistemas ecológicos campestres identificados no Rio Grande do Sul. Ao todo, são reconhecidos nove sistemas ecológicos campestres inseridos no BP: Campo Costeiro, Campo de Aristida, Campo Parque; Campo Interior Sub-Montano, Campo Atlântico Sub-Montano, Campo de Solos Rasos, Campo Arenoso e Campo de Gramas Baixas (Boldrini *et al.*, 2010; Hasenack *et al.*, 2010; 2023).

Uma das características principais da vegetação constituinte do BP é o fato de estarem total ou parcialmente adaptadas a ambientes secos, embora as condições climáticas atuais favoreçam o desenvolvimento de vegetação florestada (Verdum, 2016; Buriol *et al.*, 2019). Tais adaptações consistem principalmente na redução das espessuras foliares, bem como na presença de óleos e ceras impermeabilizantes nas porções expostas das plantas, entre outras (Boldrini *et al.*, 2010; Bencke, 2016). De acordo com vários autores, estas adaptações, associadas ao fato de existir predominância vegetacional herbácea onde o clima atual permitiria o desenvolvimento de cobertura vegetal arbórea, seriam indicativos de que as plantas se constituem em relictos de um período em que, no passado, predominavam condições climáticas secas (Lindman, 1906; Rambo, 1956; Crawshaw *et al.*, 2007; Boldrini *et al.*, 2010; Bencke *et al.*, 2016; Verdum, 2016; Hasenack *et al.*, 2019).

As principais características vegetacionais e geomorfológicas dos Campos Sulinos foram moldadas durante o Quaternário (Behling, 2002; Behling *et al.*, 2009; Andrade *et al.*, 2018; Bocalon *et al.*, 2023; Ribeiro *et al.*, 2024). Estudos polínicos realizados no sul do Brasil mostram que variações climáticas condicionaram a evolução das características vegetacionais dos Campos Sulinos. Assim, em períodos mais úmidos, as florestas predominaram nestas áreas, ao contrário dos intervalos de clima frio e seco, quando a cobertura vegetal campestre foi predominante (Behling *et al.*, 2009). Porém, tais estudos estão mais concentrados nos planaltos gaúcho (*e.g.* Rooth, 1990; Behling, 2009) e catarinense (Jeske-Pieruschka *et al.*, 2013; Perin *et al.*, 2021), sendo poucos e recentes os realizados no BP (*e.g.* Evaldt, 2013; Masetto & Lorscheitter, 2019; Bocalon *et al.*, 2023; Ribeiro *et al.*, 2024).

### **TURFAS, TURFEIRAS E REGISTROS PALEOAMBIENTAIS**

---

Turfas compreendem material sedimentar orgânico em adiantado estado de decomposição, com características específicas, sendo geradas em ambientes úmidos

(Couillard, 1994; Charman, 2002; Brown *et al.*, 2003). Estes depósitos orgânicos apresentam coloração marrom a preta, dependendo do grau de decomposição da matéria orgânica (Fuchsmann, 1980), processo esse que tende a reter o carbono e o hidrogênio, em detrimento do oxigênio e do nitrogênio (Shotyk, 1996; Coccozza *et al.*, 2003). As turfas são importantes para os estudos paleoambientais, principalmente do Quaternário, visto que associados a esses materiais orgânicos ocorrem pólenes e esporos com ótimo grau de preservação. Tudo isso constitui fonte de informação sobre as condições climáticas e ambientais pretéritas, possibilitando a reconstituição da história evolutiva das turfas, conforme estudos feitos por vários autores a nível mundial (e.g. Narayana, 2007; De Vleeschouwer *et al.*, 2012; Plado *et al.*, 2012; Bao *et al.*, 2023; Blyakharchuk *et al.*, 2024), bem como no Brasil (Fernandes, 2007; Oliveira *et al.*, 2012; Luz & Parolim, 2014; Lima *et al.*, 2020; Horák-Terra *et al.*, 2020).

Mundialmente distribuídas, as turfeiras são ecossistemas que recobrem 3% das áreas emersas e podem ser encontradas em diferentes condições climáticas, embora estejam associadas a climas mais frios, onde ocorrem em maior abundância (Craft, 2016). É usado o termo “turfeira” para designar o ambiente ecológico onde as turfas são geradas, enquanto o termo “turfa” se refere ao material preenchedor destes ambientes (Charman, 2002). O ambiente gerador da turfa geralmente está associado a depressões do terreno, se desenvolvendo sobre solos impermeáveis, o que possibilita o acúmulo de água. Com o passar do tempo, o ambiente irá apresentar características redutoras, ou seja, com circulação de água ausente ou restrita. Sob tais condições, associadas ao fato de ocorrerem maiores taxas de produção do que de decomposição de matéria orgânica, são formados os depósitos predominantemente orgânicos de origem vegetal, que preenchem a depressão do terreno e que serão transformados em turfa, após os processos de maturação e humificação (Thompson *et al.*, 1995; Charman, 2002; Coccozza *et al.*, 2003; Baudin *et al.*, 2007; Ma *et al.*, 2021; Li *et al.*, 2023).

Por se apresentarem amplamente distribuídas ao longo da superfície da Terra, as turfas e turfeiras recebem várias designações de acordo com as particularidades relacionadas à origem e movimentação da água nelas presente. Pelo fato de, no Brasil, serem poucos os estudos relacionados às turfas e às turfeiras, certos termos normalmente empregados na bibliografia técnica não encontram equivalentes na língua portuguesa. As designações mais comuns podem ser resumidas no Quadro 1.

Quadro 1. Principais designações empregadas para caracterizar turfas e turfeiras (adaptado de Craft, 2016).

Designação	Características principais
“Mire”	Turfeira onde a turfa está em processo ativo de formação
“Bog” ou “mire” ombrotrófico	Turfeira que se eleva acima da paisagem circundante e o aporte de água é somente por precipitação
“Fen” ou “mire” minerotrófico	Turfeira que está situada em uma depressão do terreno e recebe água que lixiviou solos e rochas
“Mire” solígeno	“Fen” que recebe água tanto de precipitação quanto de escoamento superficial
“Fen” litógeno	“Fen” que recebe água tanto de precipitação quanto do lençol freático
Histossolo	Turfeira cujo solo contém ao menos entre 12% e 18% de C orgânico e cuja espessura seja de no mínimo 40 cm

### **CARACTERÍSTICAS E CLASSIFICAÇÃO DAS TURFAS**

Geralmente as turfas são geradas em locais onde a taxa de produção de matéria orgânica vegetal é maior que a taxa de decomposição, sendo a água o principal aspecto a ser levado em conta em relação à produção das turfas (Shotyk, 1996; Charman, 2002). Em terrenos alagados, nos solos com grandes quantidades de matéria orgânica, a água expulsa o oxigênio contido nos poros do solo, gerando condições redutoras. Tal característica redutora é incrementada pela presença de micro-organismos que auxiliam o consumo do oxigênio intersticial, o que retarda ainda mais a decomposição da matéria orgânica vegetal (Baudin *et al.*, 2007). De acordo com Shotyk (1996), três ambientes principais criam as condições ideais para a formação de turfas: (i) corpos aquosos de pouca profundidade; (ii) solos inorgânicos com baixas taxas de percolação de fluidos, porém saturados em água; (iii) bem como solos pouco drenados localizados em áreas onde predominam baixas temperaturas.

Por serem geradas em condições redutoras e possuírem altas concentrações de matéria orgânica vegetal, as turfeiras irão apresentar características físicas e químicas específicas. Tais características referem-se, principalmente, às relações entre densidade e volume (a densidade aumenta de forma inversamente proporcional ao volume da matéria vegetal), bem como às altas capacidades de trocas catiônicas, devido à grande quantidade de material orgânico coloidal (Shotyk, 1996; Charman,

2002; Bader *et al.*, 2018). No entanto, as características químicas orgânicas variam grandemente, uma vez que elas são o reflexo direto do tipo de constituinte vegetal que deu origem à turfa. Indiferente disso, se observa comumente aumento de carbono, hidrogênio e enxofre seguido de uma diminuição de oxigênio conforme se processa a maturação da matéria orgânica na turfeira (Shotyk, 1996; Coccozza *et al.*, 2003; Szajdak *et al.*, 2020; Lodigyn *et al.*, 2023).

Nos ambientes turfosos, como já acima relatado, a água desempenha papel fundamental em seu desenvolvimento, principalmente pelo fato de serem estes ambientes locais de acúmulo de água (Ivanov, 1981; Ingram, 1983; Eggelsmann *et al.*, 1993; Iturraspe & Roig, 2000). Em um perfil normal de turfeira é possível observar dois níveis distintos, de acordo com o tipo de movimentação da água e, conseqüentemente, com o grau de decomposição da matéria orgânica que ocorre em cada um destes níveis: o acrotelmo, superficial, e o catotelmo, inferior (Ivanov, 1981; Holden & Burt, 2003; Morris *et al.*, 2011; Kurnain, 2019). O acrotelmo é caracterizado pela presença de uma cobertura vegetal viva, constituída principalmente por *Sphagnum* e onde o nível de água apresenta maiores flutuações, o que permite, temporariamente, a presença de ar nos espaços porosos e, conseqüentemente, bactérias aeróbicas nos mesmos, facilitando a decomposição da matéria orgânica. No catotelmo, estas flutuações no nível de água não ocorrem, fazendo com que os espaços porosos fiquem saturados em água permanentemente, reduzindo drasticamente a presença de bactérias aeróbicas decompositoras da matéria orgânica (Ivanov, 1981; Beer *et al.*, 2008; Szafranek-Nakonieczna & Stepniewska, 2014; Cunha-Santino & Bianchini Jr., 2023).

As turfeiras são classificadas de acordo com os aspectos morfológicos e hidrológicos, além da estratigrafia e da cobertura vegetal, podendo ser definidas como ombrotróficas e minerotróficas (Charman, 2002). As turfeiras ombrotróficas são hidrológicamente independentes das águas subterrâneas e de escoamento superficial, recebendo umidade e nutrientes da precipitação pluviométrica (Charman, 2002; Nichols *et al.*, 2006). São formadas em locais onde as taxas de precipitação excedem as de evaporação da água, e onde predominam condições anóxicas e de baixo pH. As turfeiras ombrotróficas se apresentam com formas dômicas ou colgadas, sendo mais comuns as primeiras, e são típicas de regiões de áreas frias, por isso sendo mais abundantes em países do hemisfério norte (Charman, 2002). O material sedimentar presente nas turfeiras ombrotróficas constitui importante arquivo para

estudos paleoclimáticos devido às relações estreitas entre a umidade do substrato e as condições atmosféricas, bem como ao alto potencial de preservação da matéria orgânica (Nichols *et al.*, 2006). Em geral, os depósitos originários de turfeiras ombrotróficas são os materiais considerados ideais para a obtenção de registros paleoambientais, devido à ausência de fluxos aquosos que transitam através do depósito, retrabalhando-o e interferindo nas condições de preservação do registro fóssil.

As turfeiras minerotróficas são aquelas alimentadas pelas águas subterrâneas e de escoamento superficial (Charman, 2002; Keller & Bridgham, 2007). Nessas condições, a turfa possui pH básico e baixos teores de nutrientes. Estão situadas em depressões topográficas do terreno, sem saída de água, ou em sopés de vales, podendo ter um fluxo de água disperso sobre o depósito orgânico (Charman, 2002). Em função da passagem frequente de fluxos aquosos pelo depósito, os materiais desse tipo de turfeiras são considerados, em geral, como menos promissores para a obtenção de registro paleoambiental confiável, haja vista a relativa complexidade associada aos processos deposicionais e tafonômicos que nelas predominam.

O tipo de vegetação presente na turfeira confere características distintas à mesma. Por ocorrerem em diferentes latitudes e em diferentes situações ecológicas, nestes ambientes a cobertura vegetal predominante mostra-se variada (ICP, 2012). Normalmente, em climas mais frios, a cobertura vegetal predominante é de briófitas e musgos, enquanto em ambientes associados a regiões temperadas a subtropicais a diversidade vegetal tende a ser maior, incluindo constituintes herbáceos e/ou arbóreos (Birks & Birks, 1980). Nesse sentido, elas podem ser classificadas de acordo com o tipo de vegetação possível de identificação, como mostrado no Quadro 2.

Quadro 2. Classificação das turfas de acordo com a matéria vegetal presente (adaptado de Birks & Birks, 1980).

<b>Tipos de turfas</b>	<b>Constituintes principais</b>
Briófitica	Musgos, principalmente <i>Sphagnum</i> e <i>Polytrichum</i>
Lenhosa	Fragmentos da madeira de árvores e arbustos (cascas e pedaços de troncos e galhos)
Herbácea	Fragmentos de raízes e de folhas de herbáceas
Húmica	Material húmico não reconhecível

Quando consideradas como solos, as turfas estão classificadas dentro do grupo dos organossolos (Myślińska, 2003; Bader *et al.*, 2018; Neto *et al.*, 2023). De acordo com EMBRAPA (2009), os organossolos são aqueles onde o teor de carbono orgânico excede 80 g por quilo de solo, e que apresentam horizonte hístico (*i.e.*, constituído principalmente por material orgânico depositado sob condições de excesso de água ao longo do ano). Ainda com base na classificação de solos da EMBRAPA (2009), os organossolos podem ser subdivididos em três classes, a saber: (i) os organossolos timórficos, com altos teores de enxofre; (ii) os organossolos fólicos, típicos de ambientes altimontanos, alagados somente parte do ano; e (iii) os organossolos háplicos, ou seja, todos os organossolos que não se enquadram nas classes anteriores. Assim, de forma específica, as turfas constituem organossolos háplicos, caracterizados como organossolos háplicos fibricos típicos.

### **PRINCIPAIS CONSTITUINTES VEGETAIS DAS TURFAS**

---

Os constituintes vegetais presentes nos ambientes turfosos variam grandemente em forma e tamanho, além de serem compostos predominantemente por famílias mais adaptadas a ambientes úmidos alagados (Cocozza *et al.*, 2003; Garsetiasih *et al.*, 2022). O principal componente vegetal associado às turfas são espécies de *Sphagnum* (Mendes & Dias, 2002; Rydin *et al.*, 2006; Raven *et al.*, 2007; Muster *et al.*, 2015). Ocorrendo em número relativamente grande de espécies, o *Sphagnum* pode estar associado a condições climáticas variadas, mas geralmente em ambientes com características úmidas (Shaw & Cox, 2005; Mäkilä *et al.*, 2015). *Sphagnum* é um gênero de briófita conhecido desde o Ordoviciano e que estaria sempre associado a turfeiras (Johnson *et al.*, 2015; Cardona-Correa *et al.*, 2016; Graulich, 2021). Nos estudos de turfas, delimitar o momento em que o *Sphagnum* passa a ocorrer como vegetação predominante é um fator chave na ombrotrofitização da turfa, uma vez que ele acidifica o meio aquoso, tornando-a oligotrófica. Além disso, o *Sphagnum* retém a água acima do lençol freático e auxilia na limitação da decomposição da matéria orgânica (Shaw & Cox 2005; Tuitilla *et al.*, 2012; Drollinger *et al.*, 2020; Nordström *et al.*, 2022; Arsenault *et al.*, 2024).

Além do *Sphagnum*, são comuns nestes ambientes a presença de Typhaceae (*Typha*), Cyperaceae (*Carex*), além de vários tipos de Poaceae e outras famílias de herbáceas (Canalli & Bove, 2017; Zhou *et al.*, 2018). Em relação à família Poaceae, alguns gêneros são bastante adaptados a ambientes alagados, tais como: *Eragrostis*,

*Paspalum*, *Panicum*, *Echinochloa* (Palit *et al.*, 2017). Da mesma forma, Cyperaceae é outra família bastante comum em ambientes alagados (Sympson *et al.*, 2011). Associado ao fato de terem padrão fotossintético tipo C<sub>3</sub> e C<sub>4</sub>, com os do tipo C<sub>4</sub> (*Eleocharis*) sendo os mais comuns em regiões de alagadiços (Sympson *et al.*, 2011), as ciperáceas são largamente utilizadas para o entendimento da evolução das turfeiras. Embora tenham surgido no Cretáceo Superior, somente a partir do Pleistoceno teriam experimentado grande diversificação, chegando a se tornarem um dos principais constituintes das turfeiras, a nível mundial (Viljoen *et al.*, 2013; Waterway *et al.*, 2016).

### **GRAU DE HUMIFICAÇÃO DA TURFA**

---

Grande parte dos depósitos turfosos são constituídos por substâncias húmicas. Estas substâncias são provenientes da decomposição da matéria orgânica vegetal que se desenvolve no ambiente turfoso. É definido como grau de humificação a relação existente entre a taxa de transformação da matéria orgânica vegetal e o desenvolvimento das substâncias húmicas (Klavins & Purmalis, 2014).

O grau de humificação de uma turfa pode ser determinado por vários métodos, tanto de campo quanto de laboratório. O método de campo mais comumente empregado é o de Von Post (1924; *apud* Fernandes, 2007), que leva em conta aspectos físicos da turfa, tais como fibrosidade, cor do material sólido e cor da água associada. O material analisado é comparado com uma escala, que varia de H1 (menor grau de humificação) até H10 (maior grau de humificação), e classificado em turfa fibrosa (H1-H4), hêmica (H5-H7) ou sáprica (H7-H10).

As turfás também são classificadas de acordo com o grau de decomposição e a quantidade de fibras vegetais presentes no material (Kurki, 1982; Charman, 2002; Chmielewska, 2023). Assim, podem ser designadas como turfás leves ou fibrosas, turfás escuras ou hêmicas e turfás pretas ou sápricas. As turfás fibrosas possuem fibras vegetais que ainda são reconhecíveis, apresentam cor marrom, constituem o meio mais poroso da turfa, e estão situadas nos níveis mais superficiais dos depósitos. As turfás hêmicas representam grau intermediário entre as turfás fibrosas e as sápricas, isto é, apresentam poucas quantidades de fibras vegetais reconhecíveis, são de cor cinza escura e estão saturadas em água. As turfás sápricas apresentam cor

preta e são constituídas por material amorfo, de consistência gelatinosa, isto é, sem quaisquer tipos de fibras vegetais reconhecíveis, além de serem saturadas em água.

O grau de humificação da turfa também pode ser identificado por métodos laboratoriais, sendo a colorimetria e espectrofotometria os mais comuns (Chambers *et al.*, 2010). Associado a outros proxies (palinologia, teor de matéria orgânica e teor de cinzas, principalmente), o grau de humificação auxilia no entendimento das condições climáticas quando da formação de turfeiras ao longo do Pleistoceno e Holoceno (Payne & Blackford, 2008; Xiao *et al.*, 2017; Newnhan *et al.*, 2019; Li *et al.*, 2023). Isto se deve, sobretudo, ao fato de a atividade microbiana na turfa ser incrementada pelo aumento da temperatura e da umidade, favorecendo o aumento da produção vegetal e, assim, adicionando mais quantidades de restos vegetais a serem decompostos no ambiente turfoso (Kurki, 1982; Blackford & Chambers, 1993; Wang *et al.*, 2010; Xiao *et al.*, 2017). Desta maneira, os altos valores da humificação da turfa seriam consequência de condições climáticas quentes e úmidas, enquanto que valores baixos refletiriam condições frias e secas (Wang *et al.*, 2010; Xiao *et al.*, 2017; Li *et al.*, 2020).

### **AS TURFAS E OS REGISTROS PALEOECOLÓGICOS**

---

Desde os trabalhos pioneiros de Erdtman (1934), o estudo dos pólenes e esporos preservados nas turfeiras tem se mostrado importante ferramenta nas interpretações paleoecológicas (Charman, 2002). Isto se deve ao fato de, nestes ambientes, o material fóssil palinológico ser encontrado em grandes quantidades, fornecendo um conjunto de informações paleoecológicas não somente da turfeira, mas também da paisagem circundante (Kurki, 1982; Charman, 2002).

Para além da palinologia, o ambiente onde a turfa é gerada possui grande variedade de outros microfósseis. As condições tafonômicas na turfeira, onde as características altamente redutoras do meio e o material sedimentar siliciclástico apresenta frações granulométricas extremamente finas, contribuem sobremaneira para que o potencial de preservação seja considerado excelente (Salgado-Labouriau, 2007; Barth-Schatzmayr & Barros, 2011; Worobiec, 2014; Fracasso *et al.*, 2024). Nelas encontram-se também fósseis de protozoários (tecamebas), fungos e algas, restos de animais invertebrados, principalmente artrópodes (Charman, 2002), bem como material genético principalmente de restos vegetais preservados (Parducci *et al.*, 2015; Fracasso *et al.* 2024) e que são denominados como palinomorfos não



polínicos (van Geel, 2001; Shumilovskikh & van Geel, 2020). Como exemplo de estudos de palinórfos não polínicos, pode ser citado o trabalho de Medeanic & Corrêa (2010), que identificaram microalgas tanto de água doce (*Botryococcus*, *Debarya*, *Spirogyra* e *Pseudoschizaea*) quanto salgada (cistos de Dinophyceae) ao realizarem estudos em turfeiras da Planície Costeira do Rio Grande do Sul (PCRS), auxiliando na compreensão das oscilações do nível do mar nesta região do estado. Também em estudos de turfeiras no planalto do mesmo estado, Roth (1990), Roth & Lorscheitter (2007) e Leonhardt & Lorscheitter (2010) conseguiram identificar mais de sete tipos de fungos no material analisado, ajudando a determinar em qual momento foram implantadas as condições paludais durante a evolução da turfa. Tais estudos contribuíram para a compreensão das variações paleoclimáticas que influenciaram na expansão da Mata com Araucária naquela região.

De forma geral, no sul do estado do Rio Grande do Sul, bem como em áreas de ocorrência de paisagens campestres, tanto em território argentino quanto uruguaio, os estudos palinológicos do Quaternário vêm sendo realizados preferencialmente em turfeiras. No Uruguai, de acordo com Iriarte (2006) e Mourelle *et al.* (2018), os dados mostram significativas mudanças vegetacionais ocorridas desde o final do UMG, há cerca de 14.000 anos A.P., quando condições frias e secas foram sendo substituídas por úmidas e quentes. As mesmas conclusões foram levantadas em estudos de turfeiras nos pampas argentinos (Prieto, 1996; 2000), coincidentes, por sua vez, com as conclusões obtidas por Behling *et al.* (2005), na região oeste do território gaúcho. As pesquisas realizadas nestes ambientes, associados aos dados estratigráficos e geocronológicos, fornecem um conjunto de valiosas informações para o entendimento das modificações paleoecológicas e paleoclimáticas ao longo do Quaternário (Charman, 2002).

Embora os ambientes de turfeira disponibilizem excelentes materiais em termos de palinologia e que foram estudados no BP do Rio Grande do Sul (Burjack & Marques-Toigo, 1980; Ribeiro *et al.*, 2020; Ribeiro *et al.*, 2024), outros ambientes também vêm fornecendo bons resultados, como os (i) depósitos de meandros abandonados (Barra do Quaraí), analisados por Evaldt (2013) e Evaldt *et al.* (2014), (ii) depósitos lagunares da PCRS (Medeanic & Corrêa, 2010) e (iii) depósitos sedimentares plataformais da costa do Uruguai (Mourelle & Prieto, 2016) e do sul do Brasil (Gu *et al.*, 2018).

## OS ESTUDOS PALINOLÓGICOS NO BIOMA PAMPA

Grande parte dos estudos palinológicos no Rio Grande do Sul estão concentrados no planalto nordeste. De acordo com estas pesquisas, a Mata com Araucária expandiu-se recentemente, em função da flutuação climática de uma condição seca para úmida e até superúmida, ocorrida há cerca de 11.000 anos A.P. (Roth, 1990; Roth & Lorscheitter, 1993; Behling *et al.*, 2004; Scherer & Lorscheitter, 2008). A pesquisa pioneira envolvendo o estudo de pólenes em sedimentos quaternários foi realizada por Burjack & Marques-Toigo (1980), tendo como objetivo avaliar o potencial de preservação dos mesmos ao longo de um testemunho de sondagem obtido na turfeira de Águas Claras, no município de Viamão. No entanto, no que diz respeito aos trabalhos de pesquisas com objetivos paleoecológicos e paleoestratigráficos para o BP, existem poucos, visto que se tornaram mais comuns somente a partir dos anos 2000, destacando-se aqui os de Neves & Bauermann (2004), Bauermann *et al.* (2005), Behling *et al.* (2005), Bauermann *et al.* (2008), Evaldt (2013), Evaldt *et al.* (2014), Masetto & Lorscheitter (2019), Ribeiro *et al.* (2020), Ribeiro *et al.* (2024). Os resultados destes estudos para o BP têm mostrado as respostas vegetacionais às mudanças climáticas desde o UMG.

Neves & Bauermann (2004), integrando estudos palinológicos e estratigráficos em testemunho de sondagem obtido em Capão do Leão, detectaram aumento de umidade há cerca de  $3.910 \pm 100$  A.P., identificada pelo incremento de comunidades vegetacionais arbóreas, briófitas e pteridófitas, bem como de comunidades vegetacionais de ambientes úmidos (*Typha*, notadamente). O aumento na umidade climática seria resultado do aumento do nível do mar, ocorrido na PCRS nesse mesmo período. Conclusões semelhantes foram obtidas por Bauermann *et al.* (2005), para a região de Domingos Petrolini, também na PCRS. A deposição dos sedimentos a cerca de 4.400 anos A.P. se deu sob condições marinhas transgressivas, enquanto que, há 3.000 anos A.P., ocorreria o maior recuo do mar. Neste momento, o material sedimentar foi depositado sob condições ecológicas de ambientes alagados, com vegetação continental no entorno dos corpos d'água.

Um dos trabalhos mais robustos realizados no interior do BP, foi o de Behling *et al.* (2005). Estudando um testemunho de sondagem coletado em São Francisco de Assis, oeste do estado, identificaram quatro zonas polínicas que indicavam progressivo aumento de umidade e de temperatura em relação ao clima da região. A zona polínica mais antiga (com idades entre 22.150 e 12.360 anos A.P.) é

caracterizada por predomínio de formações vegetais campestres, com poucos constituintes arbóreos e de áreas alagadas, sugerindo condições climáticas mais secas. Tal situação é repetida ao longo da segunda zona polínica (entre 12.360 e 5.170 anos A.P.), ainda caracterizada por predomínio de formações vegetais de campo. No entanto, estas condições mostram pequena modificação a partir da terceira zona (entre 5.170 e 1.550 anos A.P.), quando foram observados ligeiros aumentos nos constituintes vegetais arbóreos, embora ainda predominassem constituintes vegetais campestres. Esta modificação foi interpretada como aumento das matas de galeria, decorrentes da implantação de condições climáticas mais úmidas. A umidade aumentaria ainda mais na última zona (entre 1.550 e 51 A.P. anos), onde os constituintes vegetais arbóreos estão mais presentes, embora ainda predominem comunidades vegetais de campo. Apesar de a umidade e a temperatura aumentarem, os dados polínicos não mostraram variação das principais famílias vegetais identificadas, notadamente Poacea e Asteracea, sugerindo que as associações vegetais campestres foram dominantes até os dias atuais. Posteriormente, Bauermann & Fett Jr. (2014), trabalhando na mesma região do estado, identificaram três fases climáticas distintas: a primeira, onde predominariam condições climáticas frias e secas, sem desenvolvimento de matas de galeria, teria perdurado até cerca de 10.000 anos A.P. A partir desta data, as condições climáticas frias e secas foram progressivamente substituídas por clima úmido e quente, propiciando o desenvolvimento das matas de galeria, enquanto a última fase, iniciada há 1.000 anos, estaria caracterizada pela implementação das condições climáticas atuais.

O trabalho de pesquisa apresentado por Bauermann *et al.* (2008) foi realizado em São Martinho da Serra, no centro do estado, região caracterizada por ser uma zona de transição entre a Floresta Estacional Decidual e o BP. Analisando o material palinológico contido no testemunho de sondagem obtido de uma turfeira, os autores conseguiram identificar três níveis polínicos. O mais antigo, datado entre  $3.231 \pm 42$  e  $1.574 \pm 42$  anos A.P., está constituindo basicamente por componentes herbáceos, principalmente Poaceae, Asteraceae e Apiaceae, sendo raros os arbóreos; o intermediário, com idades entre  $1.574 \pm 42$  e 468 anos A.P., apresenta as mesmas proporções entre constituintes herbáceos e arbóreos que o anterior. Entretanto, os componentes herbáceos mudam, sendo Poaceae, Amaranthaceae e Rubiaceae os mais comuns. A fase mais jovem, entre 468 anos A.P. e o Recente, ainda mostra os mesmos representantes vegetais que os do nível anterior no que diz respeito à

associação campestre. Neste nível foi também observado ligeiro aumento dos integrantes arbóreos.

Evaldt (2013) e Evaldt *et al.* (2014), ao caracterizarem os sedimentos de terraços fluviais do rio Quaraí, na localidade de Barra do Quaraí, oeste do estado, identificaram três níveis polínicos distintos. O mais antigo, entre 3.380 e 2.350 anos A.P., mostra a presença da savana estépica parque ocorrendo na planície de inundação do rio, que nesse intervalo de tempo estaria frequentemente alagado, o que é atestado pela presença de algas e macrófitas aquáticas, indicando condições de clima úmido e quente. O nível intermediário (entre 2.328 e 2.262 anos A.P.) continua sugerindo a presença de savana estépica parque, porém sendo identificado ligeiro aumento de outras famílias vegetais arbóreas, mostrando o início de matas ciliares. A este nível estariam associadas condições climáticas quentes e secas, caracterizadas pela ausência de macrófitas aquáticas e algas. O nível mais recente (entre 2.130 e 1.620 anos A.P.) apresentaria fase de melhoria climática, resultando em aumento na diversidade de táxons arbóreos. Segundo Evaldt (2013), a supressão da vegetação tipo savana estépica parque se daria em função do aumento das matas ciliares, uma vez que ambas competiriam pelo mesmo ambiente ecológico.

Mourelle *et al.* (2018) compararam os dados palinológicos das paisagens de campo tanto do Uruguai quanto da região sul do Brasil. De acordo com os autores, as associações vegetais típicas de paisagens campestres seriam predominantes até os últimos 5.500 anos A.P., devido às condições climáticas mais secas vigentes. Porém, a partir desta data, foi observado leve aumento dos constituintes arbustivos e arbóreos, principalmente ao longo de corpos d'água, sugerindo a implantação de clima úmido. Este trabalho se mostrou importante por ser um dos únicos estudos integrando exclusivamente dados polínicos de dois dos três países onde as PRP se estendem.

Masetto & Lorscheitter (2019) estudaram sedimentos holocênicos na porção sul da PCRS e identificaram um momento de inundação marinha máxima cerca de 6.000 a 5.000 anos atrás. Esta inundação máxima teria ocorrido em um momento em que condições campestres predominavam na região, e que se manteriam onipresentes também após a regressão do nível do mar.

No contexto do tema em tela, destaca-se que o conceito de estudos multi-proxy aparece pela primeira vez em Ribeiro *et al.* (2020), sendo seguido por Salgado *et al.* (2021), Bocalon *et al.* (2023) e Ribeiro *et al.* (2024). Ribeiro *et al.* (2020; 2024)

utilizaram proxies biológicos (pólenes) associados a geológicos (“charcoals”) para identificarem eventos de incêndios associados a períodos de secas ao longo dos últimos 39.000 anos na PCRS. Salgado *et al.* (2021), ao caracterizarem a evolução dos butiazais de Tapes, também na PCRS, empregaram tanto proxies biológicos (pólenes e fitólitos) quanto geológicos (sedimentologia e análises geoquímicas), concluindo que os butiazais estiveram presentes na região desde os últimos 11.000 anos. Bocalon *et al.* (2023) integraram estudos palinológicos com dados relacionados a teores de matéria orgânica e teores de cinzas obtidos de uma turfeira descrita para o interior do BP. Naquele estudo, os resultados obtidos foram também analisados em conjunto com os alcançados por outros trabalhos realizados em outras regiões do continente, permitindo propor que durante o Holoceno inferior ocorreu um clima mais húmido não somente ao longo da grande extensão ocupada pelas PRP, mas ao longo de toda a América do Sul.

De acordo com os dados apresentados, a cobertura vegetal associada à paisagem campestre tem sido predominante nas PRP desde o Pleistoceno Médio a Superior. Ao longo do tempo, as associações vegetais vêm respondendo prontamente às mudanças climáticas, permitindo interpretações robustas sobre como se processaram tais mudanças. No entanto, devido às características vegetacionais associadas às paisagens campestres – onde a cobertura vegetal predominante são ervas e arbustos – as variações na flora se apresentam de forma sutil, notadamente no que diz respeito ao conjunto de famílias vegetais herbáceas e às pequenas variações nos constituintes arbóreos. Neste viés, vários autores sugerem que mais estudos palinológicos – associados a outros proxies – se fazem necessários para que se atinja um maior detalhamento da evolução das paisagens campestres do sul do Brasil e ao longo de todas as PRP.

## ÁREA DE ESTUDO

---

O município de Cacequi (Figura 2) está situado na porção oeste do estado, assentado sobre rochas sedimentares paleo-mesozoicas recobertas por rochas vulcânicas basálticas, bem como sedimentos aluvionares holocênicos (Wildner *et al.*, 2006; Scherer & Lavina, 2005; Soares *et al.*, 2008). O período Quaternário está representado por camadas arenosas de origem fluvial e eólica (Nascimento & Souza, 2010) que ocorrem ao longo das margens dos principais rios do município (Ibicuí,

Saicã, Santa Maria e Cacequi), depositadas após o UMG (Da-Rosa, 2009). A estes depósitos sedimentares, localmente, estão associadas as turfas (Streck *et al.*, 2008).

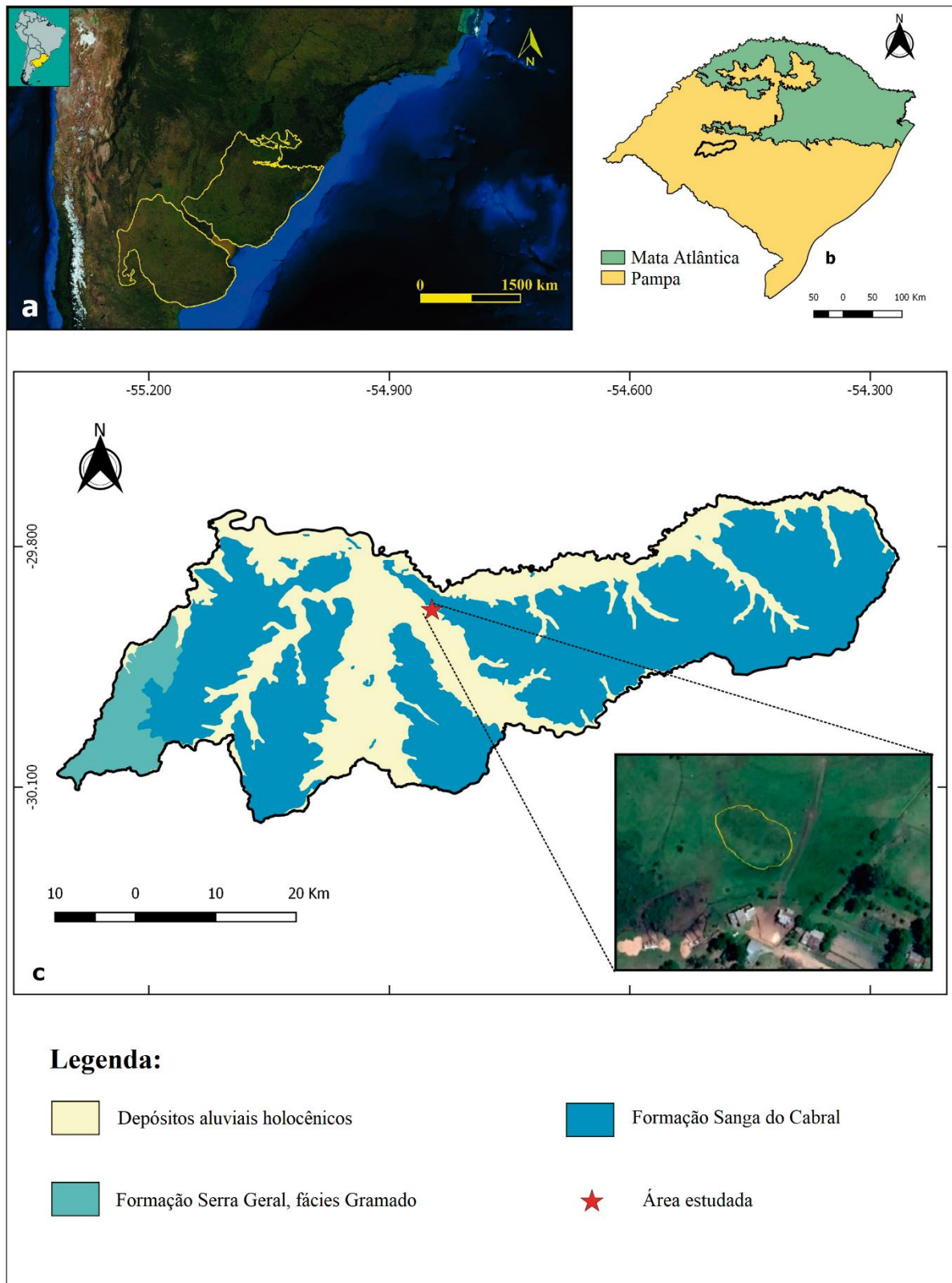


Figura 2. Localização da área estudada. a) Distribuição das PRP na América do Sul (modificado de Paruelo *et al.*, 2007); b) região de campos e município de Cacequi (modificado de IBGE, 2019); c) mapa geológico de Cacequi e local de amostragem da turfeira analisada (modificado de Wildner *et al.*, 2006).

A área do município encontra-se em uma zona de transição entre os tipos climáticos Subtropical Ib e Subtropical II, com sistemas polares e tropicais continentais influenciando as características climáticas (Wollmann & Galvani, 2012). As temperaturas médias anuais variam entre 17° e 23°C, e os valores médios da precipitação pluviométrica variam entre 1400 e 1700 mm, sendo mais abundantes as chuvas no outono e na primavera (Rossato, 2020).

A vegetação predominante na área de estudo compreende proporções aproximadas de gramíneas de estações quentes (C<sub>4</sub>) e frias (C<sub>3</sub>), com diminuição das gramíneas C<sub>4</sub> em direção a sul (Andrade *et al.*, 2018). A vegetação arbustiva se encontra pouco representada, sendo constituída basicamente por Compositae (*Baccharis* e *Eupatorium*; Paruelo *et al.*, 2007). Da mesma maneira, ocorre de forma esparsa a vegetação arbórea, estando preferencialmente associada aos entornos de corpos d'água, formando as matas de galeria (Andrade *et al.*, 2018).

## **MATERIAL E MÉTODOS**

---

Foi estudado no município de Cacequi, Rio Grande do Sul, um domo turfoso, localizado nas coordenadas geográficas de 29°52'33,6"S e 54°50'11,8"W. O referido domo foi detalhado em seus aspectos estratigráfico e palinológico, bem como suas características físico-químicas, com base em levantamentos tanto de campo quanto de atividades laboratoriais, cujos processos são descritos a seguir.

### **Coleta e Descrição dos Testemunhos de Sondagem**

Foram coletados dois testemunhos de sondagem com profundidades de 3,21 m utilizando-se amostrador Russian Peat Borer (Moore *et al.*, 1998) e acondicionados em tubos de PVC, vedados com plástico filme. Em campo foram identificadas algumas das características físicas do material, tais como cor do sedimento (determinada usando-se como referência o sistema de cores de Munsell (Munsell Soil Color Chart, 1994), textura ao tato, presença ou ausência de discontinuidades físicas e plasticidade do material. Um dos testemunhos foi transportado para o Laboratório de Geodinâmica Superficial, da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), para análises granulométricas, grau de humificação e teor de matéria orgânica, bem como coletas de sub-amostras para datação radiométrica. Outro testemunho foi levado para

o Laboratório de Palinologia da Universidade Luterana do Brasil (ULBRA), Canoas, Rio Grande do Sul, para estudos polínicos.

### **Análises Granulométricas**

Subamostras foram coletadas em intervalos de 10 cm, sendo processadas empregando-se o método tradicional proposto por Tucker (1988). O material granulométrico com tamanho maior que 0,062 mm foi separado empregando-se o método do peneiramento, enquanto que para a fração fina utilizou-se o método de pipetagem. Para o tratamento estatístico dos dados foi utilizada a classificação textural proposta por Flemming (2000), considerada a melhor aplicável em sedimentos lamosos.

### **Análises Palinológicas**

Para essa etapa, foram coletadas subamostras equivalentes a 1 cm<sup>3</sup> em intervalos de 6 cm. A metodologia empregada foi a acetólise, conforme proposta por Faegri & Iversen (1975), que consiste em tratamentos com ácidos para remoção de matéria mineral e de constituintes húmicos presentes nos materiais amostrados. Posterior ao tratamento químico prévio, foram montadas quatro lâminas com gelatina glicerinada para cada subamostra. As lâminas foram identificadas, catalogadas e registradas no livro tombo do Laboratório de Palinologia da ULBRA. Cada lâmina teve número mínimo de 300 grãos de pólen e esporos contados e identificados, utilizando-se microscópio óptico com lente de aumento de 400 vezes.

Para a identificação dos grãos de pólen e esporos, foram caracterizados atributos individuais dos mesmos, na ordem: unidade polínica, simetria, âmbito, forma, ornamentação da exina e tamanho do grão de pólen (Salgado-Labouriau, 1973; Barth-Schatzmayr & Melhem, 1988; Marchant *et al.*, 2002; Punt *et al.*, 2007; Bauermann *et al.*, 2008; Medeanic & Corrêa, 2010; Evaldt *et al.*, 2014; Chase *et al.*, 2016; Radaeski *et al.*, 2016; Mourelle *et al.*, 2018; Masetto & Lorscheitter, 2019). Também foram consultados os catálogos de referência da Pollen Catalog Network (RCPol) e do Global Pollen Project. A classificação taxonômica do pólen seguiu o sistema estabelecido pelo Angiosperm Phylogeny Group IV (Chase *et al.*, 2016). Após a identificação e quantificação dos pólenes e esporos, foi realizada a documentação



microfotográfica digital dos mesmos, também no Laboratório de Palinologia da ULBRA. O equipamento utilizado foi microscópio binocular da marca Zeiss, modelo AxioVision SE64, acoplado a um computador e câmera digital marca Zeiss, modelo AxoCam MRc. As análises estatísticas foram realizadas com base em cálculos da frequência relativa e concentração de grãos de pólen e esporos identificados, com o emprego dos programas TILIA e TILIAGRAPH (Grimm, 2011). As análises de agrupamento foram estabelecidas por diagramas polínicos confeccionados utilizando-se o programa CONISS (Grimm, 2011; Grimm & Troostheide, 1994).

### **Idades Radiométricas**

Quatro subamostras de 1 cm<sup>3</sup> foram coletadas nas profundidades de 0,48 m, 1,26 m, 2,60 m e 3,20 m, usando-se uma seringa plástica de 20 ml. Três amostras (0,48 m, 2,60 m e 3,20 m) foram datadas no Beta Analytic Radiocarbon Dating Laboratory (Flórida, EUA), enquanto que a amostra 1,26 m foi datada na Universidade da Geórgia (Geórgia, EUA). Em ambos os laboratórios, a técnica utilizada foi a espectrometria de massa acelerada por radiocarbono (AMS). O modelo de idade foi construído com o pacote rBacon v.2.5.8. (Blaauw & Christen, 2011), com base nas quatro datações por radiocarbono usando a calibração SHCAL20 (Hoog *et al.*, 2020).

### **Teor de Matéria Orgânica**

Para a determinação do teor de matéria orgânica foi empregado o método indireto da oxidação do carbono orgânico por via úmida, proposto por Walkley-Black (Tomé Jr., 1997), baseado na determinação do carbono orgânico presente na matéria orgânica da turfa. O teor de cinzas foi obtido através da queima da matéria orgânica, restando apenas os constituintes siliciclásticos da amostra e calculando-se a relação entre o peso do resíduo e o peso inicial da amostra, sendo o resultado expresso em percentagem.

### **Teor de Cinzas**

O teor de cinzas foi obtido como resíduo proveniente da perda por ignição, queimando-se a matéria orgânica em mufla a 650° C por 4 horas e, em seguida, calculando-se a relação entre o peso residual e o peso inicial da amostra, sendo o

resultado, expresso em porcentagem (Allen et al., 1989). Todas as subamostras foram coletadas em intervalos de 6 cm até a profundidade de 2,70 m; a partir daí e em direção à base do núcleo predominaram apenas sedimentos arenosos, e por esta razão não foram analisados.

### **Grau de Humificação**

O método empregado para determinação do grau de humificação da turfa é o de Chambers *et al.* (2010). A cada 3 cm, coletou-se 0,5 cm<sup>3</sup> de subamostra, até a profundidade de 2,73 cm. Cada subamostra foi seca em estufa a 50°C e, após, triturada e homogeneizada. Separou-se 0,2 g do material subamostrado e acondicionado em Becker de 100 ml, onde foi adicionado 80 ml de solução de NaOH a 8% e a mistura aquecida por uma hora. A mistura foi então depositada em balão volumétrico de 200 ml e lavada com água deionizada. Resfriou-se o material até temperatura ambiente quando o mesmo foi agitado e filtrado com filtro corrugado em frascos volumétricos de 100 ml, complementando-se o volume total do frasco com água destilada. O grau de humificação da amostra foi determinado registrando-se a absorvância e a porcentagem de transmissão de luz em um comprimento de onda de 540 µm, valor este referente à faixa máxima de transmissão desejável para a sensibilidade às mudanças hidrológicas (Blackford & Chambers, 1993). Para cada amostra, entre duas a três medições foram realizadas com um espectrofotômetro visível QUIMIS 360-1000 m. A precisão analítica para as medidas foi de 0,8%. Os valores finais estão expressos em termos da porcentagem de absorção de luz, que é proporcional ao grau de humificação da turfa (ou seja, valores baixos mostrando menor grau de humificação e valores altos indicando maior grau de humificação).

## **RESULTADOS**

---

Os resultados desta tese estão apresentados na forma de dois artigos científicos, aqui separados por capítulos.

Capítulo I: **“Landscape changes in the Campos region, southernmost Brazil, since the early deglaciation based on a multi-proxy analysis of a peat bog”**.

Este artigo consiste em uma análise integradora dos diferentes proxies analisados durante a execução da presente tese. Os referidos proxies consistem em análises granulométricas, geocronologia, matéria orgânica e teor de cinzas da turfeira descrita. Foi publicado no periódico *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, volume 623, no ano de 2023. O texto aqui transcrito está formatado de acordo com as normas da revista em tela.

Capítulo II: **“Late Pleistocene-Holocene spatial and temporal distribution of pollen from Río de La Plata Grasslands, South America: paleoecological significance”**.

O artigo versa sobre a identificação dos diferentes grãos de pólen registrados ao longo do testemunho da turfeira de Cacequi. Concomitantemente é apresentada uma análise comparativa da ocorrência espacial e temporal dos grãos identificados ao longo de toda a extensão das PRP. O artigo foi submetido no periódico *Quaternary International*. O texto aqui transcrito está formatado de acordo com as normas da revista em tela.

## CAPÍTULO 1

---

PÁGINA INICIAL MAIL NOTÍCIAS FINANÇAS ESPORTES CELEBRIDADES VIDA E ESTILO CINEMA MAIS...

**yahoo/mail** Localizar mensagens, documentos, fotos ou pessoas Avançado

Voltar     ...

Decision on submission to Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology (3) Yahoo/Enviados

**Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology** [www.ariessys.com](http://www.ariessys.com)  
 De: em@editorialmanager.com  
 Para: Vitor Luiz Bocalon

sábado, 6 de mai. de 2023 às 04:41

Manuscript Number: PALAEO-D-23-00084R1  
 Landscape changes in the Campos region, southernmost Brazil, since the early deglaciation based on a multi-proxy analysis of a peat bog

Dear M.D. Bocalon,

Thank you for submitting your manuscript to Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology.

I am pleased to inform you that your manuscript has been accepted for publication.

Your accepted manuscript will now be transferred to our production department. We will create a proof which you will be asked to check, and you will also be asked to complete a number of online forms required for publication. If we need additional information from you during the production process, we will contact you directly.

We appreciate you submitting your manuscript to Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology and hope you will consider us again for future submissions.

We encourage authors of original research papers to share the research objects – including raw data, methods, protocols, software, hardware and other outputs – associated with their paper. More information on how our open access Research Elements Journals can help you do this is available at [https://www.elsevier.com/authors/tools-and-resources/research-elements-journals?dgcid=ec\\_em\\_research\\_elements\\_email](https://www.elsevier.com/authors/tools-and-resources/research-elements-journals?dgcid=ec_em_research_elements_email).

Kind regards,  
 H.J. Falcon-Lang  
 Editor-in-Chief

Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology

Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology 623 (2023) 111631



Contents lists available at [ScienceDirect](https://www.sciencedirect.com)

Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology

journal homepage: [www.elsevier.com/locate/palaeo](http://www.elsevier.com/locate/palaeo)



Landscape changes in the Campos region, southernmost Brazil, since the early deglaciation based on a multi-proxy analysis of a peat bog

Vitor Luiz Scartazzini Bocalon<sup>a,\*</sup>, João Carlos Coimbra<sup>a</sup>, Soraia Girardi Bauermann<sup>b</sup>,  
 Matias do Nascimento Ritter<sup>c</sup>, Maria Alejandra Gómez Pivel<sup>a</sup>,  
 Marcelo Accioli Teixeira De Oliveira<sup>d</sup>, Gisele Leite de Lima Primam<sup>e</sup>

<sup>a</sup> Departamento de Paleontologia e Estratigrafia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, UFRGS, 91501-970 Porto Alegre, Rio Grande do Sul, Brazil

<sup>b</sup> Rede de Catálogos Polínicos Online, RCPol, 01153-000, São Paulo, Brazil

<sup>c</sup> Centro de Estudos Costeiros, Limnológicos e Marinhos (CECLIMAR, UFRGS), Campus Litoral Norte, 95625-000 Imbê, Rio Grande do Sul, Brazil

<sup>d</sup> Laboratório de Geodinâmica Superficial, Universidade Federal de Santa Catarina, UFSC, 89040-970 Florianópolis, Santa Catarina, Brazil

<sup>e</sup> Curso de Geografia, Universidade Federal da Fronteira Sul, UFFS, 89615-899 Chapecó, Santa Catarina, Brazil

## **Landscape changes in the Campos region, southernmost Brazil, since the early deglaciation based on a multi-proxy analysis of a peat bog**

Vitor Luiz Scartazzini Bocalon<sup>a</sup>, João Carlos Coimbra<sup>a</sup>, Soraia Girardi Bauermann<sup>b</sup>, Matias do Nascimento Ritter<sup>c</sup>, Maria Alejandra Gómez Pivel<sup>a</sup>, Marcelo Accioly Teixeira de Oliveira<sup>d</sup>, Gisele Leite de Lima Primann<sup>e</sup>

<sup>a</sup>Departamento de Paleontologia e Estratigrafia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, UFRGS, 91501-970 Porto Alegre, Rio Grande do Sul, Brazil

<sup>b</sup>Rede de Catálogos Polínicos Online, RCPol, 01153-000 São Paulo, Brazil

<sup>c</sup>Centro de Estudos Costeiros, Limnológicos e Marinhos (CECLIMAR, UFRGS), Campus Litoral Norte, 95625-000 Imbé, Rio Grande do Sul, Brazil

<sup>d</sup>Laboratório de Geodinâmica Superficial, Universidade Federal de Santa Catarina, UFSC, 88040-970 Florianópolis, Santa Catarina, Brazil

<sup>e</sup>Curso de Geografia, Universidade Federal da Fronteira Sul, UFFS, 89815-899 Chapecó, Santa Catarina, Brazil

### **Abstract**

The paleoecological evolution of a peat bog in the Campos region, Rio Grande do Sul State, Brazil, was determined based on an integrated study of stratigraphy, palynology, and geochronology. The peat bog is constituted of silty-clay material, with high levels of ash (residue on ignition) and organic matter content that was deposited on a sandy substrate. Palynological analysis show that grassland taxa dominated from the base of the core at the early deglacial (~17.4 cal kyr B.P.) to the Present. Four pollen zones were identified: CCQ I Zone (3.20 m to 2.50 m, covering the deglaciation (Upper Pleistocene), corresponding to dry climate conditions; CCQ II Zone (2.50 m to 1.60 m, latest deglaciation and Early Holocene), associated with a slightly humid climate; CCQ III Zone (1.60 m to 0.50 m, mid to late Holocene), established under very humid climatic conditions; and CCQ IV Zone (0.50 m to 0.00 m, last ~500 years), representative of a low-humidity period. The floristic composition of grassland communities observed throughout the drill core is very similar to that found in the region where the municipality of Cacequi is located, in which Poaceae, Asteraceae, Fabaceae, and Rubiaceae were identified as the most abundant families. Consequently, although in the last ~17.4 cal kyr B.P. the humidity oscillated, the

grassland vegetation remained predominant, although not being represented by the same families, as indicated by changes in the floristic composition among the four pollen zones. Palynological and geochronological data, when compared with other sectors of the Río de la Plata Grasslands, show a predominance of dry conditions over the studied interval. From the early deglacial until the Present, climatic fluctuations shaped the diversity of plant communities and affected the particularities of each sector of the Río de la Plata Grasslands, including the Campos region. High ash content was detected along the core, similar to what occurs with other peatlands already studied in Brazil. In the peat bog analyzed Poaceae is the predominant family, being known as a major producer of biomineralized structures, which would explain the high ash content recorded.

**Keywords:** Río de La Plata Grasslands; deglaciation; Late Pleistocene, Holocene; paleoclimatology; palynology

## 1. Introduction

The Río de la Plata Grasslands (RPG), located in south-central South America, is one of the largest areas composed of grasslands in the world (Paruelo et al., 2007; Dixon et al., 2014; Andrade et al., 2018a, b). The Campos region represents the extension of this large South American ecoregion in Brazilian territory, where it is also known as Northern Campos or Subtropical Campos (Paruelo et al., 2007; Overbeck et al., 2009; Bencke et al., 2016; Gorosábel et al., 2020). The Campos region shows a great diversity of plants associated with grasslands, notably concerning the families Poaceae, Asteraceae, Amaranthaceae, Rubiaceae, Fabaceae, and Apiaceae (Perelman et al., 2001; Boldrini et al., 2010; Overbeck et al., 2015; Bencke et al., 2016; Hasenack et al., 2019). According to palynological studies, this vegetational association was shaped during the Quaternary after the ending of the Last Glacial Maximum (LGM), which occurred between 23,000 and 19,000 years B.P. (Bauermann et al.; 2005, Behling et al.; 2005, Tonello and Prieto, 2010; Mourelle and Prieto, 2016; Gu et al., 2018).

Paleoecological studies in the RPG are concentrated in Argentina, with few publications in Uruguay (Mourelle and Prieto, 2016; Gu et al., 2018) and Rio Grande do Sul State, Brazil (Burjack and Marques-Toigo, 1980; Bauermann et al., 2005; Behling et al., 2005; Ribeiro et al., 2020). Since the pioneering work of Erdtman (1934), the study of pollens and spores preserved in peatlands has proved to be an important

tool in paleoecological interpretations (Charman, 2002). This is because these environments contain abundant macroscopic and microscopic plant fossil remains, notably pollens, non-pollen palynomorphs, and biomineralized cellular and vascular plant structures (Katz, 2014; 2015; Trembath-Reighert, 2015; Kumar et al., 2021), providing a set of remarkable paleoenvironmental information on the peatland and also on the surrounding landscape (Kurki 1982; Charman 2002; Rydelek, 2013). These studies, associated with geochronological and stratigraphic data, have contributed to detailing the paleoecological and paleoclimatic changes that occurred during the Quaternary in the RPG (e.g. Iriando and Garcia, 1993; Borrromei, 1995; Behling et al., 2005; Iriarte, 2006; Tonello and Prieto, 2010; Medeanic and Correa, 2010; Evaldt et al., 2014; Mourelle and Prieto, 2016; Gu et al. 2018).

This work contributes to the knowledge of evolutionary processes related to the vegetational associations in the Campos region along the late Quaternary. It is a multi-proxy investigation based on geochronology, sedimentology, palynology, and organic matter and ash content analyses applied to samples of a drill core recovered from a peat bog located in the Cacequi municipality, State of Rio Grande do Sul (RS), Brazil. Through the entire studied interval since the early deglaciation, grassland plant assemblages predominate. This is the first peat bog analyzed in the Campos region with a multi-proxy approach since the previous ones were retrieved in the Coastal Plain of RS, such as the Águas Claras peat bog in Viamão (Burjak and Marques-Toigo, 1980; Ribeiro et al., 2020), Capão do Leão (Neves and Bauermann, 2004), Rio Grande (Bauermann et al., 2005) and Tapes (Salgado et al., 2021) municipalities. In the interior of RS only one peat bog was studied based on palynological and geochronological analysis (São Francisco de Assis municipality, Behling et al., 2005).

## **2. Studied area**

A drill core was taken from a peat bog in the municipality of Cacequi, RS, southern Brazil (Figure 1). Cacequi, located in the central-western RS, is characterized by distinct geomorphological features such as hills and plains (Nascimento and Souza, 2010; Rademann et al., 2016), lying over Mesozoic sedimentary rocks of the Paraná Basin and Quaternary sediments (Wildner et al., 2006; Eltink et al., 2017; Silva et al., 2017; Oliveira et al., 2018; Oliveira et al., 2020). Quaternary deposits occur along the flood plains of the main rivers in the area and are composed predominantly of sand and gravel (Da-Rosa, 2009; Medeiros et al., 2009). The peatland analyzed is associated with these fluvial deposits where the relief is predominantly flat to gently



undulated, with an average altitude of 97 m above sea level. The peat bog is located at the geographic coordinates of 29°52'37.3" S and 54°50'13.2" W presenting an elliptical shape, whose major and minor axes measure 55.1 m and 34.2 m, respectively. The minor axis direction is N57°W, while the major axis direction is N30°E. The peat bog covers a total surface area of 1.5 km<sup>2</sup>.

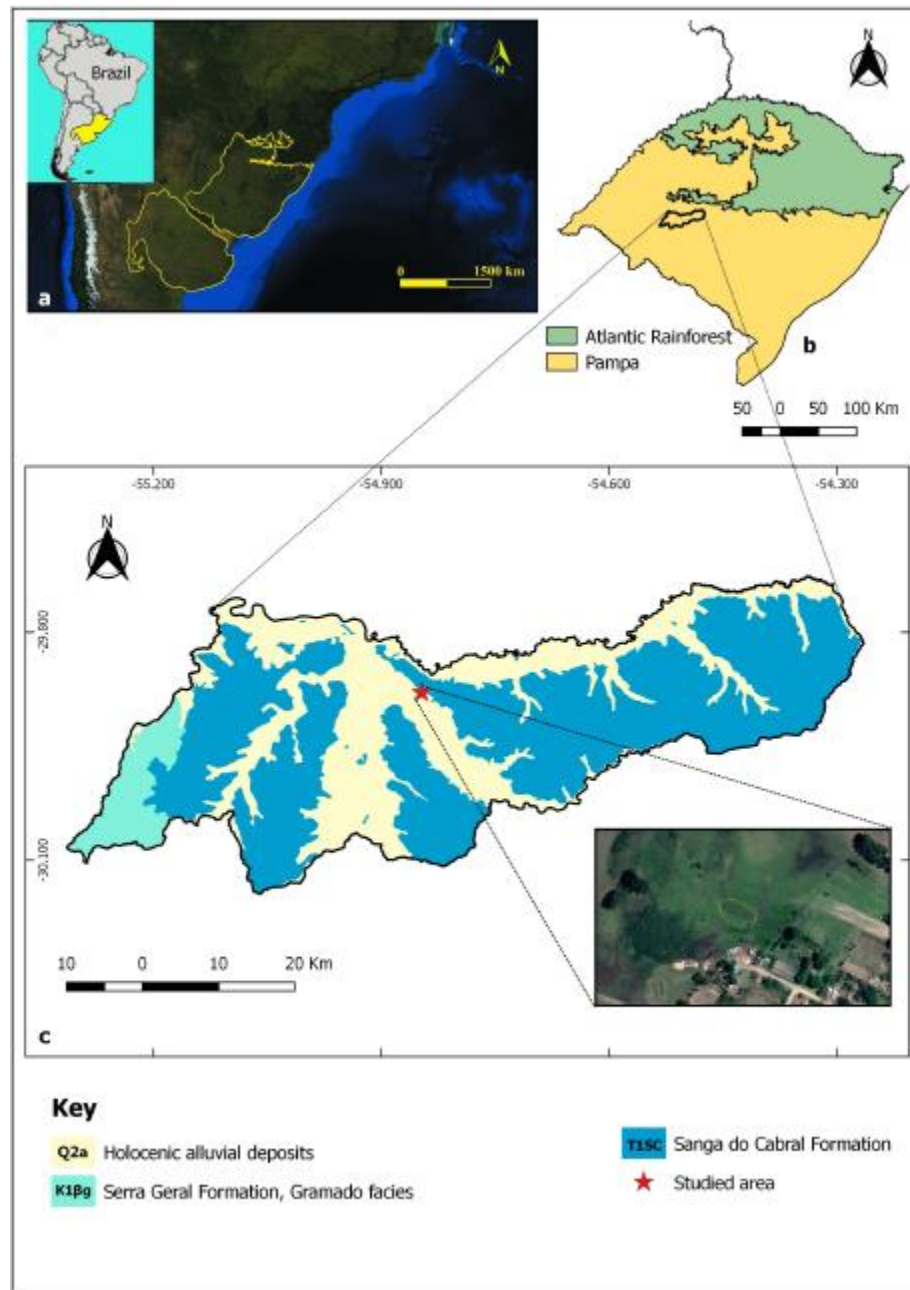


Fig. 1: a) Location map of the RPG (Paruelo et al., 2007); b) Campos region and Cacequi Municipality (IBGE, 2019); c) geological map of Cacequi Municipality and sampling location of the analyzed peat bog (modified from Wildner et al., 2006).

### 3. Current climate and vegetation

The municipality of Cacequi is under a transition zone between Subtropical Ib and Subtropical II climate types (Rossato, 2020). The annual average temperature varies between 17° and 23°C, with the warmest average temperature between 23° and 29°C, and the coldest average between 11° and 14°C. The rainfall is well distributed throughout the year with average values varying between 1,400 and 1,700 mm, being more abundant in austral autumn (March, April, and May) and spring (September, October, and November). During austral winter (June, July, and August) the driest season of the year occurs (Reboita et al., 2012). Such climatic characteristics, however, may change in periods of El Niño-Southern Oscillation (ENSO) and La Niña (Grimm et al., 2000).

Regarding the vegetation cover, the studied area is part of an ecological domain where Poaceae and Asteraceae predominate (Hasenack et al., 2010; Andrade et al., 2018). Around 53 species have been identified in these grasslands, distributed in more than 43 genera and 16 families (Boldrini et al., 2015; Andrade et al., 2018). The most common species and genera are *Axonopus pressus*, *Elionorus*, *Schizachyrium microstachyum* (Poaceae), *Senecio*, *Baccharis coridifolia* (Asteraceae), *Bulbostylis* (Cyperaceae), *Psidium*. (Myrtaceae), *Cardionema ramosissima* (Caryophyllaceae), *Borreria verticillata* (Rubiaceae), and *Butia paraguayensis* (Arecaceae; Hasenack et al., 2010; Boldrini et al., 2015; Andrade et al., 2018). The Campos region vegetation is characterized by a predominance of herbaceous plants showing characteristics that make them totally or partially adapted to dry environments, although current climatic conditions favor the development of forests (Verdum 2016; Buriol et al. 2019). The anthropic actions carried out in the area comprise activities such as cattle, goat and sheep farming (related to the trampling of animals and forage production) and forestry, which have systematically mischaracterized the original plant cover. As a result of silviculture, exotic species were introduced, mainly *Axonopus*, *Pinus* and *Eucalyptus* spp. (Trindade et al., 2008; Santos, 2012; Boldrini et al., 2015; Hasenack et al., 2019).

### 4. Methods

#### 4.1 Field sampling

The drill core is 3.20 m long and was collected with a Russian Peat Borer (Moore et al., 1998) and packed in PVC tubes. Some of the physical characteristics of the material were identified in the field, such as the color of sediments (Munsell Soil Color

Chart, 1994), texture to the touch, presence or absence of physical discontinuities, and plasticity of the material.

#### **4.2. Geochronology**

Three 1 cm<sup>3</sup> subsamples at depths of 0.48 m, 2.60 m, and 3.20 m were collected using a 20 ml plastic syringe. Radiometric dating was performed at the Beta Analytic Radiocarbon Dating Laboratory (Florida, USA). The technique used was radiocarbon accelerated mass spectrometry (AMS), and the ages were calibrated by BetaCal 4.20 with the SHCAL20 Database (Hogg et al., 2020). The age-depth model was built in the R program using the rBacon package (R Core Team, 2020).

#### **4.3. Sedimentological analysis**

Subsamples were collected at 10-cm intervals and processed using the traditional method proposed by Tucker (1988). The sieving method separated the granulometric fraction larger than 0.062 mm, while the pipetting method was adopted for the fine fraction. The textural classification proposed by Flemming (2000) was used, being better applicable in muddy sediments.

#### **4.4. Organic matter content**

The traditional Walkley-Black method was applied (Walkley & Black, 1934), oxidizing the organic carbon with potassium dichromate and adding concentrated sulfuric acid. Potassium dichromate was added in a known amount greater than organic carbon in the sample. The excess oxidizing agent from the reaction was determined by titration with ferrous sulfate. Subsamples were collected at 10-cm intervals.

#### **4.5. Ash content**

The ash content was obtained as residue from loss on ignition, burning the organic matter in a muffle at 650° C for 4 hours and then calculating the relationship between the residual weight and the initial weight of the sample, with the result, expressed in percentage (Allen et al., 1989). All subsamples were collected at an interval of 6 cm up to a depth of 2.70 m; from there and towards the base of the core, only sandy sediments predominated (data available on request).

#### **4.6. Palynological analysis**

Subsamples equivalent to 1 cm<sup>3</sup> were collected at 6 cm intervals. The methodology used was acetolysis (Faegri and Iversen, 1975), which consists of treatment with HCl and HF acids to remove mineral matter and humic constituents present in the sampled materials, as well as adding two tablets of *Lycopodium clavatum*. After the chemical treatment, four slides were mounted with glycerine for each subsample. A minimum of 300 pollen grains were counted and identified in each slide analyzed under an optical microscope with a 400x magnification lens. Pollen grains were identified by comparison using previous articles as reference (Salgado-Labouriau, 1973; Barth-Schatzmayr and Melhem, 1988; Bauermann et al., 2005; Punt et al., 2007; Medeanic and Corrêa, 2010; Evaldt et al., 2014; Chase et al., 2016; Radaeski et al., 2016; Mourelle et al., 2018) and the Pollen Catalog Network (RCPol) reference catalog. Pollen's taxonomic classification followed the system established by the Angiosperm Phylogeny Group IV (Chase et al., 2016). After pollen identification and quantification, digital photographic documentation was performed using a Zeiss binocular microscope model AxioVision SE64, coupled to a computer and Zeiss digital camera model AxioCam MRc.

#### 4.7. Statistical analyses

Pollen sums were calculated based on all taxa present and belonging to different categories (herbs, trees and aquatics). Statistical analyses were based on calculations of the relative frequency of identified pollen grains using the TILIA and TILIAGRAPH programs (Grimm and Troostheide, 1994). Cluster analysis was established by pollen diagrams using the programs CONISS (Grimm, 2011) and R (R Core Team, 2022). Pollen zoning was initially based on a cluster analysis of raw data values with double standardization of Wisconsin and Bray-Curtis distance using the UPGMA method (Unweighted Pair Group Method using Arithmetic averages). The R packages “dendextend” (Galili, 2015) and “vegan” (Oksanen et al., 2022) were adopted to produce the dendrogram and the similarity matrices, respectively. Wisconsin standardization scales the abundance of each taxon (matrix containing all biological data) to its maximum values throughout the core (Mander et al., 2010). This equalizes the possible effects of rare and/or very abundant taxa (Bray and Curtis, 1957). Based on the “cutree” function of the R package “dendextend” (Galili, 2015), pollen zonation was divided into four groups (similarity less than 0.6). A permutation analysis of variance (PERMANOVA) was performed to test whether the groups are statistically

different. A Non-Metric Multidimensional Scaling (NMDS) was also carried out to recognize and interpret assemblage-level patterns in a two-dimensional space.

## 5. Results

### 5.1. Geochronology

The drill core covers the last ~17,4 cal yr B.P., spanning the late Upper Pleistocene stage and the Holocene series (see Cohen et al., 2021). The age and depth model (Figure 2) shows a sedimentation rate relatively uniform between depths of 3.20 m and 0.50 m (calibrated ages between 17,427 cal yr B.P. and 523 cal yr B.P., Table 1), with a mean rate of 16 cm/kyr. Between 0.50 m and 0.00 m (sampling year in 2014), the deposition rate is higher, equivalent to 85 cm/kyr. This uppermost level corresponds to the peat acrotelm, where oxidation processes are more intense and sediment compaction is lower (Holden, 2005). Given the limited number of radiocarbon datings and, therefore, limited age control, we refer our results in broad time-windows instead of precise age-intervals.

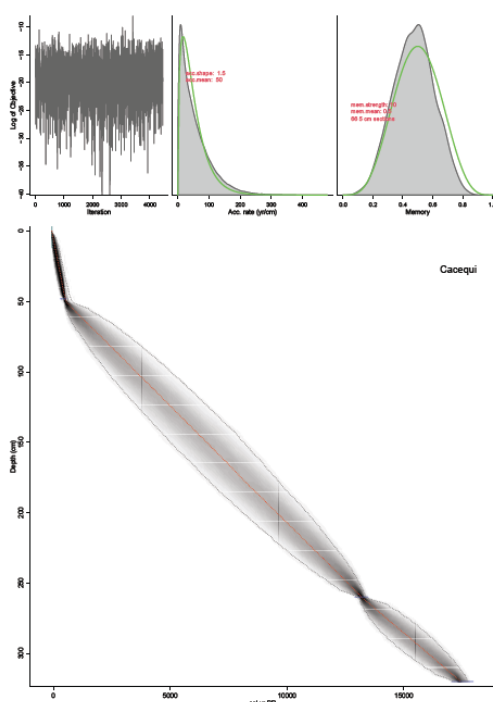


Fig. 2: Age-depth model for the 3.20 m sediment core sampled (bottom panel). The mean age-depth model is indicated by the red stippled line, the 95% confidence ranges are indicated by dark-grey stippled curves, and the three calibrated dates are shown in blue. Upper panels from left to right display (1) the Markov chain Monte Carlo (MCMC) iterations, the prior (green curves) and posterior (grey histograms) distributions for (2) the sedimentation rate and (3) memory.

Table 1. Conventional radiocarbon and calibrated ages (in yr B.P.) obtained for the Cacequi peat bog samples based on SHCal20 (Hogg et al. 2020).

Depth (m)	Laboratory ID	Conventional age ( <sup>13</sup> C yr BP)	2-sigma calibrated ages ranges (cal yrs BP)	Median age (cal yr BP)
0.48	Beta-351385	460 ± 30	520 to 446 (83.9 %) 357 to 333 (11.5%)	494
2.60	Beta-349807	11,320 ± 60	13,301 to 13,101	13,191
3.20	Beta-35210	14,390 ± 50	17,796 to 17,312	17,427

### 5.2. Granulometry, ash content and organic matter

The sedimentary profile is constituted by fine sediments, with mud being predominant (Figure 3). The vertical variations of granulometry and ash and organic matter contents along the analyzed profile are shown in Figure 4 and data referring to granulometry and organic matter are shown in Table 2.

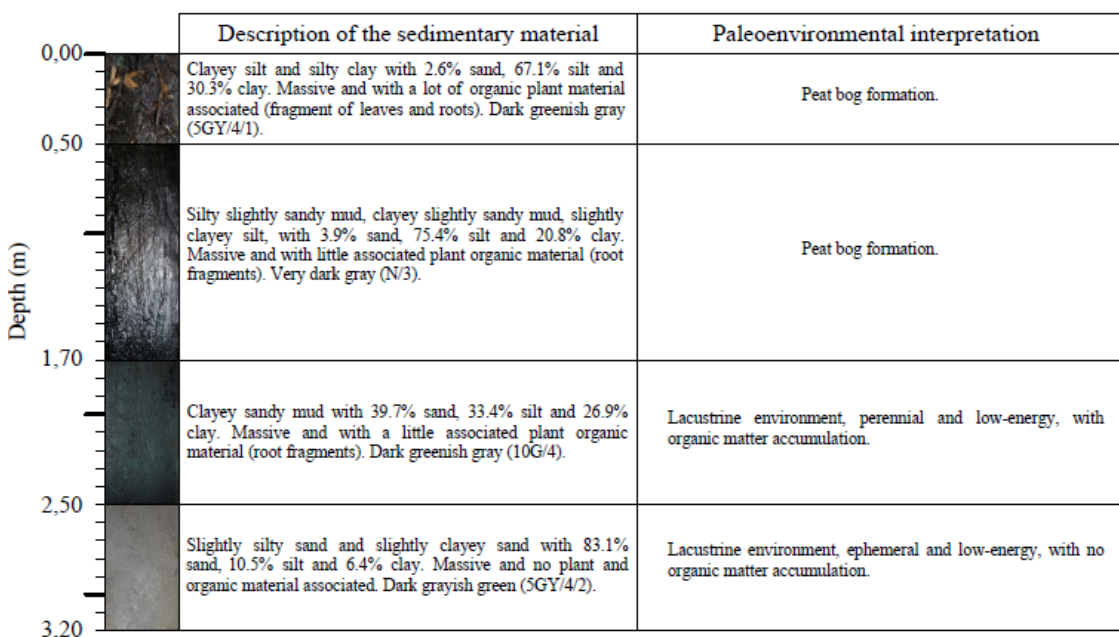


Fig. 3: Sedimentary profile showing the variation in mean grain size and paleoenvironmental interpretation of Cacequi peat bog.

Sandy fractions only occur at the base of the core, between 3.20 and 2.50 m. At this level, the sedimentary material is characterized by slightly silty sand to slightly clayey sand (83.1% sand, 10.5% silt, and 6.4% clay). The color is dark

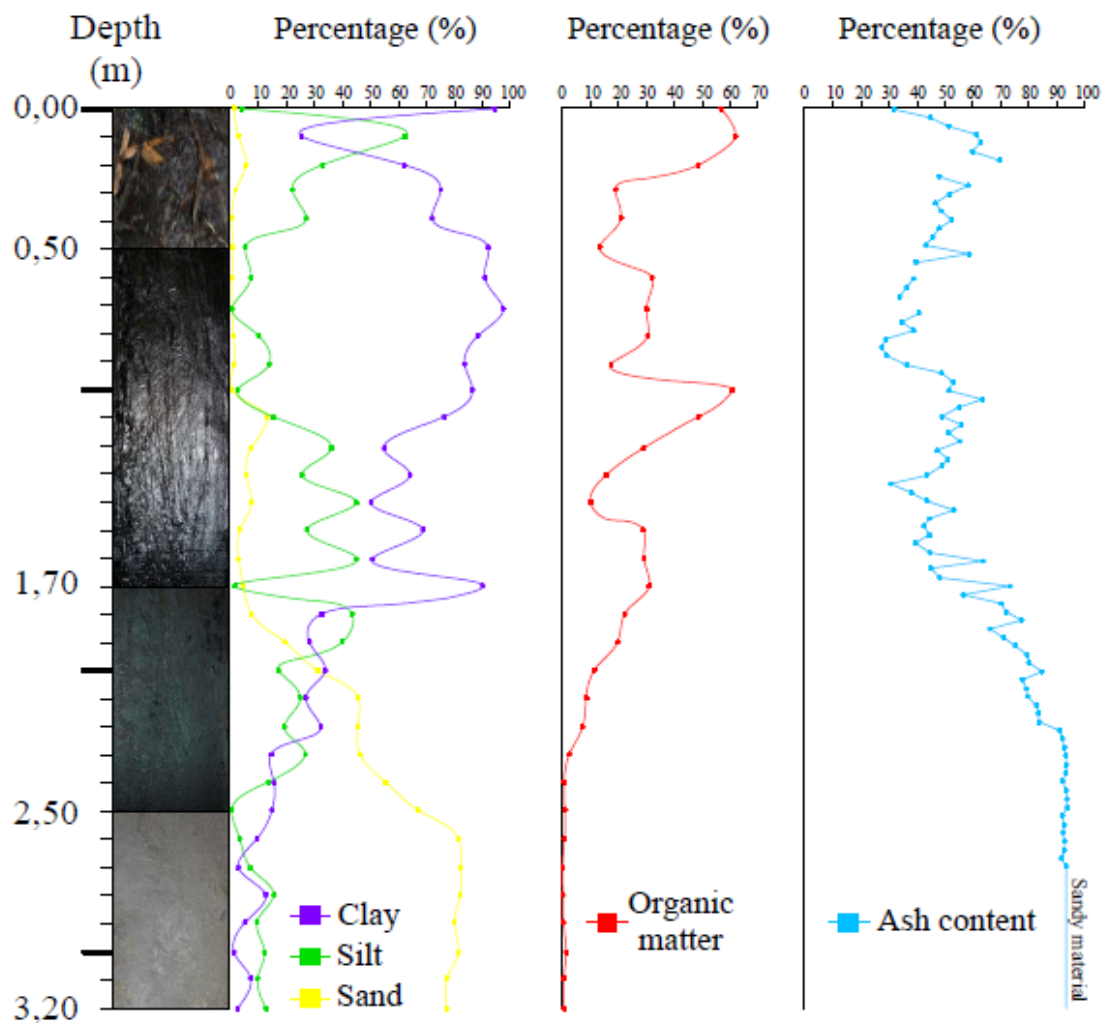


Fig. 4: Columnar profile of Cacequi peat bog showing sedimentary succession, organic matter, and ash content.

grayish green (5GY/4/2) and no plant remains were identified. The average percentage of organic matter content is 1.8%, accompanied by a maximum ash content of 96.93%. At the top of this level, the sediment remains massive, but presents a vertical gradation to dark greenish gray (10G/4) massive clayey sandy mud, which extends to a depth of 1.70 m.

The 2.5-1.70 m interval is characterized by small amounts of decomposed fragmented plant remains and the intercalation of dark greenish gray (10G/4) clayey sandy mud. More precisely, the sedimentary material comprises 39.7% sand, 33.4% silt, and 26.9% clay. The organic matter reaches an average value of 15.03% and ash content reaches 86.19%. This interval indicates the

Table 2. Values (in percentage) of granulometry and M.O. of the samples referring to the Cacequi peat bog.

SAMPLE	DEPTH (m)	% SAND	% SILT	% CLAY	% O.M.
1	0.0	1.33	94.96	3.70	58.19
2	0.1	2.49	35.26	62.25	62.90
3	0.2	5.18	62.43	32.39	49.11
4	0.3	1.38	75.79	22.83	20.00
5	0.4	0.53	72.40	27.07	21.24
6	0.5	0.81	92.59	6.59	14.50
7	0.6	0.65	90.66	8.69	33.86
8	0.7	1.43	97.81	0.76	30.31
9	0.8	1.10	88.61	10.29	30.25
10	0.9	1.17	84.20	14.63	18.58
11	1.0	10.33	86.33	3.33	52.64
12	1.1	8.05	76.52	15.43	45.83
13	1.2	6.04	56.44	37.52	30.65
14	1.3	8.66	64.48	26.87	17.14
15	1.4	4.04	50.19	45.77	11.70
16	1.5	3.06	69.12	27.82	30.80
17	1.6	4.52	50.28	45.20	31.85
18	1.7	7.41	90.49	2.10	33.90
19	1.8	20.63	34.87	44.51	24.10
20	1.9	32.14	28.69	39.17	22.54
21	2.0	47.84	34.72	17.45	13.65
22	2.1	45.99	27.54	26.47	10.70
23	2.2	46.59	33.14	20.27	9.03
24	2.3	56.05	15.21	28.74	4.75
25	2.4	67.73	16.49	15.78	1.58
26	2.5	83.09	16.15	0.76	2.84
27	2.6	84.27	11.07	4.66	2.17
28	2.7	84.42	4.17	11.41	1.53
29	2.8	81.20	14.27	4.53	0.80
30	2.9	83.53	8.23	8.24	0.70
31	3.0	79.47	2.66	17.88	2.41
32	3.1	78.85	9.38	11.77	1.97
33	3.2	80.40	4.87	14.73	1.71

implantation of reducing conditions in the environment, favoring the preservation of organic matter in relation to the previous interval.

Between 1.70 and 0.50 m, the sediments are characterized by silty slightly sandy mud, clayey slightly sandy mud and slightly clayey silt, with 3.9% sand, 75.4% silt and 20.8% clay. The material is massive with a few plant fragments associated (root fragments) and with a very dark gray (N/3) color. The organic matter reaches an average value of 28.4% and ash content reaches 50.38%. Both the lower and upper contact are gradual. The higher organic matter content and consequent darker color compared to the previous level, is associated with fine grain-sizes which favor reducing environmental conditions.

In the uppermost portion, above 0.40 cm, the sediment consists of clayey silt and silty clay, with 2.6% sand, 67.1% silt and 30.3% clay. It has a dark greenish-gray

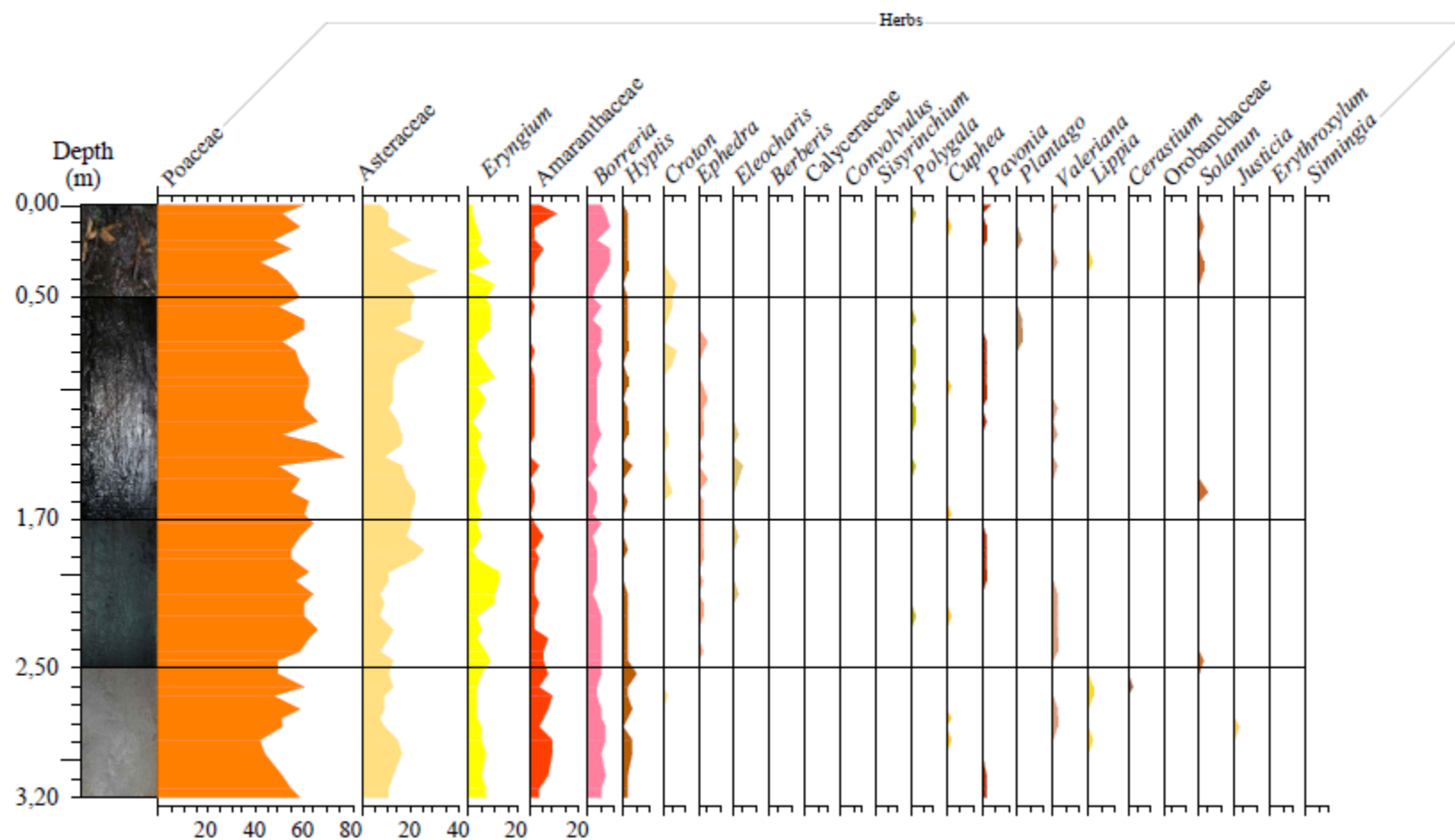


color (5GY/4/1) and a large amount of fragmented plant remains (leaves and roots) associated. This level has the highest average of organic matter (46.05%) which is associated with an ash content of 58.47%. This ash content greater than 50%, classifies as a highly silty peat bog (Okruzko, 1994).

### 5.3. Palynology

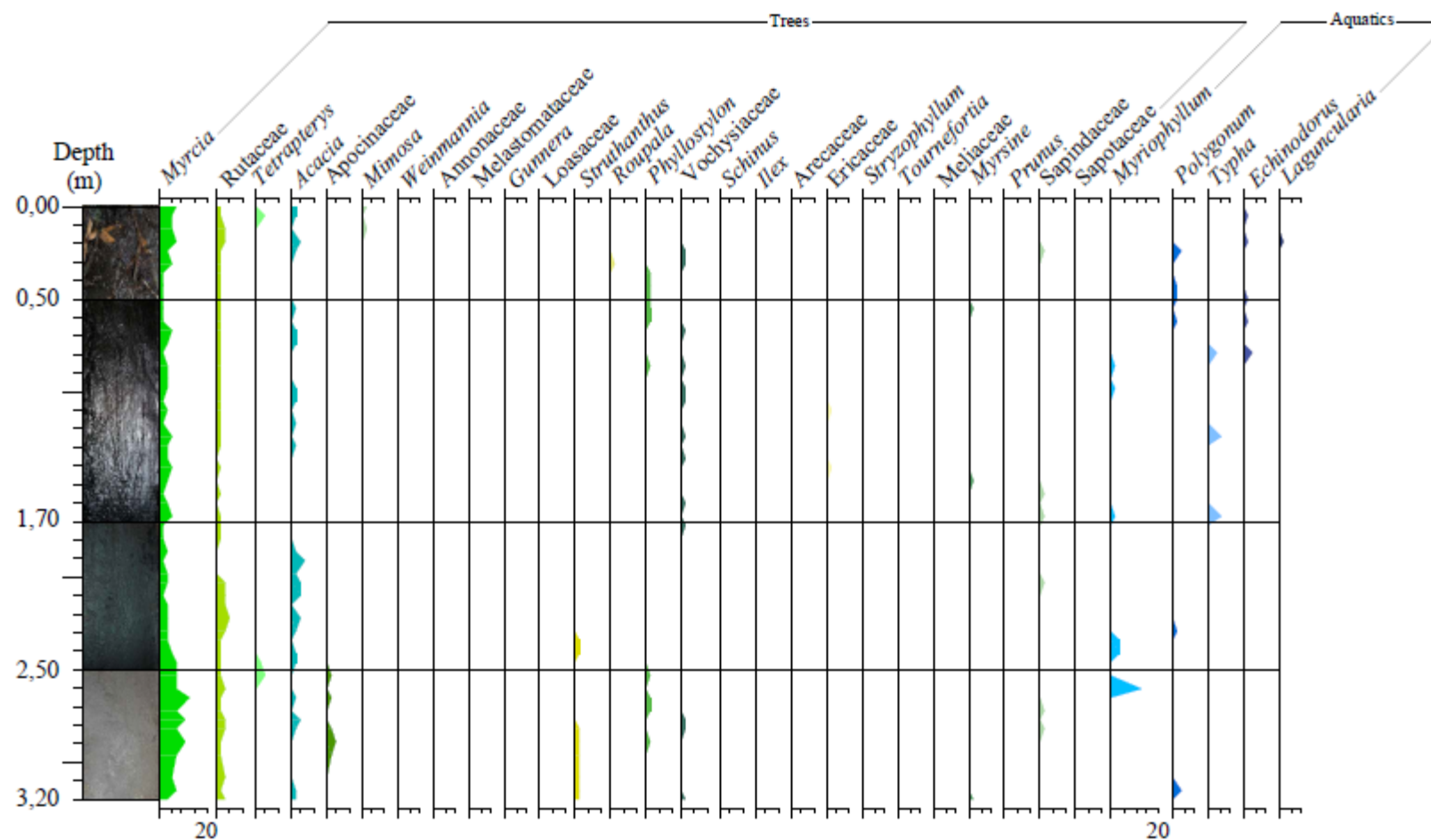
Palynological data show a predominance of grasses and herbs throughout the sedimentary profile. Despite this apparent homogeneity, some variation occurs in the plant assemblages. CONISS analysis shows four distinct pollen zones (Figures 5A, 5B, 5C and 5D), which are also indicated in the cluster analysis (Figure 6A), being statistically different from each other ( $p=0.002$ ,  $F=5.1349$ ). Considering the four pollen zones, only one is suggested by a single sample, being indicated both in the CONISS analysis and in the cluster analysis. Cluster analysis also reveals that the closest taxa within each zone are the most common and abundant palynomorphs. Finally, NMDS analysis once again revealed the same four pollen zones, as well as overlapping pollen groups with sample clusters throughout the core (Figure 6B).

CCQ I Zone (3.20 m – 2.50 m) shows a predominance of grassland taxa, with Poaceae (40 – 55%) and Asteraceae (5 – 15%) occurring in greater quantity. Four taxa comprise between 5 and 10% (*Eryngium*, *Amaranthaceae*, *Borreria* and *Hyptis*), while eleven reach values below 5% (*Croton*, *Cuphea*, *Pavonia*, *Valeriana*, *Lippia*, *Cerastium*, *Solanum*, *Justicia*, *Orobanchaceae*, *Erythroxylum* and *Sinningia*). The most abundant tree constituent is *Myrcia*, between 5 and 20%, accompanied by Rutaceae, *Tetrapterys*, *Acacia* and Apocinaceae, each with 5%. *Struthanthus*, Melastomataceae, *Phyllostylon*, *Myrsine*, Vochysiaceae and Sapindaceae occur as less than 5%. Aquatic taxa are represented by *Myriophyllum* and *Polygonum*, both between 5 and 15%. Great diversification is observed regarding ferns and bryophytes, but below 20%. The most representative taxa for each of these groups are *Blechnum* and *Selaginella* (ferns), as well as *Anthoceros*, *Phaeoceros* and *Sphagnum* (bryophytes). *Botryococcus* and *Closterium* are the predominant algae, representing more than



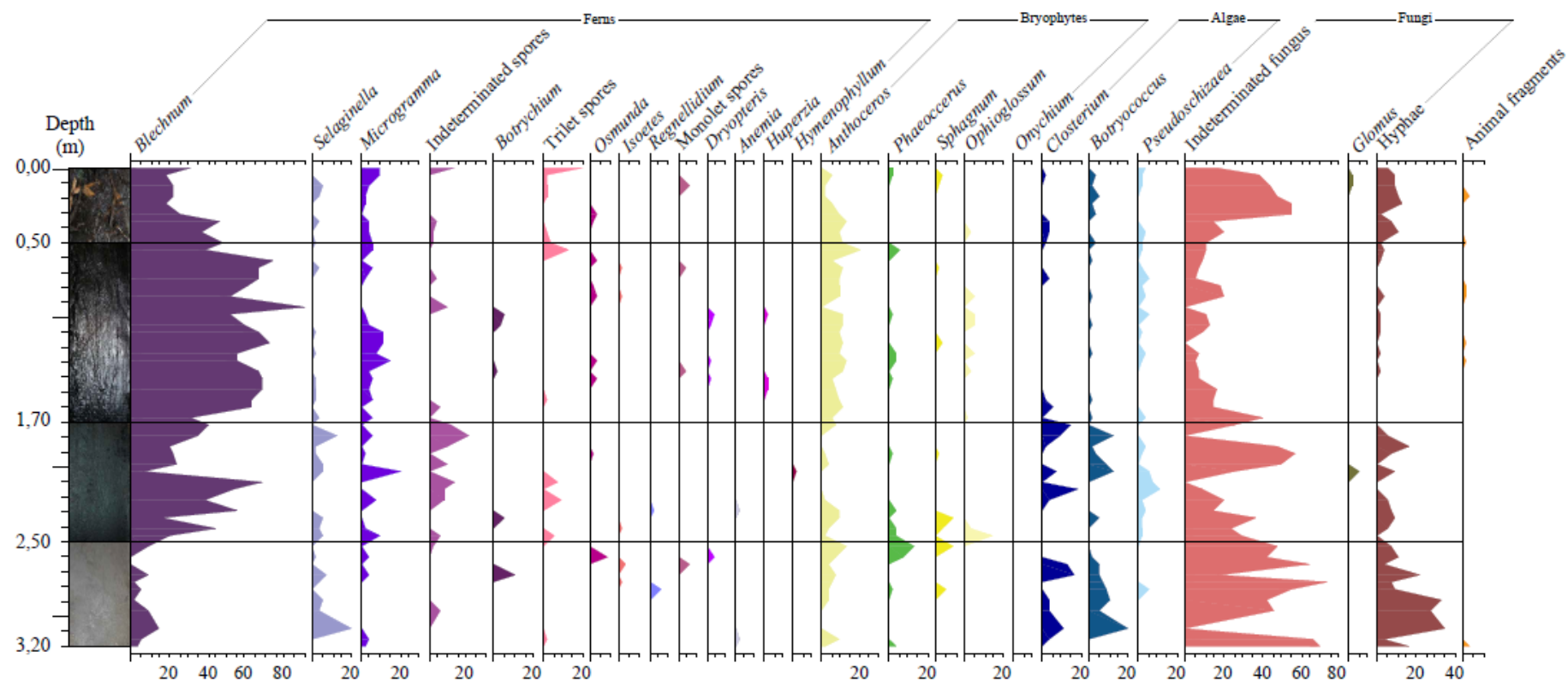
a

Fig. 5: Percentage diagram of the palynomorphs showing the frequency of pollen grains, spores and algae taxa from the core grouped into herbs (5a), trees and aquatics (5b), ferns, bryophytes, algae, and fungi (5c), sum and pollen zones (5d).



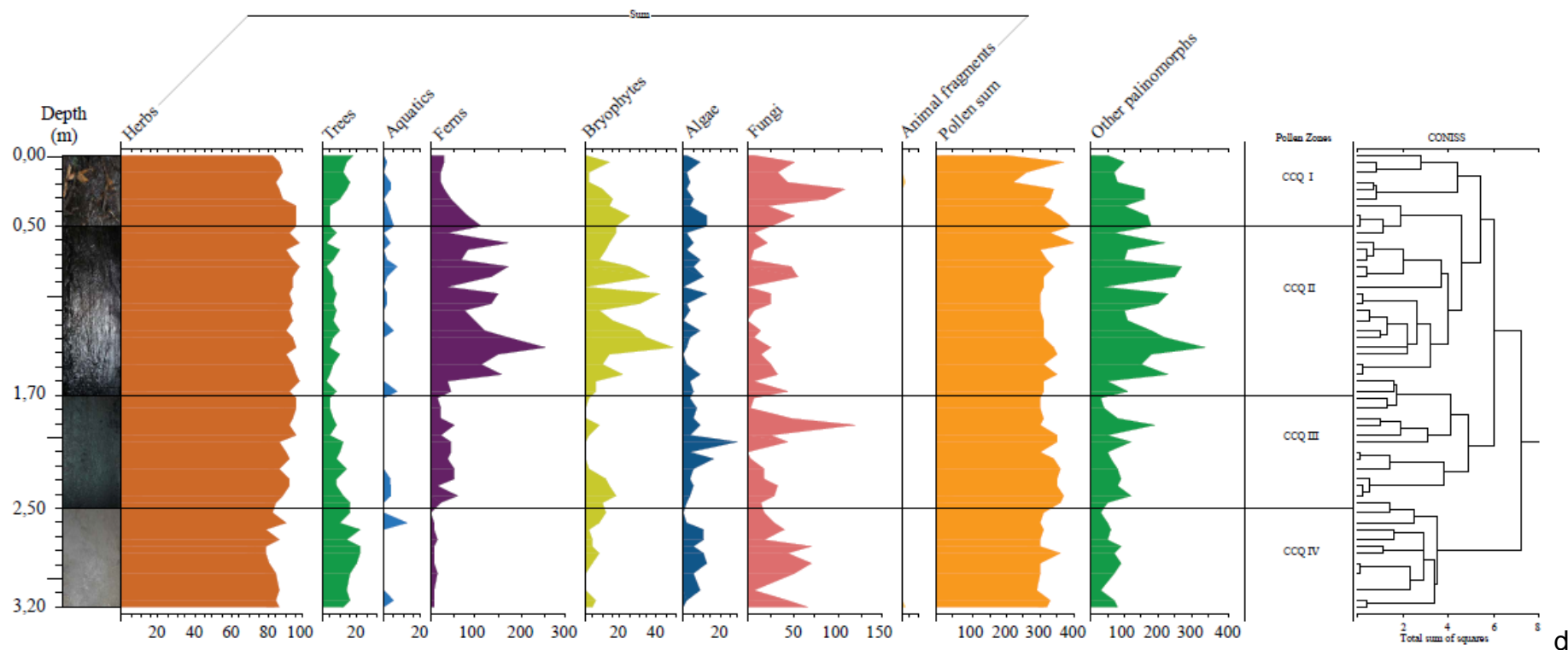
b

Fig. 5: (Continued)



C

Fig. 5: (Continued)



d

Fig. 5: (Continued)

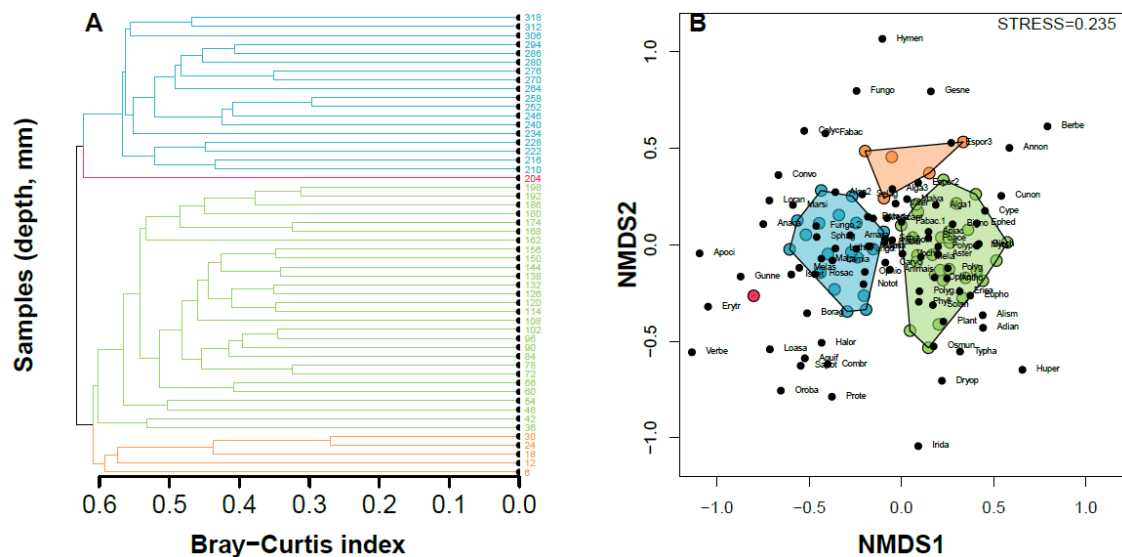


Fig. 6: Cluster analysis from Cacequi peat bog and the four pollen zones indicated by pollen similarities (A) and NMDS analysis pointing out previously distinct groups as well as the overlap of pollen groups with the clustering of samples along the core (A). The cores representing the cluster groups (B).

20%. Fungi (more than 75%) and hyphae (20%) are abundant at this pollen zone. Arthropods fragments were identified in the base of this zone.

CCQ II Zone (2.50 m – 1.60) is characterized by an increase in both Poaceae (55 – 65%) and Asteraceae (10 – 25%) as well as *Eryngium* L. (5 – 15%). Amaranthaceae (5 – 10%) and *Borreria* (5%) remain stable, while taxa with less than 5% are more diversified (*Hyptis*, *Ephedra*, *Eleocharis*, *Polygala*, *Cuphea*, *Pavonia*, *Valeriana*, *Convolvulus*, *Orobanchaceae*, *Erythroxyllum* and *Sinningia*). *Myrcia* and *Acacia* represents arboreal taxa (5 – 10%), in addition to Rutaceae, *Mimosa*, Apocynaceae, *Weinmannia* and Sapotaceae each with 5%. *Struthanthus*, *Phylostylon*, Vochysiaceae and Sapindaceae occur lower than 5%. Aquatic taxa show little diversification, being represented by *Myriophyllum* in 5%, and *Typha* and *Polygonum* below 5%. Ferns and bryophytes show little change, with an increase in *Blechnum* (up to 70%) at the zone base but decreasing again towards the top (15 – 40%). No major changes were noted regarding to bryophytes, except for a decrease in the amount of *Anthoceros*. The algae constituents are still represented mainly by *Botryococcus* (both with up to 20%), but there is a pronounced increase in *Pseudoschizaea* (15%), which in the previous zone were less than 5%. Fungi decreased (55%) while hyphae remained unchanged (20%).

CCQ III Zone (1.60 m – 0.50) is also characterized by an increase in Poaceae (50 – 75%) and Asteraceae (15 – 30%), followed by a slight decrease in *Eryngium* (10%); Amaranthaceae, *Croton*, *Borreria*, *Ephedra*, *Eleocharis* with 5% and *Hyptis*, *Polygala*, *Cuphea*, *Pavonia*, *Plantago*, *Valeriana*, *Solanum*, *Convolvulus*, *Sisyrinchium*, *Berberis*, Orobanchaceae, *Erythroxyllum* and *Sinningia* appear with less than 5%. *Myrcia*, the major arboreal constituent, shows a decrease (5%), as well the other trees (*Weinmannia*, *Gunnera*, Loasaceae, Rutaceae, *Acacia*, *Phylostylon*, Vochysiaceae, Ericaceae, *Stizophyllum*, *Mimosa*, *Tournefortia*, *Myrsine*, *Prunus*, and Sapindaceae), with less than 5%. Greater diversification is observed among aquatic constituents, being *Typha* (5%) the most abundant, followed by *Polygonum*, *Echinodorus*, and *Myriophyllum*, with less than 5%. There is a significant increase in *Blechnum* (35 – 75%), values that remain relatively constant throughout the pollen zone. *Regnellidium*, *Anemia* and *Hymenophyllum* are no longer detected. Regarding bryophytes, the taxa remain the same, with a slight increase in *Anthocerus* Algae shows an evident decrease, being represented by *Closterium* and *Pseudoschizaea*, both with 5%. There is also a remarkable decrease in fungi (20%) and a smaller one in hyphae (15%). Arthropods fragments and remains of plathyhelminthes eggs were identified in this zone.

CCQ IV Zone (0.50 m – 0.00 m) shows Poaceae (40 – 60%) and Asteraceae (5 – 20%) still predominating, followed by Amaranthaceae (5 – 15%), *Eryngium* (5 – 10%) and *Borreria* (10%). *Hyptis*, *Croton*, *Polygala*, *Cuphea*, *Pavonia*, *Plantago*, *Valeriana*, *Lippia*, *Solanum*, Calyceraceae, Orobanchaceae, *Erythroxyllum* and *Sinningia* occur in less than 5%. Arboreal taxa are represented by *Myrcia* (5 – 10%) along with Rutaceae, *Tetrapterys* and *Acacia* each with 5%, while *Mimosa*, *Weimannia*, Annonaceae, *Roupala*, *Phylostylon*, Vochysiaceae, *Schinus*, *Ilex*, Arecaceae, *Stizophyllum*, Meliaceae, Sapindaceae and Sapotaceae occur with values below 5%. The most abundant aquatic constituent is *Polygonum* (5%), followed by *Echinodorus*. and *Laguncularia* with less than 5%. A decrease in *Blechnum*. (25 – 35%) is observed, as well as the absence of *Botrychium*, *Isoetes*, *Regnellidium* ~~*diphyllum*~~, *Anemia* and *Hymenophyllum*. *Ophioglossum* and *Sphagnum* is registered in the same quantities. *Botryococcus* Kützing and *Closterium* (each with 5%) are the predominant algae, occurring a slight decrease of *Pseudoschizaea*. A conspicuous increase in fungi (60%) is observed, while hypha remains at 15%. As in the previous zone, fragments of

arthropods and remains of plathyhelminthes eggs were identified. Table 3 shows a summary of vegetation changes and associated climatic events in the study area.

## 6. Paleoenvironmental interpretation

The most notable aspect observed is the predominance of taxa associated with grasslands throughout the time covered by the core. However, the compositions of the identified floral assemblages changed over time, mainly regarding the aquatic taxa. In the lower sandy layers of the core, aquatic taxa, ferns, and bryophytes are less abundant and diversified. This shows that at the beginning of the peat formation, the water body was shallow and ephemeral, receiving large amounts of sediments due to an incipient vegetation cover that would prevent erosion of its margins. In this sandy basal pollen zone (CCQ I), where the sediment color is light gray, the lowest values of organic matter occur, and *Closterium* and *Botryococcus* are more common, evidencing a reduced contribution of plant remains in an unfavorable environment for preservation. The climatic characteristics would be associated with drier conditions which would last throughout the deglaciation from the base of the record up to the Holocene onset. Similar condition is observed by other authors in different regions of the RPG based on palynological studies (Iriando and Garcia, 1993; Iriarte, 2006; Tonelo and Prieto, 2010; Paez et al., 2015) as well as on different proxies (Novello et al., 2017, Cuña-Rodríguez et al. 2020, Lopes et al., 2021). According to such studies, cold and dry conditions prevailed on the southern portion of South America, associated to the Antarctic Cold Reversal (Pedro et al., 2016; Segredo et al., 2018, Mendelová et al., 2020), a climatic event between 14.700 and 13.000 yr B.P., that was observed specially in the southern hemisphere (Fogwill et al., 2020; Stewart et al., 2021). While our data is consistent with drier climatic conditions it is not sufficient to indicate cold conditions. The high ash contents associated with low amounts of organic matter indicate oxidizing conditions, inhibiting the processes related with accumulation and maturation of plant organic



Table 3. Synthesis of vegetation changes and associated climatic characteristics (see section 5.3) within the identified pollen zones, indicating their depth intervals and estimated calibrated age ranges (see section 5.1) in the Cacequi peat bog.

DEPTH INTERVAL (m)	ESTIMATED AGE INTERVAL (median ages in yr B.P.)	ZONE	PALYNOLOGICAL ASPECTS	INTERPRETED PALEOENVIRONMENT	INTERPRETED CLIMATIC CHARACTERISTICS
0.00 – 0.50	523 to 64 (sampling year = 2014)	CCQ IV	<i>Polygonum</i> and small decrease in the quantity and diversity of ferns and bryophytes; predominant grassland plant formations; tree and shrub plant diversified.	Silted up lake, swampy environment.	Humid
0.50 – 1.70	7,769 to 523	CCQ III	<i>Typha</i> and increase in the quantity and diversity of ferns and bryophytes; predominant grassland plant formations; tree and shrub plant diversified.	Perennial and swampy lake.	Very humid
1.70 – 2.50	12,666 to 7,769	CCQ II	<i>Myriophyllum</i> and <i>Typha</i> and slight increase of ferns and bryophytes; predominant grassland plant formations; tree and shrub plant diversified.	Perennial, shallow and slightly reducing lake.	Slightly humid
3.20 – 2.50	17,427 to 12,666	CCQ I	<i>Myriophyllum</i> and <i>Polygonum</i> and slight increase of ferns and bryophytes; predominant grassland plant formations; tree and shrub plant diversified.	Ephemeral, shallow and oxidizing lake.	Dry

matter. In this pollen zone, the antagonistic relationships between ash content and organic matter are similar to those observed in other peat bogs (Silva et al., 2009; Rydelek, 2013; Galka et al., 2016), indicating that the mineral material associated with the ash is allochthonous. The absence of fragmented plant remains and the lighter color of this material indicate an oxidizing environment, and the external origin of ashes at the base of the drill core. The inversely proportional relationship between ash content and organic matter continues at CCQ II Zone, but with a trend decreasing ash content and increasing organic matter. That indicates the beginning of wetter environmental conditions for the preservation of organic matter and decrease of the external sandy sedimentary input, probably associated with a more stable water table. A slight increase in the diversity of aquatic macrophytes is observed at the base of this pollen zone, as well on *Pseudoschizaea* increase.

Up to higher zones (CCQ III and CCQ IV) there is a more evident increase in the diversity of aquatic taxa, ferns, and bryophytes. The sediment is muddy and associated with high levels of organic matter and plant fragments. An increase in plant population at the edges of the water body better prevents the input of sandy material from outside the bog. These characteristics indicate perennial and anoxic aquatic conditions fully established during peat evolution. This context also suggests that higher humidity rates would be occurring in the Campos region, since not only a greater increase in the amounts of Poaceae and Asteraceae were detected in these zones, but also an increase in the abundance of other pollen taxa, notably *Borreria*, *Croton*, *Polygala*, *Plantago* and *Solanum*.

A similar increase in diversity of trees constituents is observed through these zones mainly of *Mimosa*, *Roupala*, Ericaceae and *Myrsine*. But the relevant taxa are the aquatic (*Myriophyllum*, *Polygonum*, *Typha*, *Echinodorus*, and *Laguncularia*) definitely showing the increase in climatic humidity. This augmentation of humidity is not only noticeable in the Campos region, but also throughout the entire area covered by the RPG, both in Uruguay and Argentina. In Uruguay, Iriarte (2006), Mourelle and Pietro (2016) and Mourelle et al. (2018) identified an increase in vegetation constituents associated with humid environments, notably *Myriophyllum*, between 10,000 and 6,620 years B.P. Likewise in Argentina, the increase in aquatic constituents is more evident between 8,000 and 5,000 years B.P. (Borromei, 1995; Pietro, 1996; Quattrocchio et al., 2008; Grill and Morrás, 2010; Paez et al., 2015). This increase in humidity detected by palynology was also recorded in other parts of South America,

based on different proxies. Bernal et al. (2016) observed this event through isotopic studies in a stalagmite from Botuverá Cave (southern Brazil), resulting from increased rainfall in the region during the Holocene. Furthermore, Guerra et al. (2017) identified the same trend for the northern portion of the RPG in Argentina, based on geochemical analyses of Holocene sediments from Lake Melinkué. The CCQ IV Zone still remains the humid climatic conditions. Such a scenario is in agreement with the various results presented for the south of the RPG, based mainly on studies of different microfossils present in lagoon environments (Stutz et al., 2014; Cuña-Rodríguez et al., 2020; D'Ambrosio et al., 2020; Sagrario et al., 2020; López-Blanco et al., 2021; De Francisco et al., 2022). Figure 7 schematically shows the main palynological features associated with the time intervals covered by the core.

In the CCQ III and CCQ IV Zones, ash content and organic matter show very similar behavior, indicating that the mineralized contents associated with the ash are autochthonous and biogenic. At these pollen zones, the abundant presence of Poaceae would be contributing significantly to the high ash content recorded, since this family is a major producer of biomineralized structures (Hodson et al., 2005; Katz, 2014; He et al., 2014; Talik et al., 2018; Cuéllar-Cruz et al., 2020; Cortizas et al., 2021; Kumar et al., 2021). One of the most interesting findings of this work is the probable association of high ash content in the peat with the type of vegetation that constitutes it, particularly in what concern Poaceae. This is because, although *Sphagnum* occurs in all pollen zones, especially at the lower ones, its quantity is always small, less than 10% of the identified bryophytes. Therefore, this plant constituent could not be the main contributor to the ash content, as occurs in classic peat bogs in the northern hemisphere (e.g. Rydin et al., 2006; Loisel et al., 2008; Peregon et al., 2009, Pawloski et al., 2014; Mäkilä et al., 2018) where few peats are dominated by shrub or arboreal constituents (Birks and Birks, 1980; Edvardsson et al., 2015). In this context, the Cacequi peat bog shows more similarities with other peat bogs described in Brazil, where the predominant vegetation constituents are

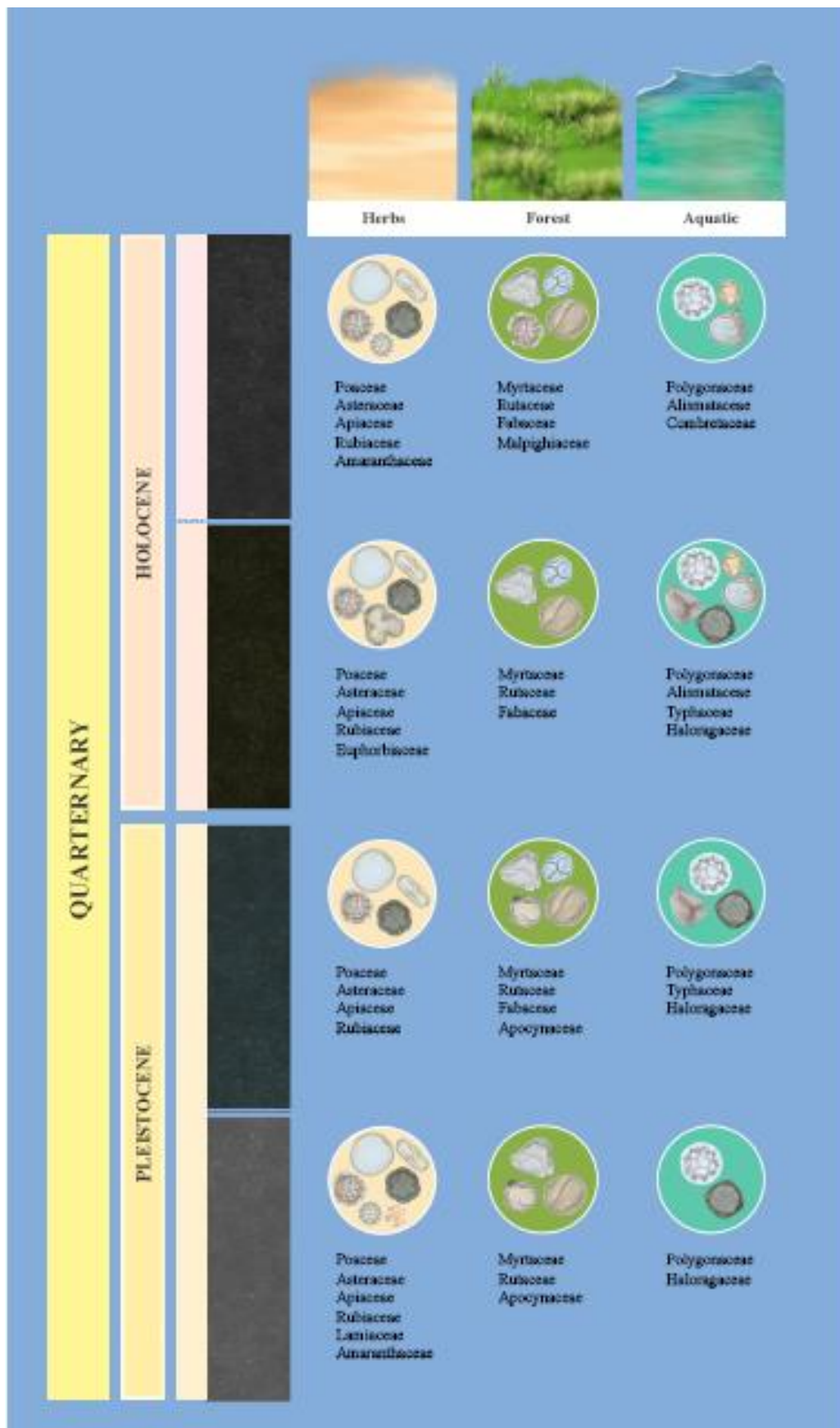


Fig. 7: Main palynological features associated with time intervals covered in the core.

phanerogams associated with grasslands areas (Süffert, 1998; Silva et al., 2013; Araújo et al., 2019; Lima et al., 2020).

In the four identified pollen zones, forest-related plant taxa show little variation through time, with *Myrcia* prevailing in all of them. At CCQ I Zone the forest taxa show values close to 20%. However, in the Zones CCQ II and CCQ III, fluctuation of these constituents is observed, and in the limit between both, the minimum values of *Myrcia* occurs (between 5 and 10%). Following the fluctuation of forest constituents, an increase in Poaceae, aquatic constituents, ferns and bryophytes is observed mainly at CCQ III Zone. This could be suggesting that the forest constituents are no longer near or on the edges of the water body, but further away from them, which would have inhibited the arrival of forest pollens to the peat bog area. Arboreal vegetation located away from the edges of the water bodies is a common feature in the RPG (Tonello and Pietro, 2008; 2009; Grill and Morrás, 2010; Mourelle and Pietro, 2016; Gu et al., 2018). Another possible interpretation is change of part of the genera related to Poaceae, exchanging grassland constituents by forest's (e.g., Bambusoideae type), under wetter climatic conditions, a fact observed by Iriarte (2006), Quattrocchio et al. (2008), and Mourelle and Pietro (2016) in Argentina and Uruguay, and Radaesky et al. (2016; 2020) for the coastal plain of RS, within the Campos region. However, in the same way that herbaceous constituents have shown variation through time, the arboreal ones also show this change. At CCQ II Zone the decrease in *Myrcia* is accompanied by a slight increase in Rutaceae and *Acacia*, while at CCQ III Zone the greatest diversity of forest taxa is identified. The most abundant plant constituents related to forests identified in the present study (*Myrcia*, Rutaceae, and *Acacia*) were also identified in other areas of the RPG, both in Uruguayan (Mourelle and Pietro, 2016) and Argentina territory (Grill and Morrás, 2010).

## 7. Conclusions

The integrated analysis between sedimentology, geochronology, ash content, organic matter content, and palynology proved to be useful, allowing to establish the evolution of the studied peatland. The base of the record at the early deglacial (~17.4 cal kyr B.P.), indicating initially an ephemeral pond associated with a dry climate. The pond gradually evolved into a permanent water body associated with wetter climatic conditions (Figure 8). For the first time in the Campos region, a drill core was analyzed not only from the perspective of palynology, geochronology, and sedimentology but also with the analysis of ash and organic matter content. The integrated analysis of

these proxies made it possible to establish the evolutionary processes of the peat-forming environment and its surroundings and, consequently, the variations in climatic conditions for the Campos region over the studied time interval.

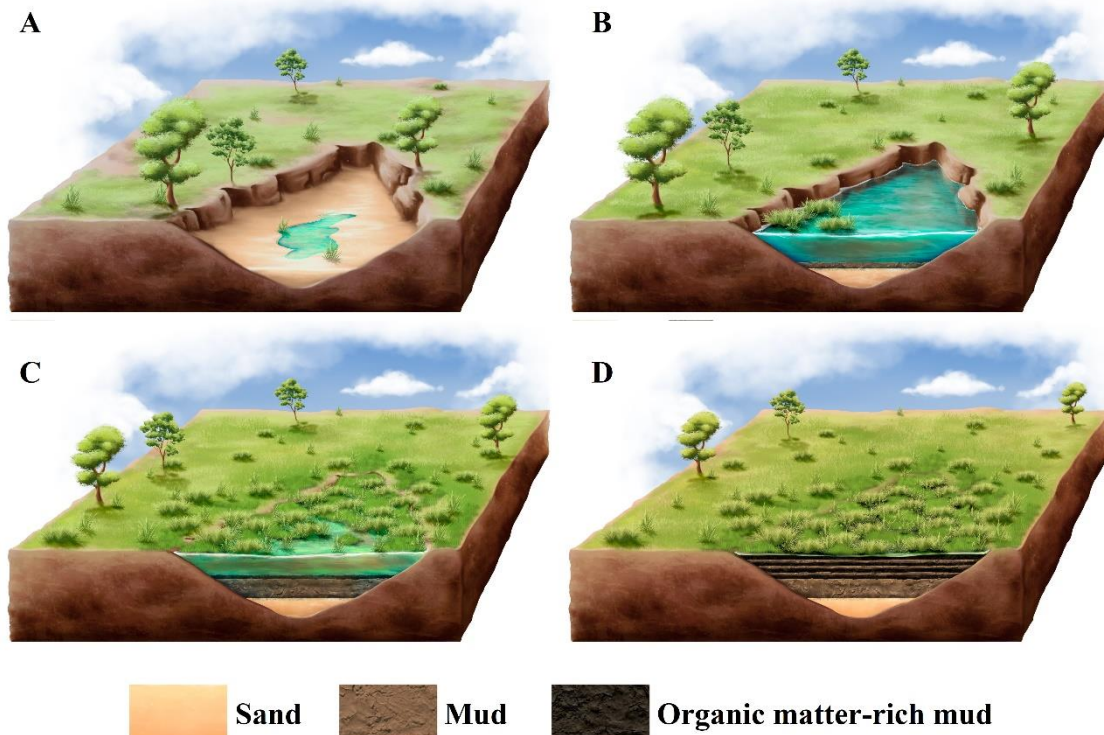


Fig. 8: Block diagrams representing the paleoenvironmental evolution of the analyzed peat bog, based on the analyzed proxies. The diagrams are merely illustrative and do not represent quantitative results.

The palynological content is dispersed along the sedimentary profile, predominantly constituted by organic mud deposited on a sandy substrate. This material was generated in subaqueous conditions, gradually evolving from an intermittent to a permanent lake. All pollen taxa here identified and associated with grasslands have current equivalents. The changes in climatic humidity throughout the record were identified not only by sedimentological data, ash and organic matter contents, but mainly through the quantitative variation of aquatic taxa, in the same way as in other areas of the RPG. During dry climate intervals, the high ash content present in the peat was due to the input of sediment in the peat-forming environment. In these periods, the surroundings of the water body have a smaller area of plant cover and, therefore, are more susceptible to erosion processes.

However, when the climatic conditions became more humid, the high ash content in the peat was maintained by the biomineralized structures produced by the Poaceae, since the erosive effects in the surroundings of the peat would decrease, reducing the plant contribution resulting from them. This is consistent with the predominance of muddy sediments in the upper levels, and not more sand, as in the lower level. Due to the prevalence of grassland vegetation throughout the core, similar to the present day, the floristic diversity of the PB Campos region would have been established prior to the deglaciation, when dry weather predominated.

### **Declaration of Competing Interest**

The authors declare that there is no conflict of interest, both personal and professional, that could discredit the works recorded in this article.

### **Acknowledgments**

Biologists Andreia Evaldt, Jefferson Radaeski and Francini Paz helped with laboratory activities; Roberta Radaeski, biol. Leone Genz and Luiz Pancotte helped with the elaboration of figures. We thank two anonymous reviewers for their important suggestions that greatly improved our manuscript. The National Research Council financed field and laboratory activities through the MCT/CNPq/MEC/CAPES/FNDCT – Ação Transversal/FAPs Nº 47/2010 – Sistema Nacional de Pesquisa em Biodiversidade – SISBIOTA BRASIL Public Notice. João Carlos Coimbra and María Alejandra Gomez Pivel are grateful to the Brazilian National Council for Scientific and Technological Development-CNPq, respectively for Grants 309394/2021-0 and 315684/2021-6.

### **References**

- Allen, S.E., Grimshaw, H.M., Parkinson, J.A., Quarmby, C., 1989. Chemical analysis of ecological materials. Blackwell Scientific Publications, Oxford, 368 pp.
- Andrade, B.O., Marchesi, E., Burkart, S., Setubal, R.B., Lezama, F., Perelman, S., Schneider, A.R., Trevisan, R., Overbeck, G.E., Boldrini, I.I., 2018. Vascular plant species richness and distribution in the Río de la Plata Grasslands. *Bot. J. Linn. Soc.* 188, 250-256. <https://doi.org/10.1093/botlinnean/boy063>
- Andrade, B.O., Bonilha, C.L., Overbeck, G.E., Vélez-Martin, Rolim, R.G., Bordignon, S.A.L., Schneider, A.A., Ely, C.V., Lucas, D.B., Garcia, E.N., Santos, E.D., Torchelsen,

F.P., Vieira, M.S., Filho, P.J.S.S., Ferreira, P.M.A., Trevisan, R., Hollas, R., Campestrini, S., Pillar, V.D., Boldrini, I.I., 2018. Classification of South Brazilian grasslands: Implications for conservation. *Appl. Veg. Sci.* 22, 168-184. <https://doi.org/10.1111/avsc.12413>

Araújo, L.L., Vieira Jr., H.T., Wosniak, R., 2019. Reavaliação do patrimônio mineral área Torres-Gravataí (carvão), estado do Rio Grande do Sul. CPRM, Porto Alegre, 356 pp.

Barth-Schatzmayr, O.M., Melhem, T.S., 1988. Glossário ilustrado de palinologia. Unicamp, Campinas, 75 pp.

Bauermann, S.G., Neves, P.C.P., Marques-Toigo, M., Ashraf, A. R., 2005. Evidences of Holocene transgression on Domingos Petrolini Swamp, southern coastal plain, Rio Grande do Sul, Brazil. *Res. Northeast Asia* 8, 98-103.

Behling, H., Pillar, V.D., Bauermann, S.G., 2005. Late Quaternary grassland (Campos), gallery forest, fire and climate dynamics, studied by pollen, charcoal and multivariate analysis of the São Francisco de Assis core in western Rio Grande do Sul (southern Brazil). *Rev. Palaeobot. Palynol.* 133, 235-248. <https://doi.org/10.1016/j.revpalbo.2004.10.004>

Bencke, G.A., Chomenko, L., Sant'Ana, D.M., 2016. O que é o Pampa? in: Chomenko, L., Bencke, G.A. (Eds.), *Nosso Pampa desconhecido*. Fundação Zoobotânica, Projeto RS Diversidade, Porto Alegre, pp. 17-27.

Bernal, J.P., Cruz, F.W., Stríkis, N.M., Wang, X., Deninger, M., Catunda, M.C.A., Ortega-Obregón, C., Cheng, H., Edwards, R.L., Auler, A.S., 2016. High-resolution Holocene South American monsoon history recorded by a speleothem from Botuverá Cave, Brazil. *Earth & Planet. Sci. Lett.* 450, 186-196. <http://dx.doi.org/10.1016/j.epsl.2016.06.008>

Birks, H.J.B., Birks, H.H. 1980. Quaternary palaeoecology. *Quaternary Sciences Review*, London, 289 pp.



Boldrini I.I., Ferreira, P.M.A., Andrade, B.O., Schneider, A.A., Setubal, R.B., Trevisan, R., Freitas, E.M., 2010. Bioma Pampa: diversidade florística e fisionômica. Pallotti, Porto Alegre, 61 pp.

Boldrini, I.I., Overbeck, G.E., Trevisan, R., 2015. Biodiversidade de plantas. In: Pillar, V.D., Lange, O. (Eds.), Os Campos do Sul. Rede Campos Sulinos, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, pp. 53-62.

Borromei, A.M., 1995. Palinología, estratigrafía y paleoambientes del Pleistoceno tardío-Holoceno en el valle del Río Sauce Grande, Provincia de Buenos Aires, Argentina. *Polen* 7, 19-31.

Bray, R.J., Curtis, J.T., 1957. An ordination of the upland forest communities of southern Wisconsin. *Ecol. Monogr.* 27, 325–349. <http://dx.doi.org/10.2307/1942268>

Buriol, G.A., Estefanel, V., Chagas, A.C., Kuinchtner, A., 2019. Relação da vegetação natural do estado do Rio Grande do Sul com as disponibilidades climáticas. *Ciência Florestal* 1, 233-242. <https://doi.org/10.5902/1980509812382>

Burjack, M.I., Marques-Toigo, M., 1980. Caracterização palinológica da turfeira da região de Águas Claras, município de Viamão – RS, Brasil. *Boletim de Geociências* 11, 31-189.

Charman, D., 2002. Peatlands and environmental change. John Wiley & Sons, Ontario, 301 pp.

Chase, M.W., Christenhusz, M.J.M., Fay, M.F., Byng, J.W., Judd, W.S., Soltis, D.E., Mabberley, D.J., Sennikov, A.N., Soltis, P.S., Stevens, P.F., 2016. An update of the Angiosperm Phylogeny Group classification for the orders and families of flowering plants: APG IV. *Bot. J. Linn. Soc.* 181, 1-20. <https://doi.org/10.1111/boj.12385>

Cohen, K.M., Harper, P.L., Gibbard, P.L., Fan, J.-X., 2021. The ICS International Chronostratigraphic Chart. Episodes, 2021. <http://www.stratigraphy.org/ICSchart/ChronostratChart2021-07.pdf>

Cortizas, A.M., López-Merino, L., Silvia-Sánchez, N., Sjöström, J., Kylander, M.E., 2021. Investigating the mineral composition of peat by combining FTIR-ATR and multivariate analysis. *Minerals* 11,1084. <https://doi.org/10.3390/min11101084>

Cuéllar-Cruz, M., Pérez, K.S., Mendoza, M.E., Moreno, A., 2020. Biocrystals in plants: a short review on biomineralization Processes and the role of phototropins into the uptake of calcium. *Crystals* 10, 1-23. <https://doi.org/10.3390/cryst10070591>

Cuña-Rodríguez, C.; Piovano, E.L.; García-Rodríguez, F.S.; Rostek, F.; Bernasconi, S.M.; Ariztegui, D., 2020. Paleolimnological record of the Pampean plains (Argentina) as a natural archive of South American hydroclimatic variability since the LGM to the Current Warm Period. *Quat. Sci. Rev.* 250, 106675. <https://doi.org/10.1016/j.quascirev.2020.106675>

D'Ambrosio, S.D.; Rojo, L.D.; Fonatan, S.L., 2020. Quaternary non-marine ostracods of Runtuyoc lake, northern Argentina: new taxonomic descriptions and the implication for Holocene paleoenvironment. *J. South. Am. Earth Sci.* 98, 102451. <https://doi.org/10.1016/j.jsames.2019.102451>

Da-Rosa, A.A.S., 2009. Geologia do Quaternário continental do RS: estado da arte e perspectivas de trabalho. In: Ribeiro, A.M., Bauermann, S.G., Scherer, C. (Eds.), *Quaternário do Rio Grande do Sul: integrando conhecimentos. Monografias da Sociedade Brasileira de Paleontologia, Porto Alegre*, pp. 17-35.

De Francesco, C.G.; Stutz, S.; Hassan, G.S.; Tonello, M.S.; Vuichard, G.S.; Bonavita, M.I.; Rodríguez, F.G.; Fontana, S.L., 2022. Climate, sea-level and anthropogenic processes controlling the environmental evolution of shallow lakes in the southeastern Pampa plain (South East South America) during the last 12 ka. *J. South Am. Earth Sci.* 116, 103856. <https://doi.org/10.1016/j.jsames.2022.103856>

Dixon, A.P., Faber-Langendoen, D., Josse, C., Morrison, J., Loucks, C.J., 2014. Distribution mapping of world grassland types. *J. Biogeogr.* 41, 2003-2019. <https://doi.org/10.1111/jbi.12381>

Edvardsson, J., Simanauskienė, R., Taminskas, J., Bauzienė, I., Stoffer, M., 2015. Increased tree establishment in Lithuanian peat bogs – insights from field and remotely sensed approaches. *Sci. Total Environ.* 505, 113-120. <http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2014.09.078>

Eltink, E., Da Rosa, A.A.S., Silva, S.D., 2017. A Capitosauroid from the lower Triassic of South America (Sanga do Cabral Supersequence : Paraná Basin), its phylogenetic

relationships and biostratigraphic implications. *Hist. Biol.* 29, 863-874. <https://doi.org/10.1080/08912963.2016.1255736>

Erdtman, G., 1934. Über die Verwendung von Essigsäurehydrid bei pollenuntersuchungen. *Svensk Botanisk Tidskrift* 28, 354-358.

Evaldt, A.C.P., Bauermann, S.G., Souza, P.A., 2014. Palinomorfos holocênicos de um fragmento da Savana Estépica Parque, Barra do Quaraí, Rio Grande do Sul, Brasil. *Pesquisas em Geociências* 40, 209-232.

Fægri, K., Iversen, J., 1975. *Textbook of pollen analysis*. Hafner Press, New York, 295 pp.

Flemming, B.W., 2000. A revised textural classification of gravel-free muddy sediments on the basis ternary diagrams. *Cont. Shelf Res.* 20, 1125-1137. [https://doi.org/10.1016/S0278-4343\(00\)00015-7](https://doi.org/10.1016/S0278-4343(00)00015-7)

Galili, T., 2015. Dendextend: an R package for visualizing, adjusting and comparing trees of hierarchical clustering. *Bioinformatics* 22, 3718-3720. <https://doi.org/10.1093/bioinformatics/btv428>

Galka, B., Kabala, C., Karczewska, A., Sowinski, J., Jakubiec, J., 2016. Variability of soil properties in na intensively cultivated experimental field. *Soil Sci. Ann.* 67, 10-16. <https://doi.org.10.1515/ssa-2016-0002>

Gorosábel, A., Estigarribia, L., Lopes, L.F., Martinez, A.M., Lanfranco, J.A.M., Adenle, A.A., Rivera-Rebella, C., Muhammed, A.O., 2020. Insights for policy-based conservation strategies for the Rio de la Plata Grasslands through the IPBES framework. *Biota Neotrop.* 20, 1-17. <https://doi.org/10.1590/1676-0611-BN-2019-0902>

Grill, S.C., Morrás, H.J.M., 2010. Análisis palinofacial de sedimentos del Cenozoico tardío en la Pampa Ondulada (Argentina): primeros resultados. *Rev. Bras. Paleontol.* 13, 221-232. doi:10.4072/rbp.2010.3.06

Grimm, A.M., Barros, V., Doyle, M.E., 2000. Climate variability in Southern South America associated with El Niño and La Niña events. *J. Clim.* 13, 35-58. [https://doi.org/10.1175/1520-0442\(2000\)013<0035:CVISSA>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0442(2000)013<0035:CVISSA>2.0.CO;2)

- Grimm, E.C., 2011. Tilia Software v.1.7.16. Springfield IL, Illinois State Museum 2011.
- Grimm, E.C., Troostheide, C.D., 1994. Tilia 2.00, program for plotting palynological diagrams, Springfield: Illinois State Museum.
- Gu, F., Chiessi, C.M., Zonneveld, K.A.F., Behling, H., 2018. Late Quaternary environmental dynamics inferred from marine sediment core GeoB6211-2 off southern Brazil. *Palaeogeogr. Palaeoclimatol. Palaeoecol.* 496, 48-61. <https://doi.org/10.1016/j.palaeo.2018.01.015>
- Guerra, L., Piovano, E.L., Córdoba, F.E.C., Tachikawa, K., Rostek, F., Garcia, M., Bard, E. Sylvestre, F., 2017. Climate change evidences from the end of the Little Ice Age to the Current Warm Period registered by Melincué Lake (Northern Pampas, Argentina). *Quat. Int.*, 160-174. <https://doi.org/10.1016/j.quaint.2016.06.033>
- Hasenack, H., Weber, E., Boldrini, I.I., Trevisan, R., 2010. Mapa de sistemas ecológicos da ecorregião das savanas uruguaias em escala 1:500.000 ou superior e relatório técnico descrevendo insumos utilizados e metodologia de elaboração do mapa de sistemas ecológicos. UFRGS, Porto Alegre, 22 pp.
- Hasenack, H., Weber, E., Vélez-Martin, E., Hoffman, G.S., Dewes, H., 2019. Bioma Pampa: oportunidades e desafios de pesquisa para o desenvolvimento sustentável. In: Vilela E.F., Callegaro, G.M., Fernandes, G.W. (Eds), *Biomass e agricultura: oportunidades e desafios*. Academia Brasileira de Ciências/Vertente, Rio de Janeiro, pp. 123-140.
- He, H., Veneklaas, E.J., Kuo, J., Lambers, H., 2014. Physiological and ecological significance of biomineralization in plants. *Trends Plant Sci.* 19, 166-174. <https://doi.org/10.1016/j.tplants.2013.11.002>.
- Heiri, O., Lotter, A.F., Lemcke, G., 2001. Loss on ignition as a method for estimating organic and carbonate content in sediments: reproducibility and comparability of results. *J. Paleolimnol.* 25, 101-110. <https://doi.org/10.1023/A:1008119611481>
- Hodson, M.J., White, P.J., Mead, A., Broadley, M.R., 2005. Phylogenetic variation in the silicon composition of plants. *Ann. Bot.* 96, 1027-1046. <https://doi.org/10.1093/aob/mci255>

Hogg, A.G., Heaton, T.J., Hua, Q., Palmer, J.G., Turney, C.S.M., Southon, J., Bayliss, A., Blackwell, P.G., Boswijk, G., Ramsey, C.P., Pearson, C., Petchey, F., Reimer, P., Reimer, R., Wacker, L., 2020. SHCal20 southern hemisphere calibration, 0–55,000 years cal B.P. *Radiocarbon* 62, 759-778. <https://doi.org/10.1017/rdc.2020.59>

Holden, J., 2005. Peatland hidrology and carbono release: why small-scale process matters. *Philos. Trans. Royal Soc.* 363, 2891-2913. <https://doi.org/10.1098/rsta.2005.1671>

Iriarte, J., 2006. Vegetation and climate change since 14,810 <sup>14</sup>C yr B.P. in southeastern Uruguay and implications for the rise of early formative societies. *Quat. Res.* 65, 20-32. <https://doi.org/10.1016/j.yqres.2005.05.005>

Iriondo, M. H., García, N. O., 1993. Climatic variations in Argentina plains during the last 18,000 years. *Palaeogeogr. Palaeoclimatol. Palaeoecol.* 101, 209–220. [https://0031-0182/93/\\$06.00](https://0031-0182/93/$06.00).

Katz, O., 2014. Beyond grasses: the potential benefits of studying silicon accumulation in non-grasses species. *Front. Plant Sci.* 5, 1-3. <https://doi.org/10.3389/fpls.2014.00376>

Katz, O., 2015. Silica phytoliths in angiosperms: phylogeny and early evolutionary history. *New Phytol.* 208, 642-646. <https://doi.org/10.1111/nph.13559>

Kumar, S., Natalio, F., Elbaum, R., 2021. Protein-driven biomineralization: comparing sílica formation in grass sílica cells to other biomineralization processes. *J. Struct. Biol.* 213, 107655. <https://doi.org/10.1016/j.jsb.2020.107665>

Kurki, M., 1982. Main chemical characteristics of peat soils. In: Laine, J. (Ed), *Peatlands and their utilization in Finland*. Finnish Peatland Soc., Helsinki, pp. 37-41.

Lima, L.G., Dillenburg, S., Buchmann, F., Parise, C., 2020. O significado paleogeográfico das turfeiras costeiras do Rio Grande do Sul. *Rev. Geoc. Unesp* 39, 393-410. <https://doi.org/10.5016/geociencias.v39i2.14402>

Loisel, J.; Garneau, M.; Hélie, J.-F., 2008. Modern Sphagnum  $\delta^{13}\text{C}$  signatures follow a surface moisture gradiente in two boreal peat bogs, James Bay lowlands, Québec. *J. Quat. Sci.* 24, 209-214. <https://doi.org/10.1002/jqs.1221>

Lopes, R.P.; Souza, M.S.; Pereira, J.C.; Raupp, S.V.; Tatum, S.H.; Yee, M.; Dillenburger, S.R., 2021. Late Pleistocene-Holocene diatomites from the coastal plain of southern Brazil: Paleoenvironmental implications. *Quat. Res.* 598, 38-55. <https://doi.org/10.1016/j.quaint.2021.04.041>

López-Blanco, C.; Rodríguez-Abaunza, G.A.; Seitz, C.; Perez, L.; Cuña-Rodríguez, C.; Fontana, S.L., 2021. A 700-year multiproxy reconstruction on the Argentinian Pampas inferred from the sediments of Laguna Blanca Grande. *J. South. Am. Earth Sci.* 105, 103000. <https://doi.org/10.1016/j.jsames.2020.103000>

Mäkilä, M.; Säävuori, H.; Grunström, A.; Suomi, T., 2018. Sphagnum decay patterns and bog microtopography in South-eastern Finland. *Mires and Peat* 21, 1-12. <https://doi.org/10.19189/MaP.2017.OMB.283>

Mander, L.; Wolfram M. Kürschner, W.M.; McElwain, J.C., 2010. An explanation for conflicting records of Triassic–Jurassic plant diversity. *Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A.* 35, 15351-15356. <https://doi.org/10.1073/pnas.1004207107>

Medeanic, S.; Corrêa, I.C.S., 2010. Climatic changes in the coastal plain of the Rio Grande do Sul state in the Holocene: palynomorph evidences. *Pan-Am. J. Aquat. Sci.* 5, 287-297.

Medeiros, R.B., Saibro, J.C., Focht, T., 2009. Invasão do capim-annoni (*Eracrostis plana* Nees) no bioma Pampa do Rio Grande do Sul. In: Pillar, V.P, Müller, S.C., Castilhos, Z.M.S., Jacques, A.V.A. (Eds), *Campos sulinos: conservação e uso sustentável da biodiversidade*. Ministério do Meio Ambiente, Brasília, pp. 317-330.

Mendelová, M.; Hein, A.S.; Rodés, A.; Smedley, R.K.; Xu, S., 2020. Glacier expansion in central Patagonia during the Antarctic Cold Reversal followed by retreat and stabilisation during the Younger Dryas. *Quat. Sci. Rev.* 227, 106047. <https://doi.org/10.1016/j.quascirev.2019.106047>

Moore, P.D., Webb, J.A., Collinson, M.E., 1998. *Polen analysis*. Blackwell, Oxford, 216 pp.

Mourelle, D., Prieto, A.R., 2016. Pollen and spores from surface samples in the Campos region of Uruguay and their paleoecological implications. *Acta Bot. Bras.* 30, 351-370. <https://doi.org/10.1590/0102-33062016abb0117>

Mourelle, D., Macedo, R.B., Prieto, A.R., 2018. Análisis palinológico actual y del Cuaternario tardío en la región de los campos (Uruguay y sur de Brasil): estado de las investigaciones, dificultades y potencialidades. In: Prieto A.R. (Ed.), *Metodologías y estrategias del análisis palinológico del Cuaternario tardío*. Publicación electrónica de la Asociación Paleontológica Argentina, Buenos Aires, pp. 156-170. <https://doi.org/10.5710/PEAPA.28.05.2018.258>

Munsell Color Co., Inc., 2009, *Munsell soil color charts (revised ed.)*: Baltimore.

Nascimento, M.D., Souza, B.S.P., 2010. Mapeamento geomorfológico da área abrangida pela carta topográfica de Santa Maria – RS como subsídio ao planejamento ambiental. *Rev. Bras. Geomorfol.* 11, 83-90. <https://doi.org/10.20502/rbg.v11i2.155>

Neves, P.C.P., Bauermann, S.G., 2004. Catálogo polínico de coberturas quaternárias no estado do Rio Grande do Sul (Guaíba e Capão do Leão), Brasil. *Descrições taxonômicas – Parte II: Bryophyta e Pteridophyta*. *Pesquisas Botânica* 55, 227-251.

Novello, V.F.; Cruz, F.W.; Vuille, M.; Stríkis, N.M.; Edwards, R.L.; Cheng, H.; Emerick, S.; Paula, M.S.; Li, X.; Barreto, E.S.; Karmann, I.; Santos, R.V., 2017. A high-resolution history of the South American Monsoon from Last Glacial Maximum to the Holocene. *Sci. Rep.* 7: 44267. <https://doi.org/10.1038/srep44267>

Okruszko, H., 1994. System of hydrogenic soil classification used in Poland. In: Okruszko, H. (Ed.), *Taxonomy of Hydrogenic Soils and Sites Used in Poland*. Biblioteczka Falenty, IMUZ Press, Poland, pp. 5-27.

Oksanen, J., Blanchet, F.J., Simpson, G.L., Kindt, R., 2022. *Vegan community ecology package: ordination methods, diversity analysis and other functions for community and vegetation ecologists (Version 2.6-2 april 2022)*.

Oliveira, T.M., Oliveira, D., Schultz, C.L., Kerber, L., Pinheiro, F., 2018. Tanystropheid archosauromorphs in the Lower Triassic of Gondwana. *Acta Palaeontol. Pol.* 63, 713-723. <https://doi.org/10.4202/app.00489.2018>

Oliveira, T.M., Pinheiro, F.L., Da Rosa, A.A.S., Silva, S.D., Kerber, C., 2020. A new archosauromorph from South America provides insights on the early diversification of Tranystropeids. *Plos One* 15, e0230390. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0230890>

Overbeck, G.E., Müller, S.C., Fidelis, A., Pfadenhauer, J., Pillar, V.P., Blanco, C.C., Boldrini, I.I., Both, R., Forneck, E.D., 2009. Os campos sulinos: um bioma negligenciado. In: Pillar, V., Müller, S.C., Castilhos, Z.M.S., Jacques, A.V.A. (Eds.), *Campos sulinos: conservação e uso sustentável da biodiversidade*. Ministério do Meio Ambiente, Brasília, pp. 26-41.

Overbeck, G.E., Boldrini, I.I., Carmo, M.R.B., Garcia, E.N., Moro, R.S., Pinto, C.E., Trevisan, R., Zannin, A., 2015. Fisionomia dos Campos. In: Pillar, V.P., Lange, O. (Eds.), *Os Campos do Sul. Rede de Campos Sulinos-UFRGS*, Porto Alegre, pp. 33-44.

Paez, M.M., Rojo, L.D., Martínez, G.A., 2015. Investigaciones palinológicas y geoarqueológicas en la Sierra Oriental de Tandilia y llanura interserrana desde la transición Pleistoceno – Holoceno. *Ameghiniana* 52, 12-23.

Paruelo, J.M., Jobbágy, E.G., Oesterheld, M., Golluscio, R.A., Aguiar, M.R., 2007. The grasslands and steppes of Patagonia and the Río de la Plata plains. In: Veblen, T.T., Young, K.R., Orme, A.R. (Eds.), *The physical geography of South America*. Oxford University Press, New York, pp. 232-248.

Pawlowski, D., Okupny, D., Wlodarski, W., Zieliński, T., 2014. Spatial variability of selected physicochemical parameters within peat deposits in small valley mire: a geostatistical approach. *Geologos* 20, 269-288. <https://doi.org/10.2478/logos-2014-0020>

Pedro, J.B.; Bostock, H.C.; Bitz, C.M.; He, F.; Vandergoes, M.J.; Steig, E.J.; Chase, B.M.; Krause, C.E.; Rasmussen, S.O.; Markle, B.R.; Cortese, G., 2016. The spatial extent and dynamics of the Antarctic Cold Reversal. *Nat. Geosci.* 9, 51-55. <https://doi.org/10.1038/NGEO2580>



Peregon, A., Uchida, M., Yamagata, Y., 2009. Lateral extension in Sphagnum mires along the southern margin of boreal region, west Siberia. *Environ. Res. Lett.* 4, 045028. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/4/4/045028>

Perelman, S.B., León, R.J.C, Oesterheld, M., 2001. Cross-scale vegetation patterns of Flooding Pampa grasslands. *J. Ecol.* 89, 562–577. <https://doi.org/10.1046/j.0022-0477.2001.00579.x>

Prieto, A.R., 1996. Late Quaternary vegetational and climatic changes in the Pampa grassland of Argentina. *Quat. Res.* 45, 73–88. <https://doi.org/10.1006/qres.1996.0007>

Punt, W., Hoen, P.P., Blackmore, S., Nilsson, S., Thomas, A. L., 2007. Glossary of pollen and spore terminology. *Rev. Palaeobot. Palynol.* 143, 1–81. <https://doi.org/10.1016/j.revpalbo.2006.06.008>

Quattrocchio, M.E., Borrromei, A.M., Deschamps, C.M., Grill, S.C., Zavala, C.A., 2008. Landscape evolution and climatic changes in the Late Pleistocene-Holocene, Southern Pampa (Argentina): evidence from palynology, mammals and sedimentology. *Quat. Int.* 18, 123–138. <https://doi.org/10.1016/j.quaint.2007.02.018>

R Core Team, 2022. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna. <https://www.R-project.org>

Radaeski J.N., Bauermann, S.G., Pereira, A.B., 2016. Poaceae pollen from Southern Brazil: distinguishing grasslands (Campos) from forests by analyzing a diverse range of Poaceae species. *Front. Plant Sci.* 7, 1-18. <https://doi.org/10.3389/fpls.2016.01833>

Radaeski, J.N., Cunha, D.J., Bauermann, S.G., 2020. Understanding ecosystem dynamics of herbaceous grasslands (campos) and arboreal forests (Bambuseae) using Poaceae pollen grains in the coastal plain Holocene sediments of Southern Brazil. *Palynology* 44, 433-440. <https://doi.org/10.1080/01916122.2019.1631225>

Rademann, L.K., Trentin, R., Robaina, L.E.S., 2016. Análise das formas de relevo do município de Cacequi – RS. *Ciência e Natura* 38, 179-188. DOI.10.5902/2179-460X18820

Reboita, M.S.; Krusche, N.; Ambrizzi, T.; Rocha, R.P., 2012. Entendendo o tempo e o clima na América do Sul. *Terræ Didática* 8, 34-50. <https://doi.org/10.20396/td.v8i1.8637425>

Ribeiro, V., Guerra-Sommer, M., Kuhn, L.A., Simões, J.C., Bauermann, S.G., Silva, W.G., 2020. Fire events and vegetation dynamics during the late Pleistocene-Meghalayan interval in the southernmost Brazilian coastal plain. *Rev. Bras. Paleontolog.* 23, 234-250. <https://doi.org/10.4072/rbp.2020.4.02>

Rossato, M.S., 2020. The climates of Rio Grande do Sul: a climate classification proposal. *Entrelugar* 11, 57-85. <https://doi.org/10.30612/el.v11i22.12781>

Rydelek, P., 2013. Origin and composition of mineral constituents of fen peats from Eastern Poland. *J. Plant Nutr.* 36, 911-928. <https://doi.org/10.1080/01904167.2013.770525>

Rydin, H., Gunnarson, U., Sundberg, S., 2006. The role of Sphagnum in peatland development. In: Wieder, R.K., Vitt, D.H. (Eds.), *Boreal peatland ecosystems*. Springer-Verlag, Berlin, pp. 47-65.

Sagrario, M.A.G.; Musazzi, S.; Córdoba, F.E.; Mendiolar, M.; Lami, A., 2020. Inferring the occurrence of regime shifts in a shallow lake during the last 250 years based on multiple indicators. *Ecol. Indic.* 117, 106536. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2020.106536>

Sagredo, E.A.; Kaplan, M.R.; Araya, P.S. Lowell, T.V.; Aravena, J.C.; Moreno, P.I.; Kelly, M.A.; Schaefer, J.M., 2018. Trans-pacific glacial response to the Antarctic Cold Reversal in the southern mid-latitudes. *Quat. Sci. Rev.* 188:160-166. <https://doi.org/10.1016/j.quascirev.2018.01.011>

Salgado, E.T., Mizusaki, A.M.P., Chueng, K.F., Coe, H.H.G., Evaldt, A.C.P., Bauermann, S.G., 2021. Holocene palaeoenvironmental and palaeoclimatic reconstruction of a native ecosystem on the coastal plain of southern Brazil through multi-proxy analysis. *J. S. Am. Earth Sci.* 106, 103067. <https://doi.org/10.1016/j.jsames.2020.103067>

Salgado-Labouriau, M.L., 1973. Contribuição à palinologia dos cerrados. Academia Brasileira de Ciências, Rio de Janeiro, 291 pp.

Silva, A.C., Horák, I., Cortizas, A.M., Vidal-Torrado, P., Racedo, J.R., Graziotti, P.H., Silva, E.B., Ferreira, C.A., 2009. Turfeiras da Serra do Espinhaço Meridional, MG: caracterização e classificação. R. Bras. Ci. Solo 33, 1385-1398. <https://doi.org/10.1590/S0100-06832009000500030>

Silva, D., Pinheiro, F.L., Da Rosa, A.A.S., Martinelli, A.G., Schultz, C.L., Silva-Neves, E., Modesto, S.P., 2017. Biostratigraphic reappraisal of the lower Triassic Sanga do Cabral supersequence from South America, with a description of new material attributable to the parareptile genus *Procolophon*. J. S. Am. Earth Sci. 79, 281-296. <https://doi.org/10.1016/j.jsames.2017.07.012>

Silva, M.L., Silva, A.C., Silva, B.P.C., Barral, U.M., Soares, P.G.S.; Vidal-Torrado, P., 2013. Surface mapping, organic matter and water stocks in peatlands of the Serra do Espinhaço Meridional – Brasil. R. Bras. Ci. Solo 37, 1149-1157. <https://doi.org/10.1590/S0100-06832013000500004>

Stewart, J.A.; Li, Tao.; Spooner, P.T.; Burke, A.; Chen, T.; Roberts, J.; Era, J.W.B.; Peck, V.; Kender, S.; Liu, Q.; Robinson, L.F., 2021. Productivity and dissolved oxygen controls on the southern ocean deep-sea benthos during the Antarctic Cold Reversal. Paleceanography and Paleoclimatology 36, e2021PA004288. <https://doi.org/10.1029/2021PA004288>

Stutz, S.; Tonello, M.S.; SAGRARIO, M.A.G.; Navarro, D.; Fontana, S.L., 2014. Historia ambiental de los lagos someros de la llanura Pampeana (Argentina) desde el Holoceno medio: inferencias paleoclimáticas. Lat. Am. J. Sedimentol. Basin Anal. 21, 119-138. <https://lajsba.sedimentologia.org.ar/index.php/lajsba/article/view/135>

Süffert, T., 1998. Turfa de Águas Claras, estado do Rio Grande do Sul. CPRM, Porto Alegre, 14 pp.

Talik, E., Guzik, A., Malkowski, E., Sierka, E., 2018. Biominerals and waxes of *Calamagrostis epigejos* and *Phragmites australis* leaves from post-industrial habits. Protoplasma 255, 773-784. doi: 10.1007/s00709-017-1179-8

Tonello, M.S., Prieto, A.R., 2008. Modern vegetation–pollen–climate relationships for the Pampa grasslands of Argentina. *J. Biogeogr.* 35, 926-938. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2699.2007.01854.x>

Tonello, M.S., Prieto, A.R., 2010. Tendencias climáticas para los pastizales pampeanos durante el pleistoceno tardío-holoceno: estimaciones cuantitativas basadas en secuencias polínicas fósiles. *Ameghiniana* 47, 501-514. <https://www.ameghiniana.org.ar/index.php/ameghiniana/article/view/279>

Trembath-Reighert, E., Wilson, J.P., McGlynn, S.E., Fischer, W.W., 2015. Four hundred million years of sílica biomineralization in land plants. *Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A.* 112, 5449-5454. <https://doi.org/10.1073/pnas.1500289112>

Tucker, M.E., 1988. *Techniques in sedimentology*. Wiley-Blackwell, Oxford, 394 pp.

Verdum, R., 2016. Paisagem do Pampa: monotonia que se rompe no espaço e no tempo. In: Chomenko, L., Bencke, G.A. (Eds.), *Nosso Pampa desconhecido*. Fundação Zoobotânica, Projeto RS Diversidade, Porto Alegre, pp. 45-60.

Walkley, A.; Black, I.A., 1934. An examination of the Degtjareff method for determining soil organic matter and a proposed modification of the chromic acid tritration method. *Soil Science* 37, 29-38. <http://dx.doi.org/10.1097/00010694-193401000-00003>

Wildner, W., Ramgrab, G.E., Lopes, R. C., Iglesias, C.M.F., 2006. Mapa Geológico do Estado do Rio Grande do Sul. Serviço Geológico do Brasil, escala 1:750000. [http://www.cprm.gov.br/publique/media/geologia\\_basica/cartografia\\_regional/mapa\\_rio\\_grande\\_sul.pdf](http://www.cprm.gov.br/publique/media/geologia_basica/cartografia_regional/mapa_rio_grande_sul.pdf) (acessado 17 março 2022).

## CAPÍTULO 2

---

**Quaternary International**  
**Late Pleistocene-Holocene spatial and temporal distribution of pollen from Río de La Plata Grasslands, South America: paleoecological significance**  
 --Manuscript Draft--

<b>Manuscript Number:</b>	
<b>Article Type:</b>	Regular Article
<b>Corresponding Author:</b>	Vitor Luiz Bocalon, M.D. Federal University of Rio Grande do Sul Porto Alegre - Brasil, Rio Grande do Sul BRAZIL
<b>First Author:</b>	Vitor Luiz Bocalon, M.D.
<b>Order of Authors:</b>	Vitor Luiz Bocalon, M.D. Joao Carlos Coimbra, Doctor Soraia Bauermann Maria Pivel Gisele Primam
<b>Abstract:</b>	The Rio de la Plata Grasslands is a biome characterized by a vast and open landscape with a vegetational set constituted predominantly by herbs and sparse trees. It covers the central-west portion of Argentina, all of Uruguay, and the central-southern portion of the State of Rio Grande do Sul (southern Brazil) where it is called the Pampa Biome. Despite its apparently monotonous vegetation cover, the Rio de la Plata Grasslands hide a great floral heterogeneity and species richness since it comprises one of the richest regions in plant diversity in the world. In this context, it is surprising that palynological research on this immense and important biome has been concentrated in the territory corresponding to Argentina, with rare studies coming from Uruguay and Brazil. This work illustrates and describes phanerogam pollen grains recovered from a core drilled in a peat bog located in the municipality of Cacequi, Rio Grande do Sul State, Brazil, also contributing to the understanding of landscape and climate evolution in the Rio de la Plata Grasslands. The drill core is 3.20 m long, and its base has been dated at 17,424 cal BP. Twenty-five taxa associated to grassland formations, twenty-two to forested formations and five to aquatic environment were identified. The grassland taxa remained dominant throughout this time interval.



em@editorialmanager.com [www.ariessys.com](http://www.ariessys.com) >

De: em@editorialmanager.com

Para: Vitor Luiz Bocalon

\*This is an automated message.\*

Late Pleistocene-Holocene spatial and temporal distribution of pollen from Río de La Plata Grasslands, South America: paleoecological significance

Dear M.D. Bocalon,

We have received the above referenced manuscript you submitted to Quaternary International.

To track the status of your manuscript, please log in as an author at <https://www.editorialmanager.com/quatint/>, and navigate to the "Submissions Being Processed" folder.

Thank you for submitting your work to this journal.

Kind regards,  
Quaternary International

More information and support

You will find information relevant for you as an author on Elsevier's Author Hub: <https://www.elsevier.com/authors>

FAQ: How can I reset a forgotten password?

[https://service.elsevier.com/app/answers/detail/a\\_id/28452/supporthub/publishing/](https://service.elsevier.com/app/answers/detail/a_id/28452/supporthub/publishing/)

For further assistance, please visit our customer service site: <https://service.elsevier.com/app/home/supporthub/publishing/>

Here you can search for solutions on a range of topics, find answers to frequently asked questions, and learn more about Editorial Manager via interactive tutorials. You can also talk 24/7 to our customer support team by phone and 24/7 by live chat and email

At Elsevier, we want to help all our authors to stay safe when publishing. Please be aware of fraudulent messages requesting money in return for the publication of your paper. If you are publishing open access with Elsevier, bear in mind that we will never request payment before the paper has been accepted. We have prepared some guidelines (<https://www.elsevier.com/connect/authors-update/seven-top-tips-on-stopping-apo-scams>) that you may find helpful, including a short video on Identifying fake acceptance letters (<https://www.youtube.com/watch?v=q5l8thD9XtE>). Please remember that you can contact Elsevier's Researcher Support team (<https://service.elsevier.com/app/home/supporthub/publishing/>) at any time if you have questions about your manuscript, and you can log into Editorial Manager to check the status of your manuscript ([https://service.elsevier.com/app/answers/detail/a\\_id/29155/c/10530/supporthub/publishing/kw/status/](https://service.elsevier.com/app/answers/detail/a_id/29155/c/10530/supporthub/publishing/kw/status/)). #AU\_QUATINT#

To ensure this email reaches the intended recipient, please do not delete the above code

In compliance with data protection regulations, you may request that we remove your personal registration details at any time. (Use the following URL: <https://www.editorialmanager.com/quatint/login.asp?a=r>). Please contact the publication office if you have any questions.

## **Late Pleistocene-Holocene spatial and temporal distribution of pollen from Río de La Plata Grasslands, South America: paleoecological significance**

Vitor Luiz Scartazzini Bocalon<sup>a</sup>, João Carlos Coimbra<sup>a</sup>, Soraia Girardi Bauermann<sup>b</sup>, Maria Alejandra Gómez Pivel<sup>a</sup>, Gisele Leite de Lima Primann<sup>c</sup>

<sup>a</sup>Departamento de Paleontologia e Estratigrafia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, UFRGS, 91501-970 Porto Alegre, Rio Grande do Sul, Brazil

<sup>b</sup>Rede de Catálogos Polínicos Online, RCPol, 01153-000 São Paulo, Brazil

<sup>c</sup>Curso de Geografia, Universidade Federal da Fronteira Sul, UFFS, 89815-899, Chapecó, Santa Catarina, Brazil

### **Abstract**

The Río de la Plata Grasslands is a biome characterized by a vast and open landscape with a vegetational set constituted predominantly by herbs and sparse trees. It covers the central-west portion of Argentina, all of Uruguay and the central-southern portion of the State of Rio Grande do Sul (southern Brazil) where it is called the Pampa Biome. Despite its apparently monotonous vegetation cover, the Río de la Plata Grasslands hide a great floral heterogeneity and species richness since it comprises one of the richest regions in plant diversity in the world. In this context, it is surprising that palynological research on this immense and important biome has been concentrated in the territory corresponding to Argentina, with rare studies coming from Uruguay and Brazil. This work illustrates and describes phanerogam pollen grains recovered from a core drilled in a peat bog located in the municipality of Cacequi, Rio Grande do Sul State, Brazil, also contributing to the understanding of landscape and climate evolution in the Río de la Plata Grasslands. The drill core is 3.20 m long, and its base has been dated at 17,424 cal BP. Twenty-five taxa associated to grassland formations, twenty-two to forested formations and five to aquatic environment were identified. The grassland taxa remained dominant throughout this time interval.

**Keywords:** palynology, Quaternary, phanerogams, Pampa Biome.

### **1. Introduction**

The Río de la Plata Grasslands (RPG) comprise one of the largest areas constituted by field landscapes of the world (Paruelo et al., 2007; Dixon et al., 2014; Andrade et al., 2018; Overbeck et al., 2022; Hasenack et al., 2023). It is subdivided into different ecoregions shared between Argentina, Uruguay, and Brazil (Vega et al., 2009; Paruelo et al., 2007; Oyarzabal et al., 2020). The Brazilian and Uruguayan portion of the RPG is known as Campos do Norte, which in Brazilian territory is also called Subtropical Southern Fields or Pampa Biome (PB) (Boldrini et al., 2010; Bencke et al., 2016; Andrade et al., 2019; Figueiró and Sell, 2020; Overbeck et al., 2022; Hasenack et al., 2010, 2023). According to Mourelle and Prieto (2016) and Andrade et al. (2018), within the PB, C<sub>4</sub> grasses predominate while in the southernmost portion of the RPG C<sub>3</sub> grasses are dominant. One of the main aspects concerning the PB is the predominance of grassy vegetation completely or partially adapted to dry climates, although the current humid conditions would favor the development of forests (Lindman, 1906; Rambo, 1956; Crawshaw et al., 2007; Boldrini et al., 2010; Bencke, 2016; Verdum, 2016; Hasenack et al., 2019; Buriol et al., 2019).

Palynological data shows that until the Last Glacial Maximum (LGM) there was predominance of grassland vegetation associated with a dry climate, and that this condition lasted until about 8,000 years ago in the entire RPG (Prieto, 1996; Iriando, 1999; Coronato et al., 1999; Iriarte, 2006; Medeanic and Correa 2010; Paez et al., 2015; Gu et al., 2018). From this period onwards, the gradual increase in humidity was accompanied by the increase and diversification of arboreal taxa, however not restricted to refuges and gallery forests, but also in the form of more diversified albeit sparse tree vegetation (Behling, 2002; Behling et al., 2009; Andrade et al., 2018; Bocalon et al., 2023). Despite this arboreal diversification, plant taxa associated with herbs and shrubs are still predominant (Behling et al., 2009; Evaldt et al., 2013; Radaeski et al., 2020; Bocalon et al., 2023).

Palynological studies in the PB have been carried out only in recent years, as most investigations have been conducted in the Argentinian RPG territory, with a significant lack of research both in Brazil and Uruguay. Therefore, comparative studies regarding geochronological data and paleoclimatic conditions prevailing during the Late Pleistocene and Holocene in the RPG are still scarce. In this context, the recent work by Bocalon et al. (2023) investigated a core collected from a peat bog located in the municipality of Cacequi, State of Rio Grande do Sul (RS), Brazil. The study was based on geochronology, sedimentology, palynology, and organic matter and ash



content, making it possible to understand the environmental evolution of the peatland and its surroundings and the climate changes in the PB since the base of the record at the early deglacial (~17.4 cal ka BP). The present study, therefore, tries not only to describe and illustrate the pollen grains present in the drill core, but also to emphasize their spatial and temporal occurrence along the RPG since the LGM. This article assumes relevant importance because for the first time it tries to integrate palynological data collected in RPGs during recent years.

## 2. Studied Area

The drill core was collected in a peat bog located in the municipality of Cacequi (Figure 1), in the central-western portion of RS, where the geomorphological landscape is composed of gentle hills and plains (Nascimento and Souza, 2010; Rademann et al., 2016) developed over Mesozoic sedimentary rocks of the Paraná Basin and Quaternary sediments (Wildner et al., 2006). Quaternary deposits are mainly composed of sand and gravel (Da-Rosa, 2009; Medeiros et al., 2009), occurring along the flood plains of the Cacequi, Saicã, and Santa Maria rivers (Rademann et al., 2016).

Cacequi municipality is located in a transition between Subtropical Ib and Subtropical II types (Rossato, 2020), with annual average temperature ranging between 17° and 23°C with warm summer and cold winter. Rainfall is more abundant in austral spring and autumn with winter generally being the driest season (Reboita et al., 2012).

The vegetation cover of the Cacequi region is included in the grassland ecological system classified as inland sub-montane by Hasenack et al. (2023). Previous studies (Trindade et al., 2008; Boldrini et al., 2015) have identified about 16 families, the most common being Poaceae, Asteraceae, Cyperaceae, Myrtaceae, Caryophyllaceae, Rubiaceae, and Arecaceae. However, the current anthropic pressures taking place in the area, mainly those related to forestry and goat, cattle and sheep farming, are de-characterizing the original vegetation cover. Noteworthy is the introduction of exotic species by foresters, mainly of the genus *Eucalyptus* (Trindade et al., 2008; Hasenack et al., 2019).

The peat bog is elliptical and covers a total area of 1.5 km<sup>2</sup>, with the longest axis measuring 55.1 m and the shortest 34.2 m, located at the geographic coordinates of 29°52'37.3" S and 54°50'13.2" W.

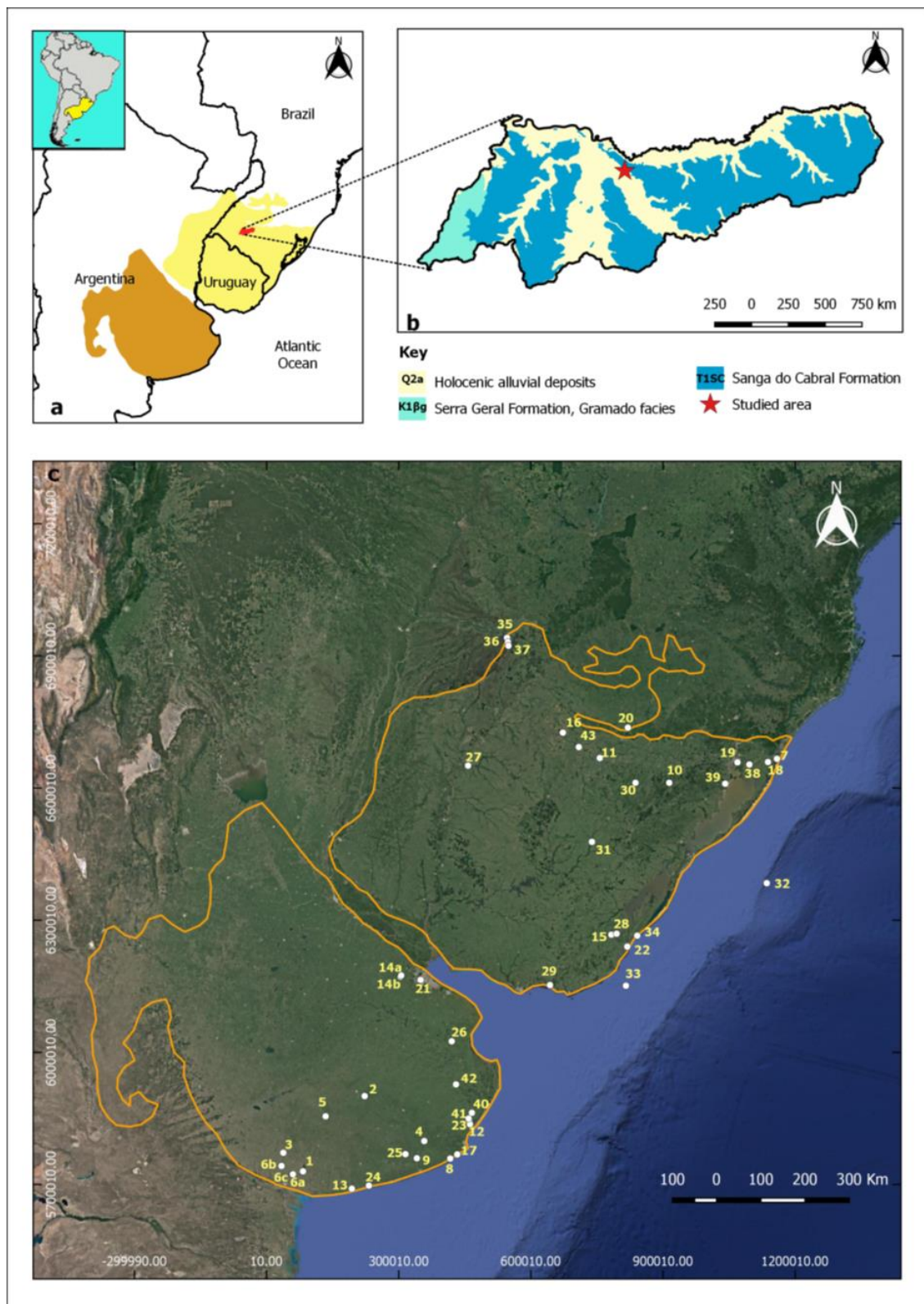


Figure 1. a) Location map of the RPG (Paruelo et al., 2007); b) Cacequi Municipality (IBGE, 2019); c) Palynological records of the RPG used in this work (according to Table 2).

### 3. Methods

A Russian Peat Borer (Moore et al., 1998) was used to collect the drill core, which has a total depth of 3.20 m. A detailed core description is available in Bocalon et al. (2023). Figure 2 shows a concise description and the age-depth model which was built based on three accelerator mass spectrometry (AMS) radiocarbon datings, published in Bocalon et al. (2023), and one additional AMS radiocarbon dating from this study (Table 1). The age model was built with the rBacon package v.2.5.8. (Blaauw and Christen, 2011), based on the four radiocarbon datings using the SHCAL20 calibration (Hoog et al., 2020) and considering the sampling year (2014) as the age of the top. The core spans a period of 17,424 yr, comprising the late Upper Pleistocene stage and the Holocene series (see Cohen et al., 2021). In agreement with the previous version, the age-depth model reveals a relatively uniform sedimentation rate of ~16 cm/kyr between depths of 3.20 m and 0.50 m increasing to ~85 cm/kyr between 0.50 m, and the top. This uppermost level represents the peat acrotelm, characterized by heightened oxidation processes and reduced sediment compaction (Holden, 2005).

### 4. Palynology

At an interval of every 6 cm along the profile, a subsample of 1 cm<sup>3</sup> was collected. The subsamples were acetolysed according to Faegri and Iversen (1975), where HCl and HF were used to remove mineral matter and humic constituents present in the sampled materials, along with the addition of two tablets of *Lycopodium clavatum*. After the chemical treatment, four slides were mounted with glycerin for each subsample. Every slide had a minimum number of 300 pollen grains counted and identified using an optical microscope with a 400x magnification lens. The identification of pollen grains was based on

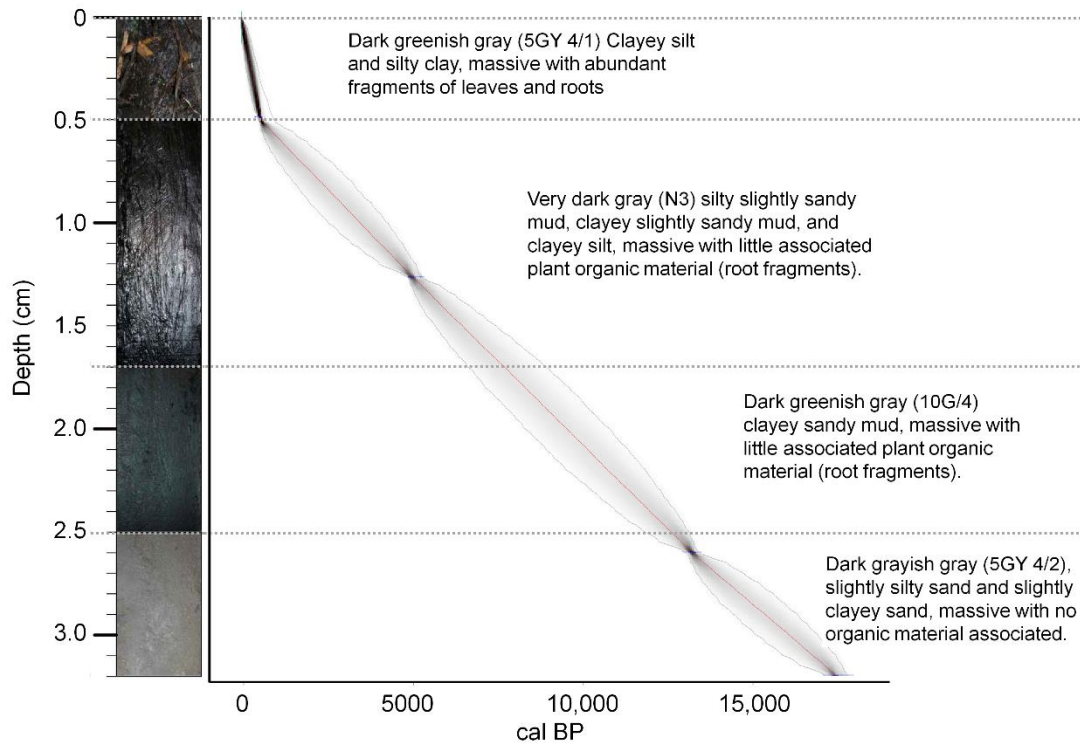


Figure 2. Age-depth model and description of the sediment core (based on Bocalon et al., 2023). The mean age-depth model is indicated by the red stippled line, the 95% confidence ranges are indicated by dark-grey stippled curves, and the three calibrated dates are shown in blue.

Table 1. AMS dated samples used to build the age-depth model and corresponding calibrated ages considering the SHCal20 curve (Hogg et al., 2020).

Depth (m)	Laboratory ID	Conventional Age ( <sup>14</sup> C yr BP)	2-sigma calibrated ages ranges (cal yrs BP)	Source
0.48	Beta-351385	460 ± 30	520 - 446	Bocalon et al. (2023)
1.26	CENA#1583	4,433 ± 27	4,858 – 5,053	This study
2.60	Beta-349807	11,320 ± 60	13,301 – 13,101	Bocalon et al. (2023)
3.20	Beta-352010	14,390 ± 50	17,796 – 17,312	Bocalon et al. (2023)

comparison using previous articles as reference (Salgado-Labouriau, 1973; Barth-Schatzmayr and Melhem, 1988; Marchant et al., 2002; Punt et al., 2007; Bauermann et al., 2008; Medeanic and Corrêa, 2010; Evaldt et al., 2014; Chase et al., 2016; Radaeski et al., 2016; Mourelle et al., 2018). Pollen Catalog Network (RCPol) and Global Pollen Project reference catalogs were also consulted. Pollen's taxonomic classification followed the system established by the Angiosperm Phylogeny Group IV (Chase et al., 2016). After pollen identification and quantification, digital photographic documentation was performed using a Zeiss binocular microscope model AxioVision SE64, coupled to a computer and Zeiss digital camera, model AxioCam MRc. Statistical analyses were generated based on calculations of the relative frequency and concentration of identified pollen grains using the TILIA and TILIAGRAPH programs (Grimm and Troostheide, 1994; Grimm, 2011). The results obtained here were compared to other studies carried out in the RPG covering the Pleistocene and Holocene time interval (Table 2). Articles related to actuopalynology and non-pollen palynomorphs were not considered here.

## 5. Results

Fifty-two taxa related to phanerogams were identified, of which 25 are related to grasslands, 22 to forests and five to aquatic environments. The description of the identified pollen grains as well as their taxonomic and ecological attributes and spatial distribution in RPG are described below.

### GYMNOSPERMS

#### GNETALES

##### Ephedraceae

*Ephedra* Tourn. ex L. (Figure 3 A)

Description: monad, medium grain, radial symmetry, isopolar, amb elliptical, prolate, inaperturate, psilate.  $P = 24 \mu\text{m}$ ;  $E = 13 \mu\text{m}$ ;  $P/E = 1.84 \mu\text{m}$ .

Current occurrence in RPG: genera with a wide morphological diversity (Ivarsson, 2013), but occurring preferentially in the form of shrubs associated with grassland environments in southern Brazil and Uruguay (Haretche et al., 2012; Fuhro et al., 2015; Luz, 2016; Sieglösch and Marchiori, 2018), where is associated

Table 2. Site name, geographical coordinates, type of material, corresponding site location in Fig. 1, and corresponding references for all RPG palynological records used in this work.

Site name	Latitude	Longitude	Type of material	Site number on Fig. 1	Country	Reference
Sauce Grande	38°29' S	61°47' W	Eolian and fluvial deposits	1	Argentina	Borromei, 1995; 1998; Quattrocchio and Borromei, 1998; Prieto, 2000
Empalme Querandés	37°00' S	60°07' W	Fluvial deposits	2	Argentina	Prieto, 1996; Prieto, 2000
Sauce Chico	38°05' S	62°16' W	Lacustrine deposits	3		
Cerro La China	37°57' S	58°37' W	Loess deposits	4		
Fortín Necochea	37°23' S	61°08' W	Alluvial deposits	5	Argentina	Prieto, 1996; Nieto and Prieto, 2013
Napostá Grande						
Cuenca Media	38°32'02" S	62°03'34" W	Fluvial deposits	6a	Argentina	Grill, 1997
Lagoa de Tramandaí	29°57'32" S	50°10'49" W	Lacustrine deposits	7	Brazil	Lorscheitter and Dillenburg
Arroyo La Ballenera	38°19' S	57°57' W	Alluvial deposits	8	Argentina	Stutz et al., 1999
Napostá Grande			Fluvial deposits		Argentina	Prieto, 2000
Profile 1	38°21' S	62°20' W		6b		
Profile 2	38°32' S	62°03' W		6c		
La Horqueta	38°18' S	58°49' W		9		
Encruzilhada do Sul	30°33'17" S	52°41'02" W	Marsh deposits	10	Brazil	Bauermann et al., 2000
São Gabriel	30°05'30" S	54°20'16" W	Marsh deposits	11	Brazil	Neves et al., 2001
Laguna Hinojales	37°34' S	57°27' W	Lacustrine deposits	12	Argentina	Stutz et al., 2002
Río Quequén Salado	38°53' S	60°32' W	Fluvial and marine deposits	13	Argentina	Grill, 2003
Río Luján					Argentina	Prieto et al., 2004
Puente de la Tropa	34°34'40" S	59°08'14" W	Fluvial deposits	14a		
Passo de Corro	34°33'17" S	59°07'07" W	Fluvial deposits	14b		
India Muerta/Los Ajos	33°42' S	53°57' W	Peat	15	Uruguay	Iriarte, 2006
São Francisco de Assis	29°35'12" S	55°13'02" W	Peat	16	Brazil	Behling et al., 2005
Arroyo Las Brusquitas	38°14' S	57°46' W	Fluvial deposits	17	Argentina	Vilanova et al., 2006
Passinhos	30°02'03" S	50°23'11" W	Marsh deposits	18	Brazil	Macedo et al., 2007
Porto Alegre	30°04'32" S	51°06'05" W	Marsh deposits	19	Brazil	Behling et al., 2007

Table 2. Continued.

Site name	Latitude	Longitude	Type of Material	Site number on Fig. 1	Country	Reference
Santa Maria	29°27'21" S	53°41'52" W	Peat	20	Brazil	Bauermann et al., 2008
Castellar 3	34°39'06" S	58°38'28" W	Loess deposits	21	Argentina	Grill and Morrás, 2010
Laguna Negra	33°56' S	53°33' W	Lacustrine deposits	22	Uruguay	García-Rodríguez et al., 2010
Nahuel Rucá	37°37' S	57°26' W	Lacustrine deposits	23	Argentina	Stutz et al., 2010
Arroyo Claromecó	38°50' S	60°05' W	Alluvial deposits	24	Argentina	Vilanova et al., 2010
Paso Otero	38°12'41.79" S	59°06'33.95" W	Paleosoils and fluvial deposits	25	Argentina	Gutierrez et al., 2011
Río Salado	35°55' S	57°53' W	Fluvial deposits	26	Argentina	Vilanova and Prieto, 2012
Barra do Quaraí	30°16'28" S	57°26'34" W	Alluvial deposits	27	Brasil	Evaldt et al., 2014a, b
Índia Muerta/Laguna Merín	33°40'36" S	53°49'15" W	Marsh deposits	28	Uruguay	Mourelle et al., 2015a
Solís Grande	34°45' 35" S	55° 25' 55" W	Estuarine deposits	29	Uruguay	Mourelle et al., 2015b
Caçapava do Sul	30°20' S	53°18' W	Marsh deposits	30	Brazil	Behling et al., 2016
Laguna Formosa	31°48'43" S	54°28'41" W	Lacustrine deposits	31	Uruguay	Mourelle et al., 2017
Core GeoB6211-2 Continental Shelf off Rio Grande do Sul	32.50° S	50.24° W	Marine deposits	32	Brazil	Gu et al., 2018
Core GeoB13813-4 Continental Shelf off Uruguay	34°44' S	53°33' W	Marine deposits	33	Uruguay	Mourelle et al., 2018
Hermenegildo	33°42'12" S	53°18'57" W	Beach deposits	34	Brazil	Masetto and Lorscheitter, 2019
Laguna San Crsitóbal	27°39'20.31" S	56°32'05.21" W	Lacustrine deposits	35	Argentina	Pacella and Dipasquo, 2020
Laguna Cué	27°44'39.96" S	56°30'48.80" W		36		
Laguna Miranda	27°48'58.71" S	56°30'07.08" W		37		
Viamão	30°06'24" S	50°49'05" W	Peat	38	Brazil	Burjack and Marques-Toigo, 1980; Ribeiro et al., 2020; Ribeiro et al., 2024
Tapes	30°31'24" S	51°21'45" W	Peat	39	Brazil	Salgado et al., 2021
Laguna Hinojales	37°23' S	57°23' W	Lacustrine deposits	40	Argentina	De Francesco et al., 2022
Laguna Tobares	37°30' S	57°28' W		41		
Lago Kakel Huincul	36°48' S	57°47' W	Lacustrine deposits	42	Argentina	Vuichard et al., 2023
Cacequi	29°52'37.3" S	54°50'13.2" W	Peat	43	Brazil	Bocalon et al., 2023

to rocky and sandy terrains near the coastal plain. In Argentina it is also widely associated to open areas, but located on sandy terrains of arid and semi-arid environments, with elevations near 300 m (Hunziker, 1995; Huzinker and Novara, 1998; Rodríguez-Araújo et al., 2019).

Quaternary fossil record on RPG: genus commonly described both in Pleistocene and Holocene sequences from the RPG (Borromei, 1995; Quattrocchio and Borromei, 1998; Lorscheitter and Dillenburg, 1998; Grill, 2003; Tonello and Prieto, 2008; Bauermann et al., 2008; Vilanova and Prieto, 2012; Mourelle and Prieto, 2016; Mourelle et al., 2017; Gu et al., 2018; Masetto and Lorscheitter, 2019; De Francesco et al., 2022), and in all these studies it is grouped into “grasslands” or “herbs” registered from the Upper Pleistocene au to the Holocene.

## ANGIOSPERMS

### MAGNOLIALES

#### Annonaceae (Figure 3 B)

Description: tetrad, very large grain, radial symmetry, heteropolar, amb ellipsoidal, prolate spheroidal, monocolpate, microrreticulate.  $P = 101.4 \mu\text{m}$ ;  $E = 85.7 \mu\text{m}$ ;  $P/E = 1.18 \mu\text{m}$

Current occurrence in RPG: lianas, shrubs, small trees and trees occurring in open areas in Brazil and Uruguay (Doyle and Le Thomas, 1997; Lopes and Mello-Silva, 2014; Guo et al., 2017; Lopes et al., 2018; Bangkomnate et al., 2021; Vilela and Lopez, 2022), but is associated mainly with riparian forests. Few records in the western portion of the Argentine RPG, also associated to riparian forests (Erkens et al., 2022).

Quaternary fossil record on RPG: only in this paper.

### ALISMATALES

#### Alismataceae

#### *Echinodorus* Rich. ex Engelm. (Figure 3 C)



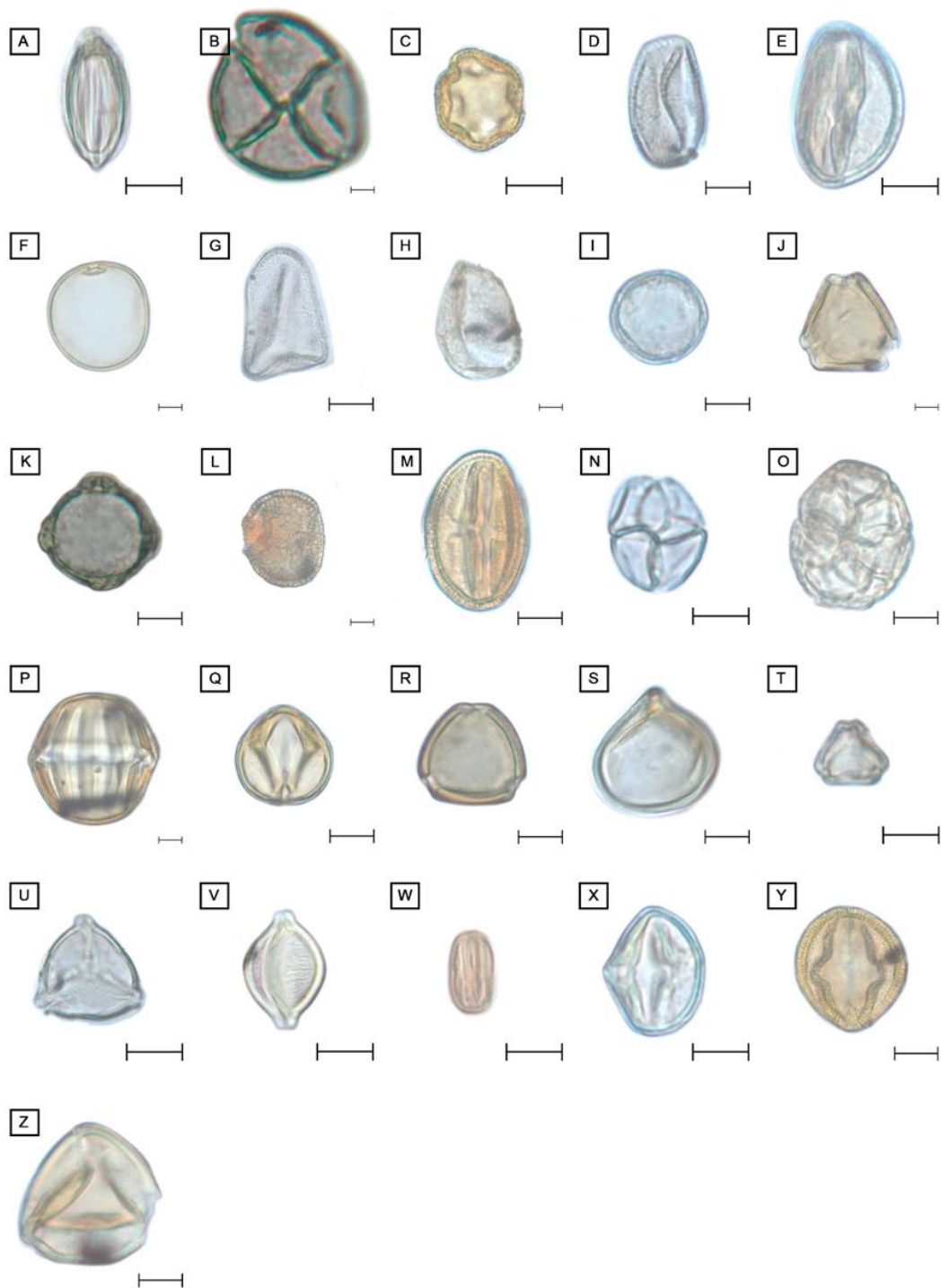


Figure 3. *Ephedra* Tourn. ex L., EV (A); Annonaceae, GV (B); *Echinodorus* Rich. ex. Engel., GV (C); *Sisyrinchium* L., EV (D); *Arecaceae*, EV (E); *Poaceae*, GV (F); *Eleocharis* R.Br., EV (G); *Typha* L., EV (H); *Berberis* L., PV (I); *Roupala* Aubl., PV (J); *Myriophyllum* L., PV (K); *Croton* L., PV (L); *Erythroxylum* P.Browne, EV (M); *Mimosa* L., EV (N); Mimosoideae, EV (O); *Polygala* L., EV (P); *Prunus* L., EV (Q); *Phyllostylon*

Capn. ex Benth & Hook.f., PV (R); Combretaceae, PV (S); *Myrcia* DC., PV (T) *Cuphea* P.Browne I Type, PV (U); *Cuphea* P.Browne II Type, EV (V); *Miconia* Ruiz & Pav., EV (W); Vochisiaceae, EV (X); *Schinus* L., EV (Y); Sapindaceae, PV (Z). Scale bar = 10  $\mu\text{m}$ . EV = Equatorial View. PV = Polar View. GV = General View.

Description: monad, small grain, radial symmetry, apolar, amb circular, prolate spheroidal, pantoporate, echinate.  $D = 24.09 \mu\text{m}$ .

Current occurrence in RPG: the genus comprises aquatic herbs with wide distribution on the three countries of RPG, preferably associated with wet and flooded areas of different substrate types (Bevilaqua et al., 2001; Costa et al., 2006; Joaquim et al., 2010).

Quaternary fossil record on RPG: few records in Argentina (Borromei, 1995; Gutierrez et al., 2011), but more common in Uruguay (Mourelle et al., 2015; 2017) and southern Brazil, where it is more widely distributed (Lorscheitter and Dillenburg, 1998; Macedo et al., 2007; Evaldt et al., 2014). Palynological records show that the genus occurs more abundantly during the Upper Pleistocene, decreasing during the Holocene (Borromei, 1995; Macedo et al., 2007).

## ASPARAGALES

### Iridaceae

#### *Sisyrinchium* L. (Figure 3 D)

Description: monad, large grain, radial symmetry, heteropolar, amb ellipsoidal, prolate, monosulcate, reticulate.  $P = 58 \mu\text{m}$ ;  $E = 31 \mu\text{m}$ ;  $P/E = 1.87 \mu\text{m}$ .

Current occurrence on RPG: genera with wide distribution in South America, especially Brazil, Uruguay and Argentina (Celsi and Monserrat, 2008; Souza-Chies et al., 2012; Deble et al., 2021). It comprises herbs that occur mainly in open areas and forest edges, both in the subtropical and altitude fields (Eggers, 2008; Aita et al., 2013; Dantas-Queiroz and Luz, 2016; Eggers et al., 2019). Also found surrounding swamps and lakes in fields of southern Brazil, Uruguay and Argentina (Zanotti and Sassone, 2019; Chukr, 2022).

Quaternary fossil record on RPG: although they are widely distributed in South America grasslands, representatives of this family are recorded in small numbers in

pollen studies especially in southern Brazil (Neves et al., 2001; Evaldt et al., 2014; Ribeiro et al., 2020). Few records in Pleistocene sequences (Behling et al., 2005; Ribeiro et al., 2020), but more commonly associated to Holocenic ones (Evaldt et al., 2014; Behling et al., 2016). Few records in Argentina (Grill, 2003).

## ARECALES

### Arecaceae (Figure 3 E)

Description: monad, medium grain, radial symmetry, heteropolar, prolate, amb ellipsoidal, monosulcate, psilate to scabrate.  $P = 42 \mu\text{m}$ ;  $E = 22 \mu\text{m}$ ;  $P/E = 1.92 \mu\text{m}$ .

Current occurrence on RPG: trees that occur preferentially in field areas forming palm groves, mainly in the coastal plains; it also occurs in isolated forms in riparian forests (Soares et al., 2014; Rivas et al., 2017; Oyarzabal et al., 2018; Mai et al., 2019).

Quaternary fossil record on RPG: a common grain pollen identified in the Uruguayan RPG during the Holocene (Anzótegui and Garralla, 2004; Iriarte, 2006; García-Rodríguez et al., 2010; Mourelle and Prieto, 2012; Mourelle et al., 2015; 2018; Gu et al., 2018). It was identified in southern Brazil both in the interior (Behling et al., 2005; Bauermann et al., 2008; Evaldt et al., 2014; Behling et al., 2016) and along the coastal plain (Macedo et al., 2007; Ribeiro et al., 2020; Salgado et al., 2021), also during the Holocene.

## POALES

### Poaceae (Figure 3 F)

Description: monad, large grain, radial symmetry, heteropolar, amb circular, prolate spheroidal, monoporate, scabrate.  $D = 46 \mu\text{m}$ .

Current occurrence on RPG: herbs that, although occurring in different ecological environments, they are the most common, diversified, and abundant in grasslands, under many genera (Boldrini et al., 2010; Welker and Longhi-Wagner, 2012; Andrade et al., 2018; Oliveira et al., 2019). In Uruguay it is the most abundant herb as well as in the Argentine Pampean region (Zuloaga et al., 2014; Zuloaga and Belgrano, 2015).

Quaternary fossil record on RPG: Poaceae is always registered with high percentages (> 30%) of all phanerogam pollens, being the most abundant family all over the grasslands in the RPG during the Upper Pleistocene and Holocene (Borromei,

1995; Behling et al., 2005; Bauermann et al., 2008; Tonello and Prieto, 2008, García-Rodríguez et al., 2010; Evaldt et al., 2014; Radaeski et al., 2014; Mourelle and Prieto, 2016; Gu et al., 2018; Radaeski et al., 2018; Masetto and Lorscheitter, 2019).

## Cyperaceae

### *Eleocharis* R.Br. (Figure 3 G)

Description: monad, small to medium grain, radial symmetry, heteropolar, amb circular, suboblate, scabrate to granulate.  $P = 32 \mu\text{m}$ ;  $E = 37 \mu\text{m}$ .  $P/E = 0.86 \mu\text{m}$ .

Current occurrence on RPG: in southern Brazil, Uruguay and Argentina is associated to aquatic environment (Araújo and Longhi-Wagner, 1996; Trevisan and Boldrini, 2008; Vilanova and Prieto, 2012; Soares et al., 2015; Oyarzabal et al., 2018; Oliveira et al., 2019; Mai et al., 2022).

Quaternary fossil record on RPG: a very common herb within the RPG, used to determine wet periods during the Pleistocene and Holocene (Borromei, 1998; Stutz et al., 2002; Prieto et al., 2004; Bauermann et al., 2008; Tonello and Prieto, 2008; Stutz et al., 2010; Mourelle et al., 2015; Ribeiro et al., 2024).

## Typhaceae

### *Typha* L. (Figure 3 H)

Description: monad, medium grain, radial symmetry, heteropolar, amb ellipsoidal, prolate, monoporate, rugulate to reticulate.  $P = 53.1 \mu\text{m}$ ;  $E = 37.5 \mu\text{m}$ ;  $P/E = 1.4 \mu\text{m}$ .

Current occurrence on RPG: aquatic herbs with wide distribution associated to river, swamp and lake environments (Sobrero et al., 1993; Trindade et al., 2010; Carvalho et al., 2021).

Quaternary fossil record on RPG: one of the most common constituents in the pollen records of the RPG associated with flooded areas, occurring both on the edges (Pacella and di Pasquo, 2020) and in other sectors of the RPG (Borromei, 1995, 1998; Stutz et al., 1999, 2002; Vilanova et al., 2006; Bauermann et al., 2008; Vilanova and Prieto, 2012; Mourelle et al., 2015, 2017, 2018; Masetto and Lorscheitter, 2019; De Francesco et al., 2022; Vuichard et al., 2023), being more abundant during Pleistocene.

## RANUNCULALES

### Berberidaceae

#### *Berberis* L. (Figure 3 I)

Description: monad, medium grain, radial symmetry, heteropolar, amb circular, suboblate, monocolpate, reticulate.  $P = 36 \mu\text{m}$ ;  $E = 53 \mu\text{m}$ ;  $P/E = 0.68 \mu\text{m}$ .

Current occurrence on RPG: shrubs associated with riparian forests occurring in RPG in southern Brazil (Marchiori and Denardi, 2005; Stehmann, 2020), Uruguay (Haretche et al., 2012) and Argentina (Zuloaga and Belgrano, 2015; Radice et al., 2020).

Quaternary fossil record on RPG: only in this paper.

## PROTEALES

### Proteaceae

#### *Roupala* Aubl. (Figure 3 J)

Description: monad, medium grain, radial symmetry, heteropolar, amb triangular, triporate; psilate to reticulate.  $E = 32 \mu\text{m}$ .

Current occurrence on RPG: trees and shrubs widely associated with riparian forest formations all over the grasslands in southern Brazil and Uruguay (Grings and Brack, 2009). In Argentina, it only occurs associated to riparian forests over the northern border of the Mesopotamic Pampa (Fernández, 2017).

Quaternary fossil record on RPG: few records in the RPG, all of them associated to riparian forest on the southern Brazil coastal plain (Lorscheitter and Dillenburg, 1998; Bauermann et al., 2008; Masetto and Lorscheitter, 2019), all of Holocene age. More associated with rainforest formations in southern Brazil (Leonhardt and Lorscheitter, 2010; Roth et al., 2021).

## SAXIFRAGALES

### Haloragaceae

#### *Myriophyllum* L. (Figure 3 K)

Description: monad, medium grain, radial symmetry, isopolar, amb circular, suboblate, tetraporate, scabrate.  $D = 34.09 \mu\text{m}$ .

Current occurrence on RPG: aquatic herbs that occur in shallow and fresh waters aquatic environments, with wide distribution on RPG (Lourdes et al., 2007; Moody and Les, 2010; Stutz et al., 2010; Robles et al., 2011). Also occurs associated to moderate running rivers with sandy substrate (Harguinteguy et al., 2016).

Quaternary fossil record on RPG: one of the most important taxa used to characterize humidity variation in the RPG, both in Argentina and Uruguay (Borromei, 1995, 1998; Quattrocchio and Borromei, 1998; Stutz et al., 2002; Iriarte, 2006; Anzótegui and Garralla, 2004; Vilanova et al., 2006; Mourelle et al., 2017; De Francesco et al., 2022; Vuichard et al., 2023) as well as in the late Pleistocene and Holocene in southern Brazil (Lorscheitter and Dillenburg, 1998; Macedo et al. 2007; Bauermann et al., 2008; Evaldt et al., 2014; Masetto and Lorscheitter, 2019; Ribeiro et al., 2020).

## MALPIGHIALES

### Euphorbiaceae

#### *Croton* L. (Figure 3 L)

Description: monad, medium grain, radial symmetry, isopolar, amb circular, subprolate, tricolporate, scabrate.  $D = 24 \mu\text{m}$ .

Current occurrence on RPG: herbs and shrubs of common occurrence in riparian forests (Lima and Pirani, 2008; Araújo et al., 2012; Souza et al., 2020). Few occurrences in open areas with sandy or gravel soil in southern Brazil, Argentina and Uruguay (Sodré et al., 2019; Sodré et al., 2022).

Quaternary fossil record on RPG: there are few records, all of them associated with a Holocene grassland environment in southern Brazil (Macedo et al., 2007; Bauermann et al., 2008; Behling et al., 2016) and Argentina (Grill, 1997; Quattrocchio and Borromei, 1998).

### Erythroxylaceae

#### *Erythroxylum* P.Browne (Figure 3 M)

Description: monad, medium grain, radial symmetry, isopolar, amb ellipsoidal, prolate to subprolate, tricolporate, reticulate.  $P = 38.7 \mu\text{m}$ ;  $E = 26.3 \mu\text{m}$ ;  $P/E = 1.47 \mu\text{m}$ .

Current occurrence on RPG: shrubs in both riparian forest and field areas in southern Brazil (Mendonça et al., 1998; Sobral et al., 2006). Rarer in Argentina and Uruguay where it is associated to riparian forests (Cordeiro et al., 2017).

Quaternary fossil record on RPG: few records in Holocene deposits in southern Brazil (Neves et al., 2001).

## FABALES

### Fabaceae

#### *Mimosa* L. (Figure 3 N)

Description: polyad; small grain; radial symmetry; heteropolar; amb circular to ellipsoidal; suboblate; psilate.  $P = 22 \mu\text{m}$ ;  $E = 19 \mu\text{m}$ ;  $P/E = 1.16$ .

Current occurrence on RPG: trees and shrubs associated with open areas with sandy and gravel soil and also with gallery forests in Brazil, Uruguay and Argentina (Deble and Marchiori, 2009; Silveira and Miotto, 2013; Madanes et al., 2015; Antonio-Domingues et al., 2018; Silveira et al., 2018; Bahadour et al., 2022).

Quaternary fossil record on RPG: very common in Quaternary grasslands in southern Brazil (Lorscheitter and Dillenburg, 1998; Macedo et al, 2007; Bauermann et al., 2008; Gu et al., 2018; Masetto and Lorscheitter, 2019; Ribeiro et al., 2024), with few records in Uruguay (Mourelle et al., 2017). Its highest occurrence has been recorded during the Pleistocene (Macedo et al, 2007; Mourelle et al., 2017; Gu et al., 2018).

#### Mimosoideae (Figure 3 O)

Description: poliad, small grain; radial symmetry, heteropolar, amb circular to ellipsoidal, suboblate, psilate.  $P = 22.07 \mu\text{m}$ ;  $E = 18.62 \mu\text{m}$ ;  $P/E = 1.18 \mu\text{m}$ .

Current occurrence on RPG: trees and shrubs occurring in opened and rocky areas as well in riparian forests in southern Brazil (Deble and Marchiori, 2009; Machado et al., 2016). In Argentina and Uruguay, it can be found associated with forested and humid areas (Pometti et al., 2019).

Quaternary fossil record on RPG: occurring since the late Pleistocene in Uruguay and Argentina, commonly associated to riparian forests (Borromei, 1995, 1998; Grill, 1997; Quattrocchio and Borromei, 1998; Mourelle et al., 2017).

## Polygalaceae

### *Polygala* L. (Figure 3 P)

Description: monad, large grain, radial symmetry, isopolar, amb circular, prolate spheroidal, polycolpate, psilate.  $P = 45 \mu\text{m}$ ;  $E = 41 \mu\text{m}$ ;  $P/E = 1.08 \mu\text{m}$ .

Current occurrence on RPG: herbs and shrubs in fields (Aguiar et al., 2008; Lüdtkke et al., 2013). In Uruguay (Martinez et al., 2022) and Argentina (Martinez and Pastore, 2020) it occurs in the coastal plain.

Quaternary fossil record on RPG: few records associated to field environments in the Argentinian portion of the RPG (Grill and Morrás, 2010), but relatively common in the Brazilian and Uruguay portion where it also occurs associated to fields (Bauermann et al., 2008; Evaldt et al., 2014; Mourelle et al., 2017; Ribeiro et al. 2020). It occurs since Upper Pleistocene (Mourelle et al., 2017; Ribeiro et al., 2020), being more common during the Holocene (Iriarte, 2006; Evaldt, 2014).

## ROSALES

### Rosaceae

#### *Prunus* L. (Figure 3 Q)

Description: monad, small grain, radial symmetry, isopolar, amb ellipsoidal, prolate spheroidal, tricolporate, reticulate to striate.  $D = 23.85 \mu\text{m}$ .

Current occurrence on RPG: herbs and shrubs with very few occurrences along the Paraná Delta in Argentina (Albornoz et al., 2007); in Brazil and Uruguay it is found mainly associated to riparian forests (Backes and Irgang, 2002; Sobral et al., 2006).

Quaternary fossil record on RPG: few records in Holocene sequences from southern Brazil (Evaldt et al., 2014), mainly in the highlands of the Araucaria forest (Behling et al., 2016).

### Ulmaceae

#### *Phyllostylon* Capan. ex Benth & Hook.f. (Figura 3 R)

Description: monad, medium grain, radial symmetry, isopolar, amb circular, prolate, triporate, psilate.  $P = 26 \mu\text{m}$ ;  $E = 19 \mu\text{m}$ ;  $P/E = 1.37 \mu\text{m}$ .



Current occurrence on RPG: trees and shrubs associated to riparian forests and wetlands in Brazil, Argentina and Uruguay (Puerto, 1969; Marchioretto, 1988; Berg and Dahlberg, 2001; Pederneiras et al., 2011; Pederneiras and Machado, 2017; Abarca et al., 2022).

Quaternary fossil record on RPG: although the genus *Celtis* L. is common throughout grasslands of Argentina (Borromei, 1995; Prieto, 1996; Quattrocchio and Borromei, 1998; Grill, 2003; Tonello and Prieto, 2008; Stutz et al., 2010; De Francesco et al., 2022; Vuichard et al., 2023), Uruguay (Iriarte, 2006; Mourelle et al., 2015, 2018), and Brazil (Lorscheitter and Dillenburg, 1998; Behling et al., 2005; Macedo et al., 2007; Bauermann et al., 2008; Evaldt, 2014; Gu et al., 2018; Masetto and Lorscheitter, 2019), the only genus of the Ulmaceae family identified in this work was *Phyllostylon*.

## MYRTALES

### Combretaceae (Figure 3 S)

Description: monad, small grain, radial symmetry, isopolar, amb circular, subprolate, tricolporate, heterocolpate, reticulate.  $P = 24 \mu\text{m}$ ;  $E = 19 \mu\text{m}$ ;  $P/E = 1.26 \mu\text{m}$ .

Current occurrence on RPG: trees and shrubs occurring in the transition from aquatic to terrestrial forest environments and in other humid habitats (Linsingen et al., 2009; Bartz et al., 2015; Ribeiro et al., 2017) with few occurrences in southern Brazil (Souza et al., 2018). In Uruguay and Argentina, it also occurs in wet areas, both around riverbanks and beaches (Ramos et al., 2023).

Quaternary fossil record on RPG: few records on Pleistocene and Holocene in Argentina, but without genus characterization (Borromei, 1995). The genus *Combretum* Loefl. was identified in Holocene deposits from southern Brazil (Evaldt, 2014).

### Myrtaceae

#### *Myrcia* DC. (Figure 3 T)

Description: monad, small grain, radial symmetry, isopolar, amb triangular with concave sides, oblate, tricolporate to syncolporate, angulaperturate, psilate to scabrate.  $E = 22 \mu\text{m}$ .

Current occurrence on RPG: trees and shrubs found both in forest and open areas (Amorin et al., 2015; Sobral et al., 2014, 2015; Santos et al., 2017) in Brazil. It is a very common genus occurring over open habitats in Uruguay and Argentina (Lima et al., 2015; Santos et al., 2017; Amorin et al., 2019).

Quaternary fossil record on RPG: a very common grain pollen widely distributed in South American grasslands since the Late Pleistocene, commonly associated to riparian forests in Uruguay and Argentina (Grill, 1997; Tonello and Prieto, 2008; Gutierrez et al., 2011; Mourelle and Prieto, 2016; 2018) as well as in southern Brazil (Behling et al., 2005; Sobral et al., 2006; Masetto and Lorscheitter, 2019; Ribeiro et al., 2020).

### Lythraceae

#### *Cuphea* P.Browne

##### Type I (Figure 3 U)

Description: monad, small to medium grain, radial symmetry, isopolar, amb triangular with protruding angles, prolate, triporate, tricolporate, sincolpate, striate. P = 29  $\mu\text{m}$ ; E = 20  $\mu\text{m}$ ; P/E = 1.45  $\mu\text{m}$ .

##### Type II (Figure 3 V)

Description: monad; small grain; radial symmetry; isopolar; amb circular; prolate; diporate; striate. P = 25  $\mu\text{m}$ ; E = 16  $\mu\text{m}$ ; P/E = 1.56  $\mu\text{m}$ .

Current occurrence on RPG: herbs and shrubs that occur widely associated to humid grasslands in southern Brazil (Graham and Cavalcanti, 2013; Brauner and Cavalcanti, 2018; Facco et al., 2022); less frequent in Uruguay and Argentina, also associated to humid fields (Graham and Cavalcanti, 2013; Zuloaga et al., 2019).

Quaternary fossil record on RPG: no records in RPG. In southern Brazil it is associated with the expansion of the Araucaria forest in the highland areas during the late Pleistocene, being more common in the Holocene (Scherer and Lorscheitter, 2014).

### Melastomataceae

#### *Miconia* Ruiz & Pav. (Figure 3 W)

Description: monad; small grain; radial symmetry; isopolar; amb ellipsoidal; prolate spheroidal; triporate; heterocolpate; verrucate.  $P = 15.0 \mu\text{m}$ ;  $E = 7.5 \mu\text{m}$ .

Current occurrence on RPG: trees and shrubs occurring in different ecological conditions, both in open and forested areas (especially in riparian forests) in Brazil, Uruguay and Argentina (Souza, 1984; Marchant et al., 2002; Sieglösch et al., 2011; Slanis and Goldenberg, 2011; Michelangeli et al., 2013). Also, it may occur associated to dry and flooded areas as well on rocky outcrops and coastal formations in these countries (Goldenberg, 2004; Michelangeli et al., 2013).

Quaternary fossil record on RPG: only in this paper.

#### Vochysiaceae (Figure 3 X)

Description: monad, small grain, radial symmetry, isopolar, amb circular, oblate spheroidal, tricolpate, rugulate.  $P = 15 \mu\text{m}$ ;  $E = 17 \mu\text{m}$ ;  $P/E = 0.88 \mu\text{m}$ .

Current occurrence on RPG: trees and shrubs associated with riparian forests, mainly in shallow soils in Brazil and Uruguay (Sieglösch et al., 2011). In Argentina, very common in rocky soils from northern boundary of the Pampean Province (Velazco et al., 2018b).

Quaternary fossil record on RPG: only in this paper.

### SAPINDALES

#### Anacardiaceae

##### *Schinus* L. (Figure 3 Y)

Description: monad, medium grain, radial symmetry, isopolar, amb circular, subprolate, tricolporate, striate.  $P = 25 \mu\text{m}$ ;  $E = 21 \mu\text{m}$ ;  $P/E = 1.24 \mu\text{m}$ .

Current occurrence on RPG: trees and shrubs associated to forested environments (Sieglösch et al., 2013). It can be found in wet soils, being the most common genus in South Brazil, Uruguay and Argentina (Haretche et al., 2012; Hall and Gil, 2017). In Argentina, it occurs preferably in dry soils (Fabbroni and Cano, 2021).

Quaternary fossil record on RPG: very common taxon associated to xerophytic forests in Argentina (Quatrocchio and Borromei, 1994; Borromei, 1995, 1998; Grill; 2003; Anzótegui and Garralla, 2004; Grill and Morrás, 2010; Vilanova and Prieto, 2012)

and to riparian forests in southern Brazil (Behling et al., 2005; Macedo et al., 2007; Bauermann et al., 2008; Evaldt et al., 2014; Gu et al., 2018; Masetto and Lorscheitter, 2019), since the Pleistocene.

#### Sapindaceae (Figure 3 Z)

Description: monad, medium grain, radial symmetry, heteropolar, amb triangular, oblate, triporate, tricolporate, microrreticulate. E = 35  $\mu\text{m}$ .

Current occurrence on RPG: trees and shrubs very common in forest formation (Siegloch et al., 2013). In Argentina and Uruguay, it occurs in different ecological environments, especially in open areas, where shrubs are more representative (Rzedowski and Rzedowski, 2006).

Quaternary fossil record on RPG: few records in Holocene sequences from southern Brazil (Lorscheitter and Dillenburg, 1998; Macedo et al., 2007; Bauermann et al., 2008; Ribeiro et al., 2020).

#### Meliaceae (Figure 4 A)

Description: monad, medium grain, radial symmetry, isopolar, amb circular, prolate spheroidal, tricolpate, triporate, granulate. P = 32.3  $\mu\text{m}$ ; E = 29.2  $\mu\text{m}$ ; P/E = 1.11  $\mu\text{m}$ .

Current occurrence on RPG: trees and shrubs occurring associated to forest formations and riparian forests in Brazil (Flores et al., 2017; Gonçalves-Esteves et al., 2022). Few occurrences in Uruguay (Haretche et al., 2012) and Argentina (Zapater et al., 2004).

Quaternary fossil record on RPG: it is associated to Holocene deposits in the southern Brazil coastal plain (Macedo et al., 2007; Bauermann et al., 2008; Masetto and Lorscheitter, 2019).

#### Rutaceae (Figure 4 B)

Description: monad, medium grain, radial symmetry, heteropolar, amb subtriangular, prolate, tricolpate, microrreticulate. P = 31.9  $\mu\text{m}$ ; E = 19.4  $\mu\text{m}$ ; P/E = 1.60  $\mu\text{m}$ .

Current occurrence on RPG: trees and shrubs very common in forest formations (Siegloch et al., 2013). In Argentina there are few native genera that occur in different

habitats (Arana and Oggero, 2009; Garrala and Mautino, 2021), while in Uruguay Rutaceae is very common associated with palm forests (Rivas et al., 2017).

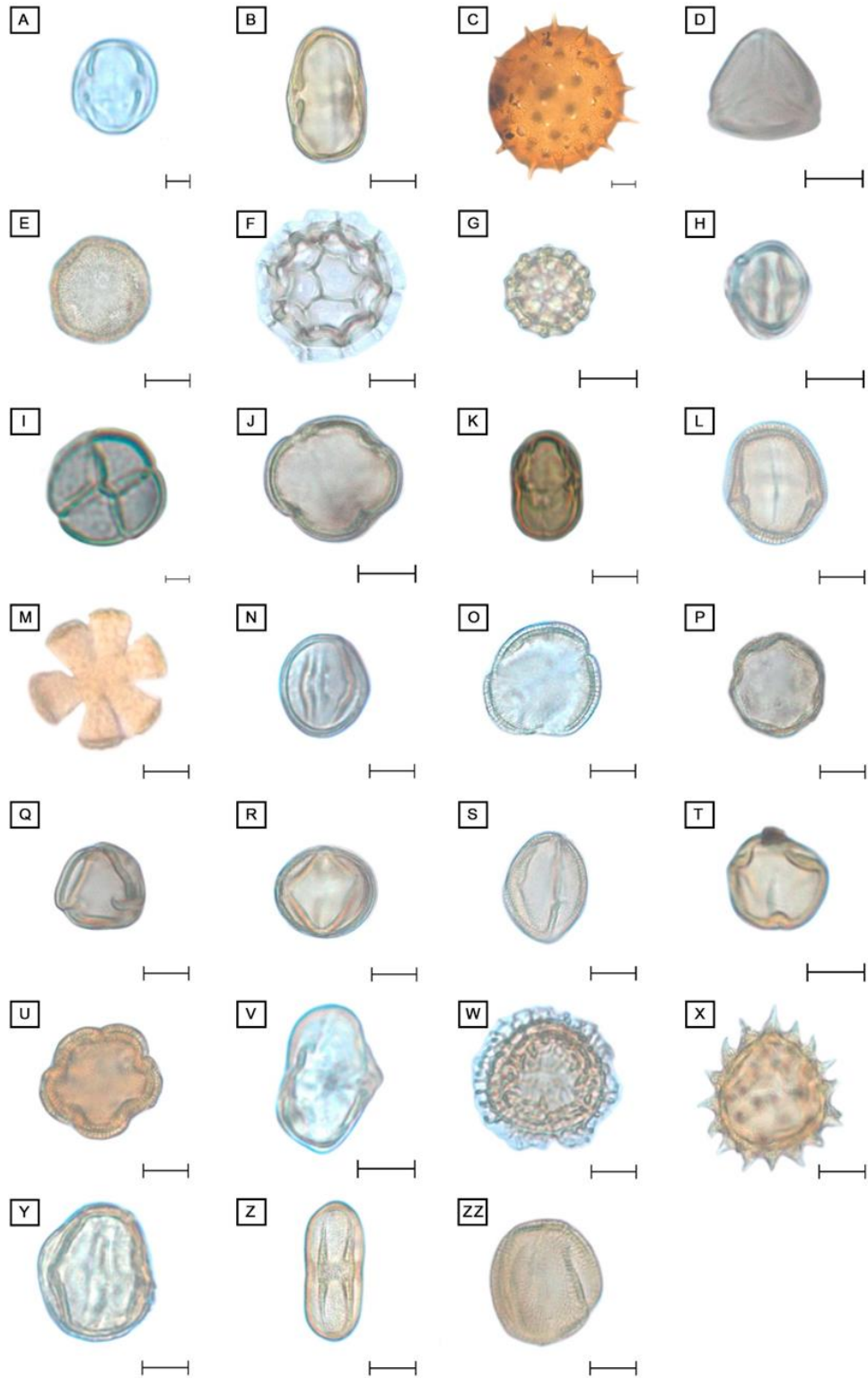


Figure 4. Meliaceae, EV (A); Rutaceae, EV (B); *Pavonia* Cav., GV (C); *Struthanthus* Mart., PV (D); *Cerastium* L., GV (E); *Polygonum* L., GV (F); Amaranthaceae, GV (G); Loasaceae, EV (H); Ericaceae, GV (I); *Myrsine* L. Jacq., PV (J); Sapotaceae, EV (K); *Justicia* Jacq., EV (L); *Hyptis* Jacq., PV (M); *Sinningia* Nees, EV (N); Orobanchaceae, PV (O); *Plantago* L., GV (P); *Lippia* L., PV (Q); *Convolvulus* L., EV (R); *Solanum* L., EV (S); Apocynaceae, PV (T); *Borreria* G.Mey., PV (U); *Tournefortia* L., EV (V); *Ilex* L., GV (W); Asteraceae, PV (X); Calyceraceae, EV (Y); *Eryngium* L., EV (Z); *Valeriana* L., EV (ZZ). Scale bar = 10  $\mu$ m. EV = Equatorial View. PV = Polar View. GV = General View.

Quaternary fossil record on RPG: few records throughout the Holocene in the Argentine coastal fields (Grill, 2003).

## MALVALES

### Malvaceae

#### *Pavonia* Cav. (Figure 4 C)

Description: monad, gigantic grain, radial symmetry, isopolar, amb circular, prolate spheroidal, pantoporate, columellate and echinate. D = 118  $\mu$ m.

Current occurrence on RPG: herbs and shrubs associated to areas of grasslands and rocky soils in Brazil (Grings and Boldrini, 2013; Pinto et al., 2013), Uruguay and Argentina (Minué and Gandullo, 2019; Colli-Silva and Pirani, 2021), where it is also found near bank rivers.

Quaternary fossil record on RPG: few records in Argentina (Gutierrez et al., 2011), but relatively common in southern Brazil (Evaldt et al., 2014; Ribeiro et al., 2020). All these records are associated with Holocene deposits.

## SANTALALES

### Loranthaceae

#### *Struthanthus* Mart. (Figure 4 D)

Description: monad, medium grain, radial symmetry, apolar, amb triangular, oblate spheroidal, tricolpate, reticulate. E = 30  $\mu$ m.

Current occurrence on RPG: parasitic herbs of wide occurrence in riparian forests (Caires and Dettke, 2010; Arruda et al., 2012; Dettke and Waechter, 2014).

Quaternary fossil record on RPG: a few records in Holocene deposits in southern Brazil (Evaldt et al., 2014).

## CARYOPHYALLES

### Caryophyllaceae

#### *Cerastium* L. (Figure 4 E)

Description: monad, medium grain, asymmetric, apolar, amb circular, prolate spheroidal, pantoporate, microequinate.  $D = 33 \mu\text{m}$ .

Current occurrence on RPG: herbs with restricted occurrence in the grasslands of southern Brazil (Marchioretto et al., 2010; Pinto et al., 2013), but relatively abundant in Uruguay and Argentina (Crovetto, 1967; Iamónico, 2022), where it occurs in different ecological habitats (Zanotti et al., 2022; Brignone, 2022).

Quaternary fossil record on RPG: genus uncommon in Argentina and Uruguay (Borromei, 1995, 1998; Gutierrez et al., 2011), but well documented in southern Brazil (Lorscheitter and Dillenburg, 1998; Neves et al., 2001; Behling et al., 2005; Bauermann et al., 2008), occurring associated with Pleistocene and Holocene sequences.

### Polygonaceae

#### *Polygonum* L. (Figure 4 F)

Description: monad, medium grain, radial symmetry, apolar, amb circular, prolate spheroidal, pantoporate, granulate.  $D = 25.45 \mu\text{m}$ .

Current occurrence on RPG: herbs and aquatic macrophytes in lakes and swamps widely distributed in Brazil, Uruguay and Argentina (Cialdella, 1989; Melo, 2000; Vicente et al., 2022).

Quaternary fossil record on RPG: a very common pollen grain associated to aquatic Pleistocene and Holocene environments in the RPG (Borromei, 1995; Anzótegui and Garralla; 2004; Vilanova et al., 2006; Iriarte, 2006; Stutz et al., 2010; Mourelle et al., 2015; 2018; Masetto and Lorscheitter, 2019; Ribeiro et al., 2020; Vuichard et al., 2023).

### Amaranthaceae (Figure 4 G)

Description: monad, small grain, radial symmetry, apolar, amb circular, prolate spheroidal, pantoporate, scabrate to psilate.  $D = 12 \mu\text{m}$ .

Current occurrence on RPG: herbs and subshrubs of wide distribution in the grasslands of southern Brazil (Marchioretto et al., 2008, 2010), as well as throughout Uruguay and in different portions of the Pampean Province (Morichetti et al., 2013; Bayón, 2022; Vuichard et al., 2023).

Quaternary fossil record on RPG: commonly associated to Pleistocene and Holocene field environments both in Argentina and Uruguay (Vilanova et al., 2006; Iriarte, 2006; Mourelle et al., 2017; Gu et al., 2018), as also in southern Brazil (Behling et al., 2005; Macedo et al., 2007; Bauermann et al., 2008; Evaldt et al., 2014; 2018; Masetto and Lorscheitter, 2019; Ribeiro et al., 2020).

## CORNALES

### Loasaceae (Figure 4 H)

Description: monad, medium grain, radial symmetry, isopolar, amb elipsoidal, prolate, tricolporate, reticulate.  $P = 31 \mu\text{m}$ ;  $E = 22 \mu\text{m}$ ;  $P/E = 1.41 \mu\text{m}$ .

Current occurrence on RPG: in Brazil and Uruguay it is found more frequently in forest edges, as herbs and shrubs, in temporarily flooded areas or rocky terrains (Fuhro et al., 2015; Mai et al., 2022). In Argentina it occurs in different ecological habitats, especially in rocky terrains (Santilli et al., 2020; Slanis and Bulacio, 2022).

Quaternary fossil record on RPG: only in this paper.

## ERICALES

### Ericaceae (Figure 4 I)

Description: globular tetrad, medium to large grain, radial symmetry, heteropolar, amb circular, prolate spheroidal, tricolporate, verrucate to microrugulate.  $P = 45.0 \mu\text{m}$ ;  $E = 43.2 \mu\text{m}$ ;  $P/E = 1.04 \mu\text{m}$ .

Current occurrence on RPG: trees and shrubs associated to open areas, especially in nutrient-poor soils throughout the RPG (Grela and Brussa, 2005; Deble et al., 2013; Teillier et al., 2019).

Quaternary fossil record on RPG: only in this paper.

### Myrsinaceae



*Myrsine* L. (Figure 4 J)

Description: monad, small grain, radial symmetry, isopolar, amb circular, prolate spheroidal, tetracolpate, psilate.  $P = 23 \mu\text{m}$ ;  $E = 21 \mu\text{m}$ ;  $P/E = 1.10 \mu\text{m}$ .

Current occurrence on RPG: trees very common in Brazil and Uruguay, occurring in both forested and open areas (Longhi et al., 1999; Freitas and Carrijo, 2008; Freitas and Kinoshita, 2005). Few occurrences in riparian forest in Argentina (Paschoa et al., 2018).

Quaternary fossil record on RPG: common taxon occurring in the northern sector of the RPG (Mourelle et al., 2015; Gu et al., 2018; Mourelle et al., 2017; Mourelle et al., 2018), as well as in the PB (Behling et al., 2005; 2016; Macedo et al., 2007; Bauermann et al., 2008; Masetto and Lorscheitter, 2019). According to the same authors, *Myrsine* is relatively rare in the Pleistocene, becoming more common in the Holocene.

## Sapotaceae (Figure 4 K)

Description: monad, small grain, radial symmetry, isopolar, amb elipsoidal, prolate to perprolate, tricolporate, reticulate.  $P = 15 \mu\text{m}$ ;  $E = 9 \mu\text{m}$ ;  $P/E = 1.67 \mu\text{m}$ .

Current occurrence on RPG: trees and shrubs occurring associated with riparian forests (Fabris and Peixoto, 2013; Mônico et al., 2017). In Uruguay it occurs in coastal areas covered with psammophilic vegetation (Delfino et al., 2005) and in Argentina it is more common in the central and northern portion of the country (Garralla and Mautino, 2021).

Quaternary fossil record on RPG: few records associated to Holocene deposits in Argentina (Anzótegui and Garralla, 2004) and Brazil (Masetto and Lorscheitter, 2019).

## LAMIALES

## Acanthaceae

*Justicia* L. (Figure 4 L)

Description: monad, medium grain, radial symmetry, isopolar, amb circular to subtriangular, perprolate, tricolpate, scabrate.  $P = 30 \mu\text{m}$ ;  $E = 14 \mu\text{m}$ ;  $P/E = 2.14 \mu\text{m}$ .

Current occurrence on RPG: herbs and shrubs common in riparian forests of grasslands formations, where there is a higher amount of humidity (Marchioretto et al., 2015; Lauton et al., 2022), or associated to open areas with low humidity, as in the case of Uruguay and Argentina (Ezcurra, 2002).

Quaternary fossil record on RPG: few records in Holocene sequences from southern Brazil (Macedo et al., 2007; Evaldt et al., 2014).

#### Lamiaceae

##### *Hyptis* Jacq. (Figure 4 M)

Description: monad, small grain, radial symmetry, heteropolar, amb subcircular, prolate spheroidal, polycolpate (six colpos), reticulate.  $D = 42 \mu\text{m}$ .

Current occurrence on RPG: herbs present in any grassland ecological environment being more abundant in southern Brazil and northern Uruguay (Bordignon et al., 1998; Boldrini et al., 2010; Harley and Pastore, 2012; Soares et al., 2022). Few occurrences reported from Argentinian grasslands (O'Leary, 2015).

Quaternary fossil record on RPG: there are few records in Pleistocene deposits in Argentina (Grill and Morrás, 2010; Gutierrez et al., 2011), but it is a very common grain pollen described in Holocene sediments from southern Brazil (Neves et al., 2001; Macedo et al., 2007; Bauermann et al., 2008; Evaldt et al., 2014).

#### Gesneriaceae

##### *Sinningia* Ness. (Figure 4 N)

Description: monade, small grain, radial symmetry, isopolar, amb subtriangular, subprolate, tricolporate, microrreticulate.  $EE = 20 \mu\text{m}$ .

Current occurrence on RPG: common herbs in rupicolous or grassland environments with poorly drained sandy soils (Ferreira et al., 2016). In Uruguay and Argentina, it occurs more commonly associated to coastal areas (Gasparino et al., 2021).

Quaternary fossil record on RPG: only in this paper.

#### Orobanchaceae (Figure 4 O)

Description: monad, small grain, radial symmetry, heteropolar, amb subtriangular, prolate spheroidal, tricolporate, microrreticulate.  $P = 23 \mu\text{m}$ ;  $E = 20 \mu\text{m}$ ;  $P/E = 1.15 \mu\text{m}$ .

Current occurrence on RPG: shrubs and subshrubs occurring in montane grasslands in central and southern Brazil (Boldrini, 2009; Souza et al., 2022). Very common in open areas of Uruguay and Argentina (Ortiz et al., 2021).

Quaternary fossil record on RPG: only in this paper.

## Plantaginaceae

### *Plantago* L. (Figure 4 P)

Description: monad, small to medium grain, radial symmetry, isopolar, amb subtriangular, tricolporate, reticulate to scabrate.  $D = 20 \mu\text{m}$ .

Current occurrence on RPG: common herbs in grasslands permanently or periodically flooded (Hefler et al., 2011). Found in Uruguay and Argentina in the northern sectors of the Pampean Province (Hassemer et al., 2015; Matzenauer et al., 2019).

Quaternary fossil record on RPG: a grain pollen commonly detected in grasslands since the Pleistocene in southern Brazil (Lorscheitter and Dillenburg, 1998; Macedo et al., 2007; Bauermann et al., 2008; Evaldt et al., 2014; Behling et al., 2016), Uruguay and Argentina (Borronei, 1995; Borronei and Quattrocchio, 1994; Gutierrez et al., 2011; Mourelle et al., 2017; De Francesco et al., 2022; Vuichard et al., 2023).

## Verbenaceae

### *Lippia* L. (Figure 4 Q)

Description: monad, small to medium grain, radial symmetry, isopolar, amb subtriangular, tricolporate, reticulate to scabrate.  $D = 20 \mu\text{m}$ .

Current occurrence on RPG: shrubs of grassland areas, occurring in both dry and wet soils from southern Brazil, Uruguay and northern Argentina (Thode and Metz, 2010; O'Leary et al., 2011; Lu-Irving et al., 2021).

Quaternary fossil record on RPG: few records in Holocene sequences from southern Brazil (Bauermann et al., 2008) and Argentina (Grill, 2003, Vilanova et al., 2010).

## SOLANALES

### Convolvulaceae

#### *Convolvulus* L. (Figure 4 R)

Description: monad, large grain, radial symmetry, isopolar, amb circular, prolate, pantocolpate, psilate.  $P = 38 \mu\text{m}$ ;  $E = 25 \mu\text{m}$ ;  $P/E = 1.52 \mu\text{m}$ .

Current occurrence on RPG: shrubs widely distributed in grassy areas or edges of forest environments (Ferreira and Miotto, 2013). Few occurrences in Uruguay and Argentina, where it occurs in dry and open areas (Moreira et al., 2020).

Quaternary fossil record on RPG: few records in Argentina, where it is more abundant during the Pleistocene (Borromei, 1995, 1998; Grill, 2003), but only in Holocene sequence in Brazil (Macedo et al., 2009; Masetto and Lorscheitter, 2019).

### Solanaceae

#### *Solanum* L. (Figure 4 S)

Description: monad, small grain, radial symmetry, isopolar, amb subtriangular, oblate spheroidal, tricolpate, tectate.  $P = 18 \mu\text{m}$ ;  $E = 19 \mu\text{m}$ ;  $P/E = 0.95 \mu\text{m}$ .

Current occurrence on RPG: shrubs found in rupicolous and in sandy terrains in southern Brazil, Uruguay and Argentina coastal plains (Celsi and Monserrat, 2008; Soares et al., 2011; Palchetti et al., 2020; Landi et al., 2021).

Quaternary fossil record on RPG: there are records of this genus along the late Pleistocene and Holocene in Argentina and Uruguay (Borromei, 1998; Quattrocchio and Borromei, 1998; Stutz et al., 2002; Grill, 2003; Grill and Morrás 2010; Gutierrez et al., 2011), and also in southern Brazil (Bauermann et al. 2008; Evaldt et al., 2014).

## GENTIANALES

### Apocynaceae (Figure 4 T)

Description: monad, medium grain, radial symmetry, isopolar, amb circular, suboblate, heterocolpate, microrreticulate.  $P = 39 \mu\text{m}$ ;  $E = 45 \mu\text{m}$ ;  $P/E = 0.87 \mu\text{m}$ .

Current occurrence on RPG: trees, shrubs and herbs occurring both on forested and open areas (Barth and Lutz, 2008; Artico et al., 2010). It is a family very commonly found in southern Brazil, Uruguay and Argentina (González and Keller, 2020).

Quaternary fossil record on RPG: few descriptions, all of them associated to late Pleistocene and Holocene deposits in Uruguay (Iriarte, 2006) and Brazil (Evaldt et al., 2014; Ribeiro et al., 2020).

## Rubiaceae

### *Borreria* G.Mey. (Figure 4 U)

Description: monad, small to large grain, radial symmetry, isopolar, amb circular, prolate spheroidal, pantoporate (5 colpos), microrreticulate.  $D = 24 \mu\text{m}$ .

Current occurrence on RPG: herbs or subshrubs in forested areas through Brazil (Gonçalves-Esteves et al., 2020; Dutra et al., 2020) and grasslands in southern Brazil (Joly, 2002; Vitarelli and Santos, 2009). Very common in Uruguay and Argentina, being more distributed in the transition zone between the Chaco and Pampean provinces (Chiapella and Demaio, 2015), as well on the Mesopotamic Pampa (Miguel et al., 2022).

Quaternary fossil record on RPG: present in Argentina (Borrromei, 1995; Grill, 2003), Uruguay (Iriarte, 2006) and southern Brazil (Behling et al., 2005; Bauermann et al., 2008; Evaldt et al., 2018; Ribeiro et al., 2020). All these previous works recorded Rubiaceae during the Pleistocene and Holocene.

## BORAGINALES

## Boraginaceae

### *Tournefortia* L. (Figure 4 V)

Description: monad, medium grain, radial symmetry, isopolar, amb subtriangular, prolate, tricolporate, microrreticulate.  $P = 30 \mu\text{m}$ ;  $E = 21 \mu\text{m}$ ;  $P/E = 1.43 \mu\text{m}$ .

Current occurrence on RPG: trees and shrubs associated with riparian forests (Vaccaro and Longhi, 1995; Gilbert and Favoreto, 2012) and open dry areas in Brazil, Uruguay and Argentina (Melo, 2007; Melo and Lyra-Lemos, 2008; Cavalheiro et al., 2011).

Quaternary fossil record on RPG: few records associated to Pleistocene and Holocene deposits in Argentina (Borrromei, 1995) and southern Brazil (Macedo et al., 2007; Bauermann et al., 2008).

## AQUIFOLIALES

### Aquifoliaceae

#### *Ilex* L. (Figure 4 W)

Description: monad, medium grain, radial symmetry, isopolar, amb circular, peroblate, tricolporate, corrugate.  $P = 31 \mu\text{m}$ ;  $E = 30 \mu\text{m}$ ;  $P/E = 1.03 \mu\text{m}$ .

Current occurrence on RPG: trees and shrubs associated to riparian forests in lowland areas in Brazil (Cabral et al., 2019) In Uruguay it occurs as isolated forms (Gilberti, 1979; Martínez et al., 1997; Ramírez and Sámuel, 2022). It also occurs in Argentina, but not in open areas within RPG (Gonzales and Tarragó, 2009).

Quaternary fossil record on RPG: wide occurrence in the pollen records since the Pleistocene of the RPG in both Uruguay (Mourelle et al., 2018), and Brazil (Lorscheitter and Dillenburger, 1998; Macedo et al., 2007; Bauermann et al., 2008; Behling et al., 2016; Masetto and Lorscheitter, 2019; Ribeiro et al., 2020).

## ASTERALES

### Asteraceae (Figure 4 X)

Description: monad, small grain, radial symmetry, heteropolar, amb subtriangular to triangular, tricolporate, echinate.  $EE = 24 \mu\text{m}$ .

Current occurrence on RPG: herbs and shrubs common in open areas in Brazil, Uruguay and Argentina (Mondin and Vasques, 2004; Heiden et al., 2009; Fagundes et al., 2015). In Uruguay it occurs widely in different soils always in open areas (Rodríguez-Craverro et al., 2019; Valtierra et al., 2021). In Argentina it is one of the most common herbs occurring in open areas and different soils (Katinas et al., 2007; Schiavinato and Bartoli, 2020; Sabatino and Deble, 2022), as well as in the Tandilia and Ventania mountains (Crisci et al., 2001).

Quaternary fossil record on RPG: like Poaceae, Asteraceae is one of the most common and abundant pollen types broadly described in the RPG, with records in Argentina and Uruguay (Borromei, 1995; Grill, 2003; Prieto et al., 2004; Iriarte, 2006; Vilanova et al., 2010; Vilanova and Prieto, 2012; Mourelle et al., 2015; Gu et al., 2018), as well as in southern Brazil (2008; Behling et al., 2005; Masetto and Lorscheitter, 2019; Ribeiro et al., 2020).

## Calyceraceae (Figure 4 Y)

Description: monad, small grain, radial symmetry, apolar, amb triangular, prolate spheroidal, tricolporate, microrreticulate.  $P = 13 \mu\text{m}$ ;  $E = 12 \mu\text{m}$ ;  $P/E = 1.08 \mu\text{m}$ .

Current occurrence on RPG: herbs that occur both in riparian forests and in open areas in Brazil (Magenta, 2020). In Uruguay it occurs throughout the country. Only a few genera were recorded in the northern and central portion of the Argentinean Pampa (Zavala-Gallo et al., 2011; Denham et al., 2016).

Quaternary fossil record on RPG: only in this paper.

## APIALES

### Apiaceae

#### *Eryngium* L. (Figure 4 Z)

Description: monad, medium grain, radial symmetry, heteropolar, amb ellipsoidal, prolate to perprolate, tricolporate, psilate.  $P = 43 \mu\text{m}$ ;  $E = 17 \mu\text{m}$ ;  $P/E = 2.53 \mu\text{m}$ .

Current occurrence on RPG: herbs that occur in different physiographic regions (Lucas and Boldrini, 2018), although preferentially in humid grasslands and marshes (Quadros and Pillar, 2002; Joly, 2002; Calviño and Martínez, 2007; Marchi et al., 2018). It occurs throughout Uruguay (Brussa and Grella, 2007; Calviño et al., 2008). In Argentina it is very common in the northern sector of the Pampean province (Calviño et al., 2008; Oyarzabal et al., 2018).

Quaternary fossil record on RPG: a very common herb widely detected in Pleistocene and Holocene deposits in Uruguay and Argentina (Stutz et al., 2002; Vilanova et al., 2006, 2010; Vilanova and Prieto, 2012; Iriarte, 2006; Tonello and Prieto, 2008; Tonello e Prieto, 2010; Mourelle and Prieto, 2012; Mourelle et al., 2015; Gu et al., 2018; De Francesco et al., 2022; Vuichard et al., 2023), as well as in southern Brazil (Lorscheitter and Dillenburger, 1998; Behling et al., 2005, 2016; Macedo et al., 2007; Bauermann et al., 2008; Evaldt et al., 2014; Ribeiro et al., 2020).

## DIPSACALES

### Valerianaceae

#### *Valeriana* L. (Figure 4 ZZ)

Description: monad, medium grain, radial symmetry, isopolar, amb ellipsoidal, prolate spheroidal, tricolporate, microechinate.  $P = 28.8 \mu\text{m}$ ;  $E = 25.6 \mu\text{m}$ ;  $P/E = 1.13 \mu\text{m}$ .

Current occurrence on RPG: herbs and subshrubs in open areas in southern Brazil (Longhi-Wagner et al., 2008). It occurs more frequently in western borders of the Pampean province in Argentina (Kutschker, 2011; Kutschker and Morrone, 2012; Zanotti et al., 2014), especially in rocky terrains (Méndez, 2010). Few occurrences in Uruguay (Zuloaga et al., 2019).

Quaternary fossil record on RPG: recorded in Holocene deposits in southern Brazil (Macedo et al., 2007; Bauermann et al., 2008).

## 6. Discussion

According to stratigraphic aspects observed in the drill core and previously discussed by Bocalon et al. (2023), the sandy sequence at the base was formed in a shallow and ephemeral body of water, where a significant amount of sediment was deposited. This occurred because there was no vegetation covering the margins, which would have otherwise helped to prevent erosion. The sediment has a light gray color and shows the lowest values of organic matter, evidencing an unwelcoming environment for the preservation of plant remnants. The climatic characteristics would be associated with drier conditions which would last between 17,424 cal BP and  $11,320 \pm 60$  cal BP (Iriando and Garcia, 1993; Iriarte, 2006; Tonelo and Prieto, 2010; Paez et al., 2015; Novello et al., 2017; Cuña-Rodríguez et al. 2020; Lopes et al., 2023; Ribeiro et al., 2024). When the input of sand ceases, it is observed an increase in the mud supply associated to an increase in organic matter. That means an increase in humidity levels, which creates favorable conditions for the preservation of organic matter. This change is likely linked to a more stable water table. These wetter climatic conditions are more evident between 8,000 and 5,000 years B.P. (Borromei, 1995; Prieto, 1996; Quattrocchio et al., 2008; Grill and Morrás, 2010; Paez et al., 2015), a period informally designated in Argentina as “Platense Stage” (Iriando and Garcia, 1993) and were detected elsewhere in South America (Bernal et al., 2016; Guerra et al., 2017). Up to higher sequences, the sediment is muddy and contains high levels of organic matter and plant remains, indicating a perennial and anoxic aquatic condition fully established at the time of peat evolution, already showing the current weather conditions (Bocalon et al., 2023).



Figure 5 shows the distribution of pollen grains identified with the records of studies carried out in countries covered by the RPG, here informally designated as Argentinian, Uruguayan and Brazilian sectors. Based on the identified pollen grains, it is seen that the open vegetation has always been predominant throughout the studied interval, i.e., since the early deglaciation, and that the amount of identified herbaceous and forest taxa is practically the same. In total, 52 pollen grains were identified, of which 25 are herbs, 22 trees, and five of aquatic constituents. However, data referring to the sum of the pollen grains show a predominance of grassland taxa throughout the entire drill core (Bocalon et al., 2023). The lowest values are associated with the basal interval (between 3.20 and 2.50 m), while the highest values are concentrated in the interval between 1.70 and 0.50 m. Within these same intervals higher concentrations of aquatic taxa are also observed.

The most abundant taxon is Poaceae, occurring in large quantities all through the core. The omnipresence of Poaceae is a phenomenon that predominates in the RPG according to many studies carried out on Argentina, Uruguay, and Brazil (Borromei, 1995; Grill, 2003; Behling et al., 2005; Tonello and Prieto, 2008; García-Rodríguez et al., 2010; Evaldt et al., 2014; Masetto and Lorscheitter, 2019; Ribeiro et al., 2020). Asteraceae, Apiaceae, Amaranthaceae, Rubiaceae, Lamiaceae, Euphorbiaceae, Ephedraceae and Cyperaceae are also some of the most important taxa identified along the core. However, while in the northern portion of the RPG (Brazil and Uruguay) Poaceae is generally associated with Asteraceae, in the southern portion (Argentina) Chenopodiaceae is the main taxon associated with Poaceae (Borromei, 1995; Grill, 2003; García-Rodríguez et al., 2010). Chenopodiaceae was not identified in the present study. When compared with other sectors of the RPG, in the studied area Poaceae shows very high values, surpassing 80%, similar to those obtained by Mourelle et al. (2015, Uruguayan coast of the Río de la Plata Estuary) and higher than those identified in Argentina (Borromei, 1995; Grill, 2003; Quattrocchio and Borromei, 1998), where the average values do not exceed 50%. The presence of Chenopodiaceae in the southern portion of the Argentinian sector shows that the dynamics of the vegetation there would have been different. While in the Uruguayan and Brazilian sectors, during the Upper Pleistocene a savanna-type vegetation predominated associated to C<sub>4</sub> grasses, in the southern portion of the Argentinian sector, the predominant vegetation was steppe associated to C<sub>3</sub> grasses. These conclusions were obtained not only by palynological records (Barreda et al., 2007), but

Río de La Plata Grasslands Countries

	Brazil	Uruguay	Argentina
<b>FIELD</b>			
Poaceae			
Asteraceae			
<i>Eryngium</i> L.			
Amaranthaceae			
<i>Borreria</i> G.Mey.			
<i>Hyptis</i> Jacq.			
<i>Croton</i> L.			
<i>Ephedra</i> Tourm. ex L.			
<i>Eleocharis</i> R.Br.			
<i>Berberis</i> L. *			
Calyceae *			
<i>Convolvulus</i> L.			
<i>Sisyrinchium</i> L.			
<i>Polygala</i> L.			
<i>Cuphea</i> P.Browne			
<i>Pavonia</i> Cav.			
<i>Plantago</i> L.			
<i>Valeriana</i> L.			
<i>Lippia</i> L.			
<i>Cerastium</i> L.			
Orobanchaceae			
<i>Solanum</i> L.			
<i>Justicia</i> L.			
<i>Erythroxylum</i> P.Browne			
<i>Sinningia</i> Ness. *			
<b>FOREST</b>			
<i>Myrcia</i> DC.			
Rutaceae			
Mimosoideae			
Apocynaceae			
<i>Mimosa</i> L.			
Annonaceae *			
<i>Miconia</i> Ruiz & Pav.			
Loasaceae *			
<i>Struthanthus</i> Mart.			
<i>Roupala</i> Aubl.			
<i>Phyllostylon</i> Capan. ex Benth & Hook.f. *			
Vochysiaceae *			
<i>Schinus</i> L.			
<i>Ilex</i> L.			
Arecaceae			
Ericaceae *			
<i>Tournefortia</i> L.			
Meliaceae			
<i>Myrsine</i> L.			
<i>Prunus</i> L.			
Sapindaceae			
Sapotaceae			
<b>AQUATICS</b>			
<i>Myriophyllum</i> L.			
<i>Polygonum</i> L.			
<i>Typha</i> L.			
<i>Echinodorus</i> Rich. Ex Engelm.			
Combretaceae			

Figure 5. Spatial distribution in the RPG of pollen grains identified in this work. The taxa marked with an asterisk (\*) are described for the first time in RPG.

also by mammal vertebrate paleontology (Fariña, 1995; Prado et al., 2021). During the Holocene, all sectors of the RPG would share a more homogeneous savanna-like landscape, and this landscape would also extend to northwestern areas, beyond the current RPG boundaries (Vivo and Carmignoto, 2004; Velazco et al., 2018b).

Regarding arboreal taxa, the most abundant (5-15%) are Myrtaceae, Rutaceae and Fabaceae (Mimosoideae). In smaller quantities (5%) were identified Apocinaceae, Loranthaceae, Ulmaceae, Vochisiaceae, Myrsinaceae, and Sapindaceae. A large number of taxa occurring with amounts less than 5% were identified, they being Fabaceae (*Mimosa* L.), Annonaceae, Melastomataceae, Loasaceae, Proteaceae, Anacardiaceae, Aquifoliaceae, Arecaceae, Ericaceae, Boraginaceae, Meliaceae, Rosaceae and Sapotaceae. If compared to the Uruguayan and Argentinian sectors of the RPG, the diversity of forest taxa is greater in the present study. Some of these taxa are shared in the Brazilian, Uruguayan, and Argentinean sectors of the RPG, like Myrtaceae (*Myrcia* DC.), Fabaceae (Mimosoideae), Aquifoliaceae (*Ilex* L.), Arecaceae, Ulmaceae and Vochisiaceae. Annonaceae, Ulmaceae (*Phyllostyllum* Capan.ex Benth & Hook.f.), Loasaceae, Ericaceae and Orobanchaceae are for the first time being registered in the RPG. This shows that the Brazilian sector of the RPG presents a greater contribution of tropical taxa, while the Uruguayan and Argentinian sectors are influenced by temperate taxa contribution, once the principal trees are *Podocarpus* L'Hér. Ex Pers., *Nothofagus* Blume, *Salix* L. and *Phyllanthus* L. (Borromei, 1995; Tonello and Prieto, 2008; Vilanova et al., 2006; Mourelle et al., 2015; Gu et al., 2018). The influence of tropical taxa on the Brazilian portion of the RPG (Figure 6) was previously detected by Behling et al. (2005) and Mourelle et al. (2018).

Aquatic pollens occur along the entire core, being more abundant at 2.50 m depth and towards the top, reaching maximum values between 1.70 and 0.50 m. These taxa comprise Halloragaceae (*Myriophyllum* L.), Polygonaceae (*Polygonum* L.), Typhaceae (*Typha* L.), Alismataceae (*Echinodorus* Rich. ex Engelm.) and Combretaceae, all of them commonly described throughout the RPG (Borromei, 1995; Quatrocchio and Borromei, 1998; Behling et al., 2005; Mourelle et al., 2012; Evaldt, 2014; Masetto and Lorscheitter, 2019).

The palynological data reveal that there were some variations in the vegetation during the time interval herein analyzed (Bocalon et al., 2023). This difference was noted in relation to taxa with frequencies exceeding 10%, and it is associated with

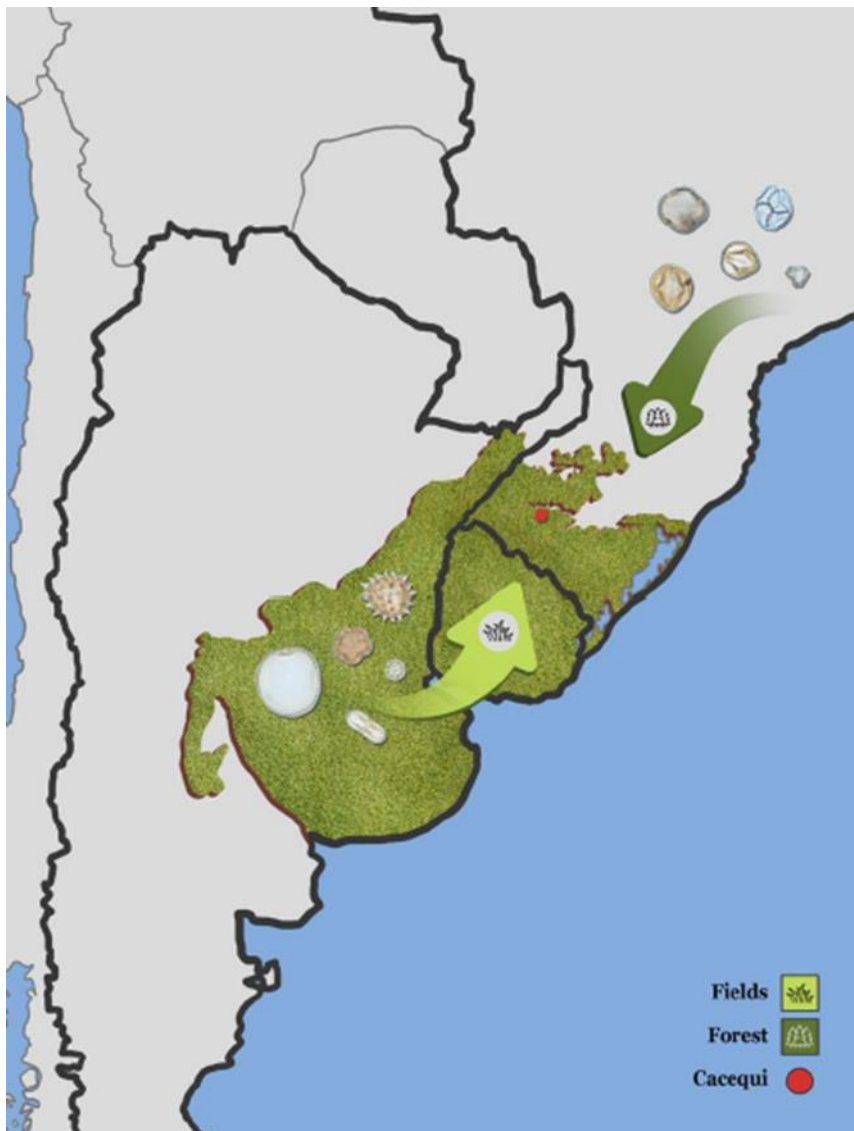


Figure 6. The influence of tropical taxa in the Brazilian portion of the RPG. Such taxa refer, especially, to arboreal ones.

changes in humidity level that fluctuate over time. Despite the expected correlation between an increase in humidity and the rise of arboreal taxa, it was actually the increase in aquatic taxa that characterized the observed changes in humidity level. The increase in humidity observed between 1.70 and 0.50 m is in conformity with the data obtained along the RPG (Prieto, 1996; Behling et al., 2005; Iriarte, 2006; Paez et al., 2015; Mourelle and Prieto, 2016; Gu et al., 2018).

It is important to note that most of the pollen taxa associated with the identified grasslands are the same ones found in the current composition of plant diversity of the PB. According to Boldrini et al. (2015), the main plant species occurring in the PB are Poaceae (423 species), Asteraceae (480), Fabaceae (234), Cyperaceae (145),

Malvaceae (83), Verbenaceae (67), Cactaceae (57), Iridaceae (57) and Apiaceae (32). Except for Cactaceae, all of them were identified in the present study, which strongly suggests that the plant diversity of the PB would have been established in a period prior to the late Pleistocene. The oldest data obtained for RPG are found in Águas Claras Peat (last 38.000 years; Ribeiro, 2024), Mar Chiquita, Córdoba province, Argentina (last 25,000 years; Cuña-Rodríguez et al., 2020), São Francisco de Assis municipality, southern Brazil (last 22,000 years; Behling et al., 2005) and southern Brazilian continental shelf (last 19,000 years; Gu et al., 2018). All these studies point to the presence of grassy landscapes already established in this period, with Poaceae, Asteraceae and Apiaceae being the predominant plant families at this time. Even works carried out beyond the current limits of RPG show these prevailing conditions, as in the case of the northern portion of the state of Rio Grande do Sul (Behling et al., 2004; Leonhardt and Lorscheitter, 2010; Jeske-Pierushka and Behling, 2011; Spalding and Lorscheitter, 2015; Roth and Lorscheitter, 2021), and the southeastern portion of the state of Santa Catarina (Behling, 1995; Perin et al., 2021; Botezzini et al., 2021).

In the Brazilian and Uruguayan sectors, although the pollen taxa reveal a vegetation adapted mainly to dry environments, the current climatic conditions favor the development of forested vegetation (Verdum, 2016; Buriol et al., 2019). Such adaptations consist mainly in the reduction of leaf thickness, as well as the presence of waterproofing oils and waxes in the exposed portions of the plants, among others (Boldrini et al., 2010; Bencke, 2016). According to many authors, such adaptations indicate that these plants constitute relicts of a past period in which dry climate conditions predominated (Lindman, 1906; Rambo, 1956; Crawshaw et al., 2007; Boldrini et al., 2010; Bencke, 2016; Verdum, 2016; Hasenack et al., 2019; 2023).

## **7. Conclusions**

The grassland communities observed in the studied drill core exhibit a floristic composition that closely resembles the vegetation found today in the vicinity of Cacequi municipality, with Poaceae, Asteraceae, Fabaceae and Rubiaceae being the most abundant families. Fifty-two taxa related to phanerogams were identified, as follows: 25 associated to fields, 22 to forests and five to aquatic environments. All grassland-related pollen taxa have current equivalents except Cactaceae, not identified in the present study. The palynological content is dispersed in muddy sediments rich in organic matter, which were deposited in the sandy bottom of a lake with variable hydraulic conditions from intermittent to perennial system. Humidity

fluctuations were identified based on the quantitative study of aquatic taxa, since the other taxa were not suitable for this analysis. Aquatic pollen grains are more abundant and diverse only in the interval between 1.70 and 0.50 m (4.965 kal yr BP), during the period of maximum humidity in the PB. Despite the small changes in humidity, it is noteworthy that the prevalence of grassland vegetation similar to current fields indicates that the PB plant diversity was established before the early deglaciation, during a period when dry climatic conditions prevailed.

### Declaration of Competing Interest

The authors declare that there is no conflict of interest, both personal and professional, that could discredit the works recorded in this article.

### Acknowledgements

Biologists Andreia Evaldt, Jefferson Radaeski and Francini Paz helped with laboratory activities; Roberta Radaeski, biol. Leone Genz and Luiz Pancotte helped with the elaboration of figures. We thank two anonymous reviewers for their important suggestions that greatly improved our manuscript. The National Research Council financed field and laboratory activities through the MCT/CNPq/MEC/CAPES/FNDCT – Ação Transversal/FAPs Nº 47/2010 – Sistema Nacional de Pesquisa em Biodiversidade – SISBIOTA BRASIL Public Notice. João Carlos Coimbra and María Alejandra Gomez Pivel are grateful to the Brazilian National Council for Scientific and Technological Development (CNPq), respectively for grants 309394/2021-0 and 315684/2021-6.

### References

- Abarca, C., Barrera, M., Arturi, M., Allegrucci, N., Velázquez, M.S., 2022. Invasion of *Celtis tala* forests by *Ligustrum lucidum* in Argentina: impact on soil properties and the arbuscular mycorrhizal fungi Community. *Can. J. For. Res.* 52, 27-48. <https://doi.org/10.1139/cjfr-2020-0325>
- Aguiar, A.C.A., Marques, M.C.M., Yamamoto, K., 2008. Taxonomia das espécies *Polygala* L. Subg. Hebeclada (Chodat) BLAKE (Polygalaceae) ocorrentes no Brasil. *R. Bras. Bioci.* 6, 81-109. <https://seer.ufrgs.br/index.php/rbrasbioci/article/view/114741>
- Aita, A.M., Chauveau, O., Souza-Chies, T.T., Eggers, L., 2013. Two new species of *Sisyrinchium* L. (Iridaceae) from subtropical Highland grasslands of southern Brazil. *Phytotaxa* 88, 9-18. <http://dx.doi.org/10.11646/phytotaxa.88.1.3>

Albornoz, P., Arias, M., Castagnaro, A., Ricci, J.C.D., 2007. Comparative root anatomy of *Duchesnea indica*, *Fragaria vesca* and *Potentilla tucumanensis* (Rosaceae) in Tucumán province, Argentina. *Adansonia* 29, 255-267.

Amorim, B.S., Maciel, J.R., Alves, M., 2015. New geographical records of *Myrcia* s.l. (Myrteae, Myrtaceae) from South America, with a focus on Brazilian taxa. *Chek List* 11, 1592. <http://dx.doi.org/10.15560/11.2.1592>

Amorim, B.S., Vasconcelos, T.S.N.C., Souza, G., Alves, M., Antonellie, A., Lucas E., 2019. Advanced understanding of phylogenetic relationships, morphological evolution and biogeographic history of the mega-diverse plant genus *Myrcia* and its relatives (Myrtaceae: Myrteae). *Mol. Phylogenet. Evol.* 138, 65-88. <https://doi.org/10.1016/j.ympev.2019.05.014>

Andrade, B.O., Marchesi, E., Bukart, S., Setubal, R.B., Lezama, F.; Perelman, S., Schneider, A.A., Trevisan, R., Overbeck, G.E., Boldrini, I.I., 2018. Vascular plant species richness and distribution in the Río de la Plata grasslands. *Bot. J. Linn. Soc.*, 188, 250-256. <https://doi.org/10.1093/botlinnean/boy063>

Andrade, B.O., Bonilha, C.L., Overbeck, G.E., Vélez-Martin, Rolim, R.G., Bordignon, S.A.L., Schneider, A.A., Ely, C.V., Lucas, D.B., Garcia, E.N., Santos, E.D., Torchelsen, F.P., Vieira, M.S., Filho, P.J.S.S., Ferreira, P.M.A., Trevisan, R., Hollas, R., Campestrini, S., Pillar, V.D., Boldrini, I.I., 2019. Classification of South Brazilian grasslands: Implications for conservation. *Appl. Veg. Sci.* 22, 168-184. <https://doi.org/10.1111/avsc.12413>

Antonio-Domingues, H., Corrêa, A.M.S., Queiroz, A.R.T., Bitar, N.A.B., 2018. Pollen morphology of some Fabaceae species from Patos de Minas, Minas Gerais State, Brazil. *Hoehnea* 45, 103-114. <http://dx.doi.org/10.1590/2236-8906-54/2017>

Anzótegui, L.M., Garralla, S.S., 2004. Palinología del Cuaternario en el Iberá, provincia de Corrientes. *Miscelánea* 12, 49-54.

Arana, M.D., Oggero, A.J., 2009. *Zanthoxylum armatum* (Rutaceae), su presencia en Argentina. *Darwiniana* 47, 335-338. <https://doi.org/10.14522/darwiniana.2014.472.66>

Araújo, A.C., Longhi-Wagner, H.M., 1996. Taxonomic survey of *Cyperus* L. 1. subg. *Anosporum* (Nees) Clarke (Cyperaceae-Cypereae) in Rio Grande do Sul, Brazil. *Acta Bot. Bras.* 10, 153-192. <https://doi.org/10.1590/S0102-33061996000100012>

- Araújo, L.D.A., Leal, A.S.; Quirino, Z.G.M., 2012. Fenologia e biologia floral da urtiga cansanção (*Cnidocolus urens* L., Euphorbiaceae). R. Bras. Bioci. 10, 140-146. <https://www.seer.ufrgs.br/index.php/rbrasbioci/article/view/115582>
- Arruda, R., Fadini, R.F., Carvalho, L.N., Del-Claro, K., Mourão, F.A., Jacobi, C.M., Teodoro, G.S., van den Berg, E., Caires, C.S., Detke, G.A., 2012. Ecology of neotropical mistletoes: an important canopy-dwelling component of Brazilian ecosystems. Acta Bot. Bras. 26, 264-274. <https://doi.org/10.1590/S0102-33062012000200003>
- Artico, M., Baldin, T., Denardi, L., Santos, S.R., 2010. Descrição anatômica do xilema secundário de *Tabernaemontana catharinensis* A. De. (Apocynaceae). Balduina 24, 10-15. <https://doi.org/10.5902/2358198014115>
- Backes, P., Irgang, B., 2002. Árvores do sul: guia de identificação e interesse ecológico. Instituto Souza Cruz, Santa Cruz do Sul, 326 pp.
- Bahadur, S., Taj, S., Long, W., Hanif, U., 2022. Pollen morphological peculiarities of selected Mimosoideae taxa of Hainan Island and their taxonomic relevance. Agronomy 12, 1122. <https://doi.org/10.3390/agronomy12051122>
- Bangkomnate R., Damthongdee A., Baka A., Aongyong K., Chaowasku T., 2021. Pyramidanthe and Mitrella (Annonaceae, Uvarieae) unified: molecular phylogenetic and morphological congruence, with new combinations in Pyramidanthe. Willdenowia 51, 383-394. <https://doi.org/10.3372/wi.51.51306>
- Barth, O.M., Lutz, C.F.P., 2008. Pollen grain morphology of the arboreal Apocynaceae in the state of Santa Catarina, Brazil. Hoehnea 35, 577-582. <https://doi.org/10.1590/S2236-89062008000400009>
- Barth-Schatzmayr, O.M., Melhem, T.S., 1988. Glossário ilustrado de palinologia. Unicamp, Campinas, 75 pp.
- Bartz, M.C., Melo Júnior, J.C.F., Larcher, L., 2015. Variação morfológica de *Laguncularia racemosa* (L.) C. F. Gaertn. (Combretaceae) em áreas de manguezal e de transição entre manguezal e floresta de restinga. Biotemas 28, 21-29. <http://dx.doi.org/10.5007/2175-7925.2015v28n1p21>
- Barreda, V., Anzótegui, L.M., Prieto, A.R., Aceñolaza, P., Bianchi, M., Borromei, A.M., Brea, M., Caccavari, M., Cuadrado, G.A., Garralla, S., GRILL, S., Guerstein, G.R.,



Lutz, A.I., Mancini, V.M., Mautino, L.R., Ottone, E.G., Quattrocchio, M.E., Romero, E.J., Zamaló, M.C., Zucol, A., 2007. Diversificación y cambios de las angiospermas durante el Neógeno en Argentina. *Ameghiniana* 11, 173-191.

Bauermann, S.G., Macedo, R.B., Behling, H., Pillar, V.D., Neves, P.C.P., 2008. Dinâmicas vegetacionais, climáticas e do fogo com base em palinologia e análise multivariada no quaternário tardio do sul do Brasil. *Rev. Bras. Paleontol.* 11, 87-96.

Bayón, N.D., 2022. Identifying the weedy amaranths (*Amaranthus*, Amaranthaceae) of South America. *Adv. Weed. Sci.* 40, e0202200013.  
<https://doi.org/10.51694/advweedsci/2022;40:amaranthus007>

Behling, H., 1995. Investigations into the late Pleistocene and Holocene history of vegetation and climate in Santa Catarina (S Brazil). *Veg. Hist. Archaeobot.* 4, 127-152.  
<https://doi.org/10.1007/BF00203932>

Behling, H., 2002. South and southeast Brazilian grasslands during Late Quaternary times: a synthesis. *Palaeogeogr. Palaeoclimatol. Palaeoecol.* 177, 19-27.  
[https://doi.org/10.1016/S0031-0182\(01\)00349-2](https://doi.org/10.1016/S0031-0182(01)00349-2)

Behling, H., Jeske-Pieruschka, V., Pillar, V.P., 2009. Dinâmica dos campos no sul do Brasil durante o Quaternário Tardio. In: Pillar, V., Müller, S.C., Castilhos, Z.M.S., Jacques, A.V.A. (Eds). *Campos sulinos: conservação e uso sustentável da biodiversidade*. Ministério do Meio Ambiente, Brasília, pp. 13-25.

Behling, H., Pillar, V., Orlóci L., Bauermann, S.G., 2004. Late 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. *Palaeogeogr. Palaeoclimatol. Palaeoecol.* 203, 277-297.  
[https://doi.org/10.1016/S0031-0182\(03\)00687-4](https://doi.org/10.1016/S0031-0182(03)00687-4)

Behling, H., Pillar, V.D., Bauermann, S.G., 2005. Late Quaternary grassland (Campos), gallery forest, fire and climate dynamics, studied by pollen, charcoal and multivariate analysis of the São Francisco de Assis core in western Rio Grande do Sul (southern Brazil). *Rev. Palaeobot. Palynol.* 133, 235-248.  
<https://doi.org/10.1016/j.revpalbo.2004.10.004>

Behling, H., Veríssimo, N., Bauermann, S.G., Bordignon, S., Evaldt, A., 2016. Late Holocene vegetation history and early evidence of *Araucaria angustifolia* in Caçapava

do Sul in the lowland region of Rio Grande do Sul State, southern Brazil. *Braz. Arch. Biol. Technol.* 59, e16150264. <http://dx.doi.org/10.1590/1678-4324-2016150264>

Bencke, G.A., Chomenko, L., Sant'Ana, D.M., 2016. O que é o Pampa? In: Chomenko, L., Bencke, G.A. (Eds.), *Nosso Pampa desconhecido*. Fundação Zoobotânica, Projeto RS Diversidade, Porto Alegre, pp. 17-27.

Berg, C.C., Dahlberg, S.V., 2001. A revision of *Celtis* subg. *Mertensia* (Ulmaceae). *Brittonia* 53, 66-81.

Bernal, J.P., Cruz, F.W., Stríkis, N.M., Wang, X., Deninger, M., Catunda, M.C.A., Ortega- Obregón, C., Cheng, H., Edwards, R.L., Auler, A.S., 2016. High-resolution Holocene South American monsoon history recorded by a speleothem from Botuverá Cave, Brazil. *Earth Planet. Sci. Lett.* 450, 186-196. <https://doi.org/10.1016/j.epsl.2016.06.008>.

Bevilaqua, G.A.P., Nedel, J.L., Zuanazzi, J.A., Correa, C.T., 2001. Geographical distribution and chemical composition of "chapéu de couro" (*Echinodorus* spp.) in the Rio Grande do Sul state, Brazil. *Cienc. Rural* 31, 213-218. <https://doi.org/10.1590/S0103-84782001000200004>

Blaauw, M., Christen, J.A., 2011. Flexible paleoclimate age-depth models using an autoregressive gamma process. *Bayesian Anal.* 6, 457-474. <https://doi.org/10.1214/11-BA618>.

Bocalon, V.L.S., Coimbra, J.C., Bauerman, S.G., Ritter, M.N., Pivel, M.A.G., Oliveira, M.A.T., Primam, G.L.L., 2023. Landscape changes in the Campos region, southernmost Brazil, since the early deglaciation based on a multi-proxy analysis of a peat bog. *Palaeogeog. Palaeoclimatol. Palaeoecol.* 623, 111631. <https://doi.org/10.1016/j.palaeo.2023.111631>

Boldrini, I.I., 2009. A flora dos campos do Rio Grande do Sul. In: Pillar, V.; Müller, S.C.; Castilhos, Z.M.S.; Jacques, A.V.A. (Eds). *Campos sulinos: conservação e uso sustentável da biodiversidade*. Ministério do Meio Ambiente, Brasília, pp. 63-77.

Boldrini I.I., Ferreira, P.M.A., Andrade, B.O., Schneider, A.A., Setubal, R.B., Trevisan, R., Freitas, E.M., 2010. *Bioma Pampa: diversidade florística e fisionômica*. Pallotti, Porto Alegre, 61 pp.

- Boldrini, I.I., Overbeck, G.E., Trevisan, R., 2015. Biodiversidade de plantas. In: Pillar, V.D., Lange, O. (Eds.), Os Campos do Sul. Rede Campos Sulinos, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, pp. 53-62.
- Bordignon, S.A., Schenkel, E.P., Spitzer, V., 1998. The essential oil of *Cunila menthoides* Benth (Lamiaceae). J. Essent. Oil Res. 10, 317-320. <https://doi.org/10.1080/10412905.1998.9700908>
- Borromei, A.M., 1995. Palinologia, estratigrafia y paleoambientes del Pleistoceno tardio – Holoceno en el valle del río Sauce Grande, Provincia de Buenos Aires, Argentina. Polen 7, 19-31.
- Borromei, A.M., 1998. Vegetación y clima del Cuaternario tardío en el valle superior del Río Sauce Grande, Provincia de Buenos Aires, Argentina. Polen 9, 5-15.
- Bottezini, S.R., Leonhardt, A., Diniz, D., Ávila, A.S.P., 2021. Climatic and vegetational dynamics in southern Brazil between 47.8 and 7.4 cal ka bp: a palynological analysis. Rev. Bras. Paleontol. 24, 345-356. <https://doi.org/10.4072/rbp.2021.4.05>
- Brauner, L.M., Cavalcanti, T.B., 2018. A new species, a new synonym and lectotypification in *Cuphea* (Lythraceae) from Brazil. Phytotaxa 350, 155-160. <https://doi.org/10.11646/phytotaxa.350.2.4>
- Brignone, N.F., 2022. Estudio taxonómico del género *Cardionema* (Caryophyllaceae, Paronychioideae) para la flora argentina. Darwiniana, Nueva Serie 10, 134-147. <https://doi.org/10.14522/darwiniana.2022.101.1011>
- Brussa, C.A., Grella, I., 2007. Flora arbórea del Uruguay, con énfasis en las especies de Rivera y Tacuarembó. COFUSA, Montevideo, 544 p.
- Buriol, G.A, Estefanel, V., Chagas, A.C., Kuinchtner, A., 2019. Relação da vegetação natural do estado do Rio Grande do Sul com as disponibilidades climáticas. Cienc. Florest. 1, 233-242. <https://doi.org/10.5902/1980509812382>
- Cabral, A., Groppo, M., Cardoso, P.H., Neto, L.M., Santos-Silva, F., 2019. Flora of the Parque Estadual do Ibitipoca, Minas Gerais, Brazil: Aquifoliaceae. Rodriguésia 70, e03782017. <http://dx.doi.org/10.1590/2175-7860201970053>
- Caires, C.S., Dettke, G.A., 2010. Loranthaceae, In: Forzza, R.C., Leitman, P.M., Costa, A., Carvalho Jr., A.A., Peixoto, A.L., Walter, B.M.T., Bicudo, C., Zappi, D., Costa, D.P., Lleras, E., Martinelli, G., Lima, H.C., Prado, J., Stehmann, J.R.,

Baumgratz, J.F.A., Pirani, J.R., Sylvestre, L.S., Mamede, L.C., Bastos, M.N.C., Morim, M.P., Barbosa, M.R., Menezes, M., Hopkins, M., Secco, R., Cavalcanti, T., Souza, V.C. (Eds.), Catálogo de plantas e fungos do Brasil, vol. 2. Instituto de Pesquisas Jardim Botânico do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, pp. 1172-1177.

Calviño, C.I., Martínez, S.G., 2007. Nuevas citas para Argentina y Uruguay, y notas sobre *Eryngium* sect. *Panniculata* (Apiaceae). *Darwiniana* 45, 68-76. <https://doi.org/10.14522/darwiniana.2014.451.99>

Calviño, C.I., Martínez, S., Downie, S.R., 2008. The evolutionary history of *Eryngium* (Apiaceae, Saniculoideae): Rapid radiations, long distance dispersals, and hybridizations. *Mol. Phylogenet. Evol.* 46, 1129-1150. <https://doi.org/10.1016/j.ympev.2007.10.021>

Carvalho, J.D.T., Báez-Lizarazo, M.R., Ritter, M.R., 2021. Ethnobotanical review of *Typha* L. (Typhaceae) in Brazil. *Ethnoscintia* 3, 159-172. <http://dx.doi.org/10.18542/ethnoscintia.v6i3.10717>

Cavalheiro, L., Ranga, N.T., Furlan, A., 2011. *Tournefortia* L. (Boraginaceae): extra Amazonian Brazilian species. *Hoehnea* 38, 221-242. <https://doi.org/10.1590/S2236-89062011000200004>

Celsi, C.E., Monserrat, A.L., 2008. Vascular plants, coastal dunes between Pehuencó and Monte Hermoso, Buenos Aires, Argentina. *Chek List* 4, 37-46.

Chase, M.W., Christenhusz, M.J.M., Fay, M.F., Byng, J.W., Judd, W.S., Soltis, D.E., Mabberley, D.J., Sennikov, A.N., Soltis, P.S., Stevens, P.F., 2016. An update of the Angiosperm Phylogeny Group classification for the orders and families of flowering plants: APG IV. *Bot. J. Linn. Soc.* 181, 1-20. <https://doi.org/10.1111/boj.12385>

Chiapella, J.O., Demaio, P.H., 2015. Plant endemism in the Sierras of Córdoba and San Luis (Argentina): understanding links between phylogeny and regional biogeographical patterns. *Phytokeys*, 59-96. <https://doi.org/10.3897/phytokeys.47.8347>

Chukr, N.S. 2022. Nomenclatural and taxonomic changes in brazilian *Sisyrinchium* L. (Sisyrinchieae, Iridaceae). *Int. J. Biol. Sci.* 2, 1-11. <https://doi.org/10.22533/at.ed.813242230065>

- Cialdella, A.M., 1989. Revision de las especies argentinas de *Polygonum* s.l. (Polygonaceae). Darwiniana 29, 179-246.
- Cohen, K.M., Harper, P.L., Gibbard, P.L., Fan, J.-X., 2021. The ICS International Chronostratigraphic Chart. Episodes, 2021. <http://www.stratigraphy.org/ICSchart/ChronostratChart2021-07.pdf>
- Colli-Silva, M., Pirani, J. R., 2021. A synopsis of Byttnerieae (Malvaceae, Byttnerioideae) from the Atlantic Forest, with notes on geographical distribution, nomenclature, and conservation. Acta Bot. Bras. 35, 248-268. <https://doi.org/10.1590/0102-33062020abb0265>
- Cordeiro, L.S., Araújo, F.S., Koch, I., Simões, A.O., Martins, F.R., Loiola, M.I.B., 2017. Paleodistribution of neotropical species of *Erythroxylum* (Erythroxylaceae) in humid and dry environments. Acta Bot. Bras. 31, 645-656. <http://dx.doi.org/10.1590/0102-33062017abb0053>
- Coronato, A., Salemme, M., Rabassa, J., 1999. Palaeoenvironmental conditions during the early peopling of southernmost South America (Late Glacial-Early Holocene, 14-8 ka B.P.). Quat. Int. 53/54, 77-92. [https://doi.org/10.1016/S1040-6182\(98\)00009-3](https://doi.org/10.1016/S1040-6182(98)00009-3)
- Costa, J.Y., Forni-Martins, E.R., Vanzela, A.L.L., 2006. Karyotype characterization of five brazilian species of *Echinodorus* (Alismataceae) with chromosomal banding and 45S rDNA FISH. Pl. Syst. Evol. 257, 119-127. <http://dx.doi.org/10.1007/s00606-005-0375-8>
- Crawshaw, D., Dall'Agnol, M., Cordeiro, J.L.P., Hasenack, H., 2007. Caracterização dos campos sul-rio-grandenses: uma perspectiva da ecologia de paisagens. Boletim Gaúcho de Geografia 33, 233-252. <http://seer.ufrgs.br/bgg/article/view/37437/24182>
- Crovetto, R.M., 1967. Catalogo preliminar de las Caryophyllaceae de la Argentina y del Uruguay. Bonplandia, 14, 187-264.
- Cuña-Rodríguez, C., Piovano, E.L., García-Rodríguez, F., Sylvestre, F., Rostek, F., Bernasconi, S.M., Ariztegui, D., 2020. Paleolimnological record of the Pampean plains (Argentina) as a natural archive of South American hydroclimatic variability since the LGM to the Current Warm Period. Quat. Sci. Rev. 250, 106675. <https://doi.org/10.1016/j.quascirev.2020.106675>

Da-Rosa, A.A.S., 2009. Geologia do Quaternário continental do RS: estado da arte e perspectivas de trabalho. In: Ribeiro, A.M., Bauermann, S.G., Scherer, C. (Eds.), Quaternário do Rio Grande do Sul: integrando conhecimentos. Monografias da Sociedade Brasileira de Paleontologia, Porto Alegre, pp. 17-35.

Dantas-Queiroz, M.V., Luz, C.F.P., 2016. Palynotaxonomy of *Iridaceae* Juss. from Goiás and Tocantins states, Brazil. *Braz. J. Bot.* 39, 689-707. <https://10.1007/s40415-015-0239-6>

De Francesco, C.G., Stutz, S., Hassan, G.S., Tonello, M.S., Vuichard, G.S., Bonavita, M.I., Rodríguez, F.G., Fontana, S.L., 2022. Climate, sea-level and anthropogenic processes controlling the environmental evolution of shallow lakes in the southeastern Pampa plain (South East South America) during the last 12 ka. *J. South Am. Earth Sci.* 116, 103856. <https://doi.org/10.1016/j.jsames.2022.103856>

Deble, L.P., Marchiori, J.N.C., 2009. A new combination in *Vachellia* Wight & Arn. (Mimosaceae). *Balduina* 19, 31-34. <https://doi.org/10.5902/2358198014097>

Deble, L.P., Marchiori, J.N.C., Deble, A.S.O., 2013. A família Ericaceae no Bioma Pampa do Rio Grande do Sul. I – *Agarista chlorantha* (cham.) G. Don. *Balduina* 39, 13-18. <https://doi.org/10.5902/2358198013981>

Deble, L.P., Gonzáles, A., Alves, F.S., 2021. El género *Cypella* (Iridaceae) en Uruguay. *Darwiniana*, Nueva Serie 9, 173-208. <http://dx.doi.org/10.14522/darwiniana.2021.91.921>

Delfino, L., Masciadri, S., Figueredo, E., 2005. Registro de *Sideroxylon obtusifolium* (Roem. & Schult.) T.D. Penn. (Sapotaceae) en bosques psamófilos de la costa atlántica de Rocha, Uruguay. *Iheringia* 60, 129-133. <https://isb.emnuvens.com.br/iheringia/article/view/190>

Denham, S.S., Zavala-Gallo, L., Johnso, L.A., Pozner, R.E., 2016. Insights into the phylogeny and evolutionary history of Calyceraceae. *Taxon* 65, 1328–1344. <https://doi.org/10.12705/656.7>

Dettke, G.A., Waechter, J.L., 2014. Taxonomic study of mistletoes from South Brazil: I. Loranthaceae and Santalaceae. *Rodriguésia* 65, 939-953. <https://doi.org/10.1590/2175-7860201465408>

- Dixon, A.P., Faber-Langendoen, D., Josse, C., Morrison, J., Loucks, C.J., 2014. Distribution mapping of world grassland types. *J. Biogeogr.* 41, 2003-2019. <https://doi.org/10.1111/jbi.12381>
- Doyle, J.A., Le Thomas, A., 1997. Phylogeny and geographic history of annonaceae. *Geogr. Phys. Quat.* 51, 353-361. <https://doi.org/10.7202/033135ar>
- Dutra, F.V., Bellonzi, T.K., Souza, C.N.; Gasporino, E.C., 2020. Pollen morphology of Rubiaceae from Cerrado forest fragments: Pollen unit, polarity and diversity of the types of apertures. *Rev. Palaeobot. Palynol.* 282, 104297. <https://doi.org/10.1016/j.revpalbo.2020.104297>
- Ebling, A.A., Guimarães, P.P., Pelissari, A.L., Abrão, S.F., Miranda, R.O.V., 2014. Alterações florísticas e estruturais em floresta com araucária no estado do Rio Grande do Sul, Brasil. *Centro Científico Conhecer* 1, 1-27. <https://conhecer.org.br/ojs/index.php/agrarian/article/view/5209>
- Eggers, L., 2008. A família Iridaceae no Parque Estadual de Itapuã, Viamão, Rio Grande do Sul, Brasil. *Revista Brasileira de Biociências* 6, 167-175.
- Eggers, L., Marchioretto, R., Souza-Chies, T.T., Pastori, T., Chauveau, O., 2019. A taxonomic synopsis of *Cypella* (Iridaceae) in Brazil. *Acta Bot. Bras.* 33, 741-770. <https://doi.org/10.1590/0102-33062019abb0165>
- Erkens, R.H.J., Blanpain, L.M.P., Jara, I.C., Runge, K., Verspagen, N., Cosiaux, A., Thomas L. P. Couvreur, T.L.P., 2022. Spatial distribution of Annonaceae across biomes and anthromes: Knowledge gaps in spatial and ecological data. *Plants, People, Planet* 1, 1-16. <https://doi.org/10.1002/ppp3.10321>
- Evaldt, A.C.P., Bauermann, S.G., Souza, P.A., 2013. Palinomorfos holocênicos de um fragmento da Savana Estépica Parque, Barra do Quaraí, Rio Grande do Sul, Brasil. *Pesquisas em Geociências* 40, 209-232. <https://doi.org/10.22456/1807-9806.43441>
- Evaldt, A.C.P., Bauermann, S.G., Souza, P.A., 2014. Registros polínicos para o holoceno tardio da região da Campanha (Rio Grande do Sul, Brasil) e seu significado na história dos paleoambientes da savana estépica parque. *Rev. Bras. Paleontol.* 17, 183-194. <http://doi.org/10.4072/rbp.2014.2.06>
- Evaldt, A.C.P., Bauermann, S.G., Paz, R.F., Lima, G.L., Radaeski, J.N., 2018. Influence of soil and vegetation in the pollen spectrum modeling from Caçapava do

Sul, Rio Grande do Sul, Brazil. J. Agric. Res. 3, 000160. <https://doi.org/10.23880/oajar-6000160>

Ezcurra, C., 2002. El Género *Justicia* (Acanthaceae) en Sudamérica Austral. Ann. Mo. Bot. Gard. 89, 225-280. <https://doi.org/10.2307/3298565>

Fabris, L.C., Peixoto, A.L., 2013. Sapotaceae in Sandy Coastal Plain, Espírito Santo, Brazil. Rodriguésia 64, 263-283. <https://doi.org/10.1590/S2175-78602013000200006>

Fabbroni, M., Cano, M.A.Z., 2021. Novedades en el género *Schinus* (Anacardiaceae): delimitación de *Schinus polygama* y descripción de una nueva especie, *Schinus talampaya*. Bol. Soc. Argent. Bot. 56, 201-216. <https://doi.org/10.31055/1851.2372.v56.n2.31297>

Facco, M.G., Canto-Dorow, T.S., Boldrini, I. 2022. *Cuphea* (Lythraceae) in the state of Rio Grande do Sul, Brazil. Rodriguésia 73, e00102022. <http://dx.doi.org/10.1590/2175-7860202273105>

Faegri, K., Iversen, J., 1975. Textbook of pollen analysis. Hafner Press, New York, 295 pp.

Fagundes, J.F., Horbach, R.K., Essi, L., Garlet, T.M.B., 2015. Levantamento florístico de Asteraceae em Palmeira das Missões, Rio Grande do Sul, Brasil. R. Bras. Bioci. 13, 181-193. <https://seer.ufrgs.br/index.php/rbrasbioci/article/view/114730>

Fariña, R.A., 1995. Limb bone strength and habits in large glyptodonts. Lethaia 28, 189-196.

Figueiró, A.S., Sell, J.C., 2020. Landscape and geoconservation in the territories of the Pampa Brazil-Uruguay – reflections to a cross-border policy. Ciência e Natura 42, e47. <http://doi.org/10.5902/2179460X55109>

Flores, T.B., Souza, V.C., Coelho, R.L.G., 2017. Flora of Espírito Santo: Meliaceae. Rodriguésia 68, 1693-1723. <http://dx.doi.org/10.1590/2175-7860201768512>

Fernández, D.A., 2017. Pollen morphology of Proteaceae native to Argentina: a new dichotomus key for their identification. Rev. Mus. Argentino Cienc. Nat. 19, 25-37. <http://dx.doi.org/10.22179/REVMACN.18.503>



- Ferreira G.E., Ferreira, P.M.A., Alain Chautems; Waechter, J.L., 2016. Subtropical species of *Sinningia* (Gesneriaceae): distribution patterns and limiting environmental factors. *Flora*, 86-95. <http://dx.doi.org/10.1016/j.flora.2016.04.002>
- Ferreira, P.P.A., Miotto, S.T.S., 2013. The genus *Merremia* (Convolvulaceae) in southern Brazil. *Rodriguésia* 64, 635-646. <https://doi.org/10.1590/S2175-78602013000300014>
- Flores, T.B., Souza, V.C., Coelho, R.L.G., 2017. Flora of Espírito Santo: Meliaceae. *Rodriguésia* 68, 1693-1723. <https://doi.org/10.1590/2175-7860201768512>
- Freitas, M.F., Carrijo, T.T., 2008. Family Myrsinaceae in the Maciço da Tijuca and vegetation adjacent to the Jardim Botânico do Rio de Janeiro, Brazil. *Rodriguésia* 59, 813-828. <https://doi.org/10.1590/2175-7860200859410>
- Freitas, M.F., Kinoshita, L.S., 2005. New species of *Myrsine* L. (Myrsinaceae) from Brazil. *Rodriguésia* 56, 67-72. <https://doi.org/10.1590/2175-78602005568704>
- Freitas, M.F., Kinoshita, L.S., 2015. *Myrsine* (Myrsinoideae- Primulaceae) in Southeastern and Southern Brazil. *Rodriguésia* 66, 167-189. <https://doi.org/10.1590/2175-7860201566109>
- Fuhro, D., Vargas, D., Larocca, J., 2015. Levantamento florístico das espécies herbáceas, arbustivas e lianas da floresta de encosta da Ponta do Cego, Reserva Biológica do Lami (RBL), Porto Alegre, Rio Grande do Sul, Brasil. *Pesquisas Botânica* 56, 239-256.
- García-Rodríguez, F., Stutz, S.; Inda, H., Puerto, L.D., Bracco, R., Panario, D., 2010. A multiproxy approach to inferring Holocene paleobotanical changes linked to sea-level variation, paleosalinity levels, and shallow lake alternative states in Negra Lagoon, SE Uruguay. *Hydrobiologia* 646, 5-20. <https://doi.org/10.1007/s10750-010-0184-0>
- Garrala, S.S., Mautino, L.R., 2021. Pollen morphology of the native Rutaceae species from Argentina. *Darwiniana*, Nueva Serie 9, 282-292. <https://doi.org/10.14522/darwiniana.2021.92.962>
- Gasparino, E.C., Souza, C.N., Dutra, F.V., Cruz-Barros, M.A.V., Chautems, A., 2021. Pollen morphology of *Ligeriinae* Hanst. (Gesneriaceae): Diagnostic features and their

- systematic importance. Rev. Palaeobot. Palynol. 285, 104363.  
<https://doi.org/10.1016/j.revpalbo.2020.104363>
- Gilbert, B., Favoreto, R., 2012. *Cordia verbenacea* DC Boraginaceae. Fitos 7, 17-25.
- Gilberti, G.C. 1979. Las especies argentinas del género *Ilex* L. (Aquifoliaceae). Darwiniana 22, 217-240.
- Goldenberg, R., 2004. O gênero *Miconia* (Melastomataceae) no Estado do Paraná, Brasil. Acta Bot. Bras. 18, 927-947.
- Gonçalves-Esteves, V., Cartaxo-Pinto, S., Marinho, E.B., Esteves, R.L., Mendonça, C.B.F. 2022. Pollen morphology and evolutionary history of Sapindales. Braz. J. Bot. 45, 341-366
- Gonçalves-Esteves, V., Vieira, G.R.M., Carvalho, R.J.P., Crespo, S.R.M., Mendonça, C.B.F., 2020. Pollen morphology of some species of Spermaceae s.s. (Rubiaceae) of the Atlantic Forest, Rio de Janeiro, Brazil. Acta Bot. Bras. 34, 243-255.  
<https://doi.org/10.1590/0102-33062019abb0286>
- González, A., Keller, H.E., 2020. El género *Oxypetalum* (Apocynaceae) en Uruguay, nueva especie y clave de identificación. Darwiniana, Nueva Serie 8, 318-327.  
<http://dx.doi.org/10.14522/darwiniana.2020.81.882>
- Gonzales, A.M., Tarragó, J.R., 2009. Anatomical structure and secretion compounds of colleters in nine *Ilex* species (Aquifoliaceae) from southern South America. Bot. J. Linn. Soc. 160, 197-210. <https://doi.org/10.1111/j.1095-8339.2009.00969.x>
- Graham, S., Cavalcanti, T.B., 2013. Taxonomic Revision of *Cuphea* sect. *Euandra* subsect. *Oidemation* (Lythraceae). Phytotaxa 113, 1–86.  
<http://dx.doi.org/10.11646/phytotaxa.113.1.1>
- Grela, I.A., Brussa, C.A., 2005. Novedades para la flora del Uruguay: nuevo registro de *Agarista* (ericaceae). Acta Bot. Bras. 19, 511-514. <https://doi.org/10.1590/S0102-33062005000300011>
- Grill, S.C., 1997. Palinología de un perfil cuaternario en el valle del Napostá Grande, Buenos Aires, Argentina. Polen 8, 25-42.

Grill, S.C., 2003. Análisis palinológico de sedimentos cuaternarios em la cuenca inferior del Río Quequén Salado, Provincia de Buenos Aires, Argentina. *Polen* 12, 37-52.

Grill, S.C.; Morrás, H.J.M., 2010. Análisis palinofacial de sedimentos del cenozoico tardío en la Pampa Ondulada (Argentina): primeros resultados. *Rev. Bras. Paleontol.* 13, 221-232. <https://doi.org/10.4072/rbp.2010.3.06>

Grimm, E.C., 2011. Tilia Software v.1.7.16. Springfield IL, Illinois State Museum 2011.

Grimm, A.M., Barros, V., Doyle, M.E., 2000. Climate variability in Southern South America associated with El Niño and La Niña events. *J. Clim.* 13, 35-58. [https://doi.org/10.1175/1520-0442\(2000\)013<0035:CVISSA>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0442(2000)013<0035:CVISSA>2.0.CO;2)

Grimm, E.C., Troostheide, C.D., 1994. Tilia 2.00, program for plotting palynological diagrams, Springfield: Illinois State Museum.

Grings, M., Boldrini, I.I., 2013. O gênero *Pavonia* Cav. (Malvaceae) no Rio Grande do Sul, Brasil. *Revista Brasileira de Biociências* 11, 352-380. <https://seer.ufrgs.br/index.php/rbrasbioci/article/view/115520>

Grings, M., Brack, P., 2009. Árvores na vegetação nativa de Nova Petrópolis, Rio Grande do Sul. *Iheringia, Série Botânica* 64, 5-22. <https://isb.emnuvens.com.br/iheringia/article/view/130>

Gu, F., Chiessi, C.M., Zonneveld, K.A.F., Behling, H., 2018. Late Quaternary environmental dynamics inferred from marine sediment core GeoB6211-2 off southern Brazil. *Palaeogeogr. Palaeoclimatol. Palaeoecol.* 496, 48-61. <https://doi.org/10.1016/j.palaeo.2018.01.015>

Guerra, L., Piovano, E.L., Córdoba, F.E.C., Tachikawa, K., Rostek, F., Garcia, M., Bard, E., Sylvestre, F., 2017. Climate change evidences from the end of the Little Ice Age to the Current Warm Period registered by Melincúe Lake (Northern Pampas, Argentina). *Quat. Int.* 438, 160-174 <https://doi.org/10.1016/j.quaint.2016.06.033>

Guo, X., Tang, C.C., Thomas, D.C., Couvreur, T.L.P., Saunders, R.M.K., 2017. A mega-phylogeny of the Annonaceae: taxonomic placement of five enigmatic genera and support for a new tribe, Phoenicantheae. *Sci. Rep.* 7, 7323. <https://doi.org/10.1038/s41598-017-07252-2>

Gutierrez, M.A., Martínez, G., Luchsinger, H., Grill, S., Zucol, A.F., Hassan, G.S., Barros, M.P., Kaufmann, C.A., Álvarez, M.C., 2011. Paleoenvironments in the Paso Otero locality during Late Pleistocene-Holocene (Pampean region, Argentina): an interdisciplinary approach. *Quat. Int.* 245, 37-47. <http://dx.doi.org/10.1016/j.quaint.2010.11.010>

Hall, C.F., Gil, A.S.B., 2017. Flora of the cangas of Serra dos Carajás, Pará, Brazil: Anacardiaceae. *Rodriguésia* 68, 911-916. <http://dx.doi.org/10.1590/2175-7860201768322>

Haretche, F., Mai, P., Brazeiro, A., 2012. Woody flora of Uruguay: inventory and implication within the Pampean region. *Acta Bot. Bras.* 26, 537-552. <https://doi.org/10.1590/S0102-33062012000300004>

Harguinteguy, C.A., Cofré, M.N., Fernández-Cirelli, A., Pignata, M.L., 2016. The macrophytes *Potamogeton pusillus* L. and *Myriophyllum aquaticum* (Vell.) Verdc. as potential bioindicators of a river contaminated by heavy metals. *Microchem. J.* 124, 228-234. <https://doi.org/10.1016/j.microc.2015.08.014>

Harley, R.M., Pastore, J.F.B., 2012. A generic revision and new combinations in the Hyptidinae (Lamiaceae), based on molecular and morphological evidence. *Phytotaxa* 58, 1-55. <https://doi.org/10.11646/phytotaxa.58.1.1>

Hasenack, H., Weber, E., Boldrini, I.I., Trevisan, R., 2010. Mapa de sistemas ecológicos da ecorregião das savanas uruguaias em escala 1:500.000 ou superior e relatório técnico descrevendo insumos utilizados e metodologia de elaboração do mapa de sistemas ecológicos. UFRGS, Porto Alegre, 22 pp.

Hasenack, H., Weber, E., Boldrini, I.I., Trevisan, R., Flores, C.A., Dewes, R., 2023. Biophysical delineation of grassland ecological systems in the State of Rio Grande do Sul, Southern Brazil. *Iheringia, Série Botânica* 78, e2023001. <https://doi.org/10.21826/2446-82312023v78e2023001>

Hasenack, H., Weber, E., Vélez-Martin, E., Hoffman, G.S., Dewes, H., 2019. Bioma Pampa: oportunidades e desafios de pesquisa para o desenvolvimento sustentável. In: Vilela E.F., Callegaro, G.M., Fernandes, G.W. (Eds), *Biomass e agricultura: oportunidades e desafios*. Academia Brasileira de Ciências/Vertente, Rio de Janeiro, pp. 123-140.

- Hassemer, G., Trevisan, R., Meudt, H., Rønsted, N., 2015. Taxonomic novelties in *Plantago* section *Virginica* (Plantaginaceae) and an updated identification key. *Phytotaxa* 221, 226-246. <http://dx.doi.org/10.11646/phytotaxa.221.3.2>
- Hefler, S.M., Rodrigues, W.A., Cervi, A.C., 2011. O gênero *Plantago* L. (Plantaginaceae) na região sul do Brasil. *Revista Brasileira de Biociências* 9, 297-321. <https://www.seer.ufrgs.br/index.php/rbrasbioci/article/view/115443>
- Heiden, G., Iganci, J.R.V., Macias, L., 2009. *Baccharis* Selt Caulopterae (Asteraceae, Astereae) in Rio Grande do Sul state, Brazil. *Rodriguésia* 60, 943-983. <https://doi.org/10.1590/2175-7860200960411>
- Hogg, A.G., Heaton, T.J., Hua, Q., Palmer, J.G., Turney, C.S.M., Southon, J., Bayliss, A., Blackwell, P.G., Boswijk, G., Ramsey, C.P., Pearson, C., Petchey, F., Reimer, P., Reimer, R., Wacker, L., 2020. SHCal20 southern hemisphere calibration, 0–55,000 years cal B.P. *Radiocarbon* 62, 759-778. <https://doi.org/10.1017/rdc.2020.59>
- Holden, J., 2005. Peatland hidrology and carbono release: why small-scale process matters. *Philos. Trans. Royal Soc.* 363, 2891-2913. <https://doi.org/10.1098/rsta.2005.1671>
- Hunziker, J.H., 1995. Flora Fanerogámica Argentina. Fascículo 4: Ephedraceae. *Pró-Flora CONICET*, 15-23.
- Hunziker, J.H., Novara, L.J., 1998. Flora del Valle de Lerma. *Aportes Botánicos de Salta. Ser. Flora* 6, 1-17.
- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). *Biomass e sistema costeiro-marinho do Brasil: compatível com a escala 1:250.000*. Rio de Janeiro: IBGE, 2019.
- Iamónico, D., 2022. Notas sobre algunas Caryophyllaceae para la flora argentina. *Darwiniana, Nueva Serie* 10, 116-133. <https://doi.org/10.14522/darwiniana.2022.101.1008>
- Iriarte, J., 2006. Vegetation and climate change since 14,810 <sup>14</sup>C yr B.P. in southeastern Uruguay and implications for the rise of early formative societies. *Quat. Res.* 65, 20-32. <https://doi.org/10.1016/j.yqres.2005.05.005>

- Iriondo, M., 1999. Climatic changes in the South American plains: records of a continent- scale oscillation. *Quat. Int.* 57/58, 93-112. [https://doi.org/10.1016/S1040-6182\(98\)00053-6](https://doi.org/10.1016/S1040-6182(98)00053-6)
- Iriondo, M., García, N., 1993. Climatic variations in the Argentine plains during the last 18,000 years. *Palaeogeog. Palaeoclimatol. Palaeoecol.* 101, 209-220.
- Ivarsson, L.N., 2013. Pollen morphology in *Ephedra* (Gnetales) and implications for understanding fossil ephedroid pollen from the Tibetan Plateau, using a phylogenetic approach. Stockholm University, Stockholm, 28 pp.
- Jeske-Pieruschka, V., Behling, H., 2011. Palaeoenvironmental history of the São Francisco de Paula region in southern Brazil during the late Quaternary inferred from the Rincão das Cabritas core. *The Holocene* 22, 1251-1262. <https://doi.org/10.1177/0959683611414930>
- Joaquim, W.M., Ono, E.O., Salatino, M.L.F., Rodrigues, J.D., 2010. Year season on epicuticular waxes in leaves of *Echinodorus grandiflorus* (Cham. & Schtdl.) Micheli (Alismataceae). *Naturalia* 33, 8-19. <http://www.periodicos.rc.biblioteca.unesp.br/index.php/naturalia/article/view/3711>
- Joly, A.B., 2002. Botânica: introdução à taxonomia vegetal. Companhia Editora Nacional, São Paulo 777 pp.
- Crisci, J.V., Freire, S.E., Sancho, G., Katinas, L., 2001. Historical biogeography of the Asteraceae from Tandilia and Ventania mountain ranges. *Caldasia* 23, 21-41.
- Katinas, L., Gutiérrez, D.G., Gross, M.A., Crisci, J.V., 2007. Panorama de la familia Asteraceae (= Compositae) en la República Argentina. *Bol. Soc. Argent. Bot.* 42, 113-129.
- Kutschker, A., 2011. Revision of genus *Valeriana* (Valerianaceae) in Southern South America. *Gayana Bot.* 68, 244-296. <http://dx.doi.org/10.4067/S0717-66432011000200016>
- Kutschker, A., Morrone, J.J., 2012. Distributional patterns of the species of *Valeriana* (Valerianaceae) in southern South America. *Plant Syst. Evol.* 298, 535-547. <http://doi.org/10.1007/s00606-011-0564-6>
- Landi, L.A.D.C., Sabbag, L.C., Gasparino, E.C., 2021. A taxonomic aid arising from pollen grains of *Cestrum* L. and *Solanum* L. (Solanaceae): differences in

ornamentation and aperture. Acta Bot. Bras. 35, 540-553.  
<https://doi.org/10.1590/0102-33062020abb0414>

Lauton, M.B., Gressler, E., Oliveira, J.A., Simioni, P.F., Ribeiro-Júnior, N.G., Yamashita, O.M., Silva, I.V., 2022. Does the functional leaf anatomy of *Justicia calycina* (Acanthaceae) reflect variation across a canopy gradient in the Southern Brazilian Amazon? Acta Bot. Bras. 36, e20210335. <https://dx.doi.org/10.1590/1677-941X-ABB-2021-0335>

Leonhardt, A., Lorscheitter, M.L., 2010. The last 25,000 years in the eastern plateau of southern Brazil according to Alpes de São Francisco record. J. South Am. Earth. Sci. 29, 454-463. <https://10.1016/j.jsames.2009.09.003>

Lima, D.F., Caddah, M.K., Goldberg, R., 2015. The family Myrtaceae at Ilha do Mel, Paranaguá, Paraná State, Brazil. Hoehnea 42, 497-519. <https://doi.org/10.1590/2236-8906-68/2014>

Lima, D.F., Mauad, A.V.S., Silva-Pereira, V., Smidt, E.C., Goldenberg, R., 2015. Species boundaries inferred from ISSR markers in the *Myrcia laruotteana* complex (Myrtaceae). Plant Syst. Evol. 301, 353-363. <http://doi.org/10.1007/s00606-014-1078-9>

Lima, L.R., Pirani, J.R., 2008. Taxonomic revision of *Croton* sect. Lamprocroton (Müll. Arg.) Pax (Euphorbiaceae s.s.). Biota Neotrop. 8, 177-231. <https://doi.org/10.1590/S1676-06032008000200018>

Lindman, C.A.M., 1906. A vegetação do Rio Grande do Sul. In: Lindmann, C.A.M.; Ferri, M.G. (Eds.), A vegetação do Rio Grande do Sul. Edusp/Itatiaia, São Paulo. 377 pp. <https://isb.emnuvens.com.br/iheringia/article/view/190>

Linsingen, L.V., Cervi, A.C., Guimarães, O., 2009. Taxonomic synopsis of the family Combretaceae R. Brown in southern Brazil. Acta Bot. Bras. 23, 738-750. <https://doi.org/10.1590/S0102-33062009000300013>

Longhi, S.J., Nascimento, A.R.T., Fleig, F.D., Della-Flora, J.B., Freitas, R.A., Charão, L.W., 1999. Composição florística e estrutura da comunidade arbórea de um fragmento florestal no município de Santa Maria-Brasil. Ciência Florestal 9, 115-133. <https://doi.org/10.5902/19805098371>

Longhi-Wagner, H.M., Boldrini, I.I., Eggers, L., 2008. Ambientes da região. In: Bond-Buckup, G. (Ed.), Biodiversidade dos campos de Cima da Serra. Libretos, Porto Alegre, pp. 25-36.

Lopes, J.C., Mello-Silva, R., 2014. Annonaceae from Natural Reserve Vale, Linhares, Espírito Santo. *Rodriguésia* 65, 599-635. <https://doi.org/10.1590/2175-7860201465304>

Lopes, J.C., Chatrou, L.W., Mello-Silva, R., Rudall, P.J., Sajo, M.G., 2018. Phylogenomics and evolution of floral traits in the neotropical tribe Malmeeae (Annonaceae). *Mol. Phylogenet. Evol.* 118, 379-391. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ympev.2017.10.020>

Lopes, R.P., Scherer, C.S., Pereira, J.C., Dillenburg, S.R. 2023. Paleoenvironmental changes in the Brazilian Pampa based on carbon and oxygen stable isotope analysis of Pleistocene camelid tooth enamel. *J. Quat. Sci.* 38, 702-718. <https://doi.org/10.1002/jqs.3502>

Lorscheitter, M.L., Dillenburg, S.R. 1998. Holocene palaeoenvironments of the northern coastal plain of Rio Grande do Sul, Brazil, reconstructed from palynology of Tramandaí lagoon sediments. In: Rabassa, J., Salemme, M. (Eds.), Quaternary of South America and Antarctic Peninsula. Balkema Brookfield, Rotterdam, pp 73-97.

Lourdes, M., Oliveira, A.A., Senna, R.M., Neves, M.T.M.B., Blank, M., Boldrini, I.I., 2007. Flora e vegetação. In: Becker, F.G., Ramos, R.A., Moura, L.A (Eds.), Regiões da Lagoa do Casamento e dos Butiazais de Tapes, Planície Costeira do Rio Grande do Sul. Biodiversidade, Fundação Zoobotânica do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, pp 84-111.

Lucas, D.J., Boldrini, I.I., 2018. *Eryngium irgangii* (Apiaceae, Saniculoideae): a new species from the southern brazilian highlands. *Syst. Bot.* 43, 826-834. <https://doi.org/10.1600/036364418X697553>

Lüdtke, R., Souza-Chies, T.T., Miotto, S.T.S., 2013. O gênero *Polygala* L. (Polygalaceae) na região Sul do Brasil. *Hoehnea* 40, 1-50. <https://doi.org/10.1590/S2236-89062013000100001>

Lu-Irving, P., Bedoya, A.M., Salimena, F.R.G., Silva, T.R.S., Viccini, L.F., Bitencourt, C., Thode, V.A., Cardoso, P.H., O'Leary, N., Olmstead, R.G., 2021. Phylogeny of



*Lantana*, *Lippia*, and related genera (Lantaneae: Verbenaceae). *Am. J. Bot.* 108, 1307-1575. <https://doi.org.10.1002/ajb2.1708>

Luz, C.F.P., 2016. Pollen grains of *Ephedra tweediana* C.A.Mey., recent species of the Ephedraceae in Brazil. *Grana* 55, 17-23. <http://dx.doi.org/10.1080/00173134.2015.1057520>

Macedo, R.B., Cancelli, R.R., Bauermann, S., Bordignon, S.A.L., Neves, P.C.P., 2007. Palinologia de níveis do Holoceno da Planície Costeira do Rio Grande do Sul (localidade de Passinhos), Brasil. *Gaea* 3, 68-74.

Machado, P.F.S., Marchiori, J.N.C., Siegloch, A.M., 2016. A taxonomia do antigo gênero *Acacia* Mill., com base na análise de agrupamento de caracteres do lenho. *Balduinia* 51, 01-11. <http://dx.doi.org/10.5902/2358198021421>

Madanes, N., Quintana, R.D., Kandus, P., Bó, R.F., 2015. Species richness and functional groups of angiosperms from the Paraná River Delta region (Argentina). *Chek List* 11, 1803. <http://dx.doi.org/10.15560/11.6.1803>

Magenta, M.A.G., 2020. Calyceraceae in Flora do Brasil 2020. Jardim Botânico do Rio de Janeiro. <http://floradobrasil.jbrj.gov.br/reflora/floradobrasil/FB72>.

Mai, P., Rossado, A., Bonifacio, J.M., Waechter, J.L., 2019. Catalogue of the vascular epiphytic flora of Uruguay. *Acta Bot. Bras.* 33, 1-23. <https://doi.org/10.1590/0102-33062019abb0059>

Mai, P., Zabaletta, M., Cappuccio, L., Pollero, A., Marchesi, E., 2022. Vascular plants of Punta Ballena: dataset for conservation of an endangered hotspot from Uruguay. *Neotrop. Biol. Conserv.* 17, 163-195. <https://doi.org/10.3897/neotropical.17.e84893>

Marchant, R., Almeida, L., Behling, H., Berrio, J.C., Bush, M., Cleef, A., Duivenvoorden, J., Kappelle, M., Oliveira, P., Oliveira Filho, A.T., Lozano-Garæia, S., Hooghiemstra, H., Ledru, M.P., Wiechers, B.L., Markgraf, V., Mancini, V., Paez, M., Prieto, A., Rangel, O., Salgado-Labouriau, M.L., 2002. Distribution and ecology of parent taxa of pollen lodged within the Latin American Pollen Database. *Rev. Palaeobot. Palynol.* 121, 1-75. [https://doi.org/10.1016/S0034-6667\(02\)00082-9](https://doi.org/10.1016/S0034-6667(02)00082-9)

Marchi, M.M., Barbieri, R.L., Sallés, J.M., Costa, F.A., 2018. Herbaceous and subshrubby flora associated with palm grove ecosystem in the Pampas Biome. *Rodriguésia* 69, 553-560. <https://doi.org/10.1590/2175-7860201869221>

Marchioretto, M.S., 1988. Estudo taxonômico das espécies dos gêneros *Celtis* e *Trema* (Ulmaceae) no Rio Grande do Sul. Pesquisas Botânica 39, 49-80.

Marchioretto, M.S., Miotto, S.T.S., Siqueira, J.C., 2010. O gênero *Pfaffia* Mart. (Amaranthaceae) no Brasil. Hoehnea 37, 461-511. <https://doi.org/10.1590/S2236-89062010000300004>

Marchioretto, M.S., Silva, V.L., Bittencourt, C.C.C., 2010. Análise da distribuição geográfica da família Caryophyllaceae no Rio Grande do Sul. Pesquisas Botânica 61, 205-218.

Marchioretto, M.S., Silva, V.R.S.P., Parode, M.F., 2015. A família Acanthaceae Juss. no Rio Grande do Sul. Pesquisas Botânica 687-82.

Marchioretto, M.S., Azevedo, F., Josende, M.V.F., Schnorr, D.M., 2008. Biogeografia da família Amaranthaceae no Rio Grande do Sul. Pesquisas Botânica 1, 171-190.

Marchiori, J.N.C., Denardi, L., 2005. Anatomia da madeira de *Berberis laurina* Billb. Balduina 4, 25-29. <https://doi.org/10.5902/2358198014019>

Martinez, A., Pastore, J.F.B., 2020. Two New Species of *Polygala* (Polygalaceae) Endemic to the Phytogeographic Province of La Payunia, in Argentina. Syst. Bot. 47, 232-241. <https://doi.org/10.1600/036364422X16442668423545>

Martinez, A., Acosta, J.M., Ferrero, M.A., Pastore, F.B., Aagese, L., 2022. Evolutionary patterns within the New World Clade *Polygala* sections *Clinclinia* and *Monninopsis* (Polygalaceae). Perspect. Plant Ecol. Evol. Syst. 55, 125673. <https://doi.org/10.1016/j.ppees.2022.125673>

Martínez, M.A.P., Pelotto, J.P., Basualdo, N., 1997. Distribution of flavonoid Aglycones in *Ilex* species (Aquifoliaceae). Biochem. Syst. Ecol. 25, 619-622. [https://doi.org/10.1016/S0305-1978\(97\)00054-9](https://doi.org/10.1016/S0305-1978(97)00054-9)

Masetto, E., Lorscheitter, M.L., 2019. Vegetation dynamics during the last 7500 years on the extreme southern Brazilian coastal plain. Quat. Int. 524, 48-56. <https://doi.org/10.1016/j.quaint.2019.07.009>

Matzenauer, W., Negrini, M., Jacobi, U.S., Hefler, S., 2019. First record of *Plantago heterophylla* Nutt. (Plantaginaceae) for the Brazilian flora. Check List, 13-16. <https://doi.org/10.15560/15.1.13>

- Medeanic, S., Corrêa, I.C.S., 2010. Climatic changes in the coastal plain of the Rio Grande do Sul state in the Holocene: palynomorph evidences. *Pan-Am. J. Aquat. Sci.* 5, 287-297.
- Medeiros, R.B., Saibro, J.C., Focht, T., 2009. Invasão do capim-annoni (*Eracrostis plana* Nees) no bioma Pampa do Rio Grande do Sul. In: Pillar, V.P., Müller, S.C., Castilhos, Z.M.S., Jacques, A.V.A. (Eds), *Campos sulinos: conservação e uso sustentável da biodiversidade*. Ministério do Meio Ambiente, Brasília, pp. 317-330.
- Melo, E., 2000. Polygonaceae da cadeia do Espinhaço, Brasil. *Acta Bot. Bras.* 14, 273-300. <https://doi.org/10.1590/S0102-33062000000300006>
- Melo, J.I.M., 2007. A new species of *Tournefortia* L. (Boraginaceae s.l.) from Northeast Brazil. *Hoehnea* 34, 155-158. <https://doi.org/10.1590/S2236-89062007000200004>
- Melo, J.I.M., Lyra-Lemos, R.P., 2008. Taxonomic synopsis of Boraginaceae *sensu lato* A. Juss. in Alagoas State, Brazil. *Acta Bot. Bras.* 22, 701-710. <https://doi.org/10.1590/S0102-33062008000300008>
- Méndez, E., 2010. Una nueva especie de *Valeriana* (Valerianaceae) para la Argentina. *Darwiniana* 48, 201-203. <https://doi.org/10.14522/darwiniana.2014.482.19>
- Mendonça, J.O., Cervi, A.C., Guimarães, O.A., 1998. O gênero *Erythroxyllum* P. Browne (Erythroxyllaceae) do estado do Paraná, Brasil. *Braz. Arch. Biol. Technol.* 41, 349-358. <https://doi.org/10.1590/S1516-89131998000300013>
- Michelangeli, F.A., Guimaraes, P.J.F., Penneys, D.S., Almeda, F., Kriebel, R., 2013. Phylogenetic relationships and distribution of New World Melastomeae (Melastomataceae). *Bot. J. Linn. Soc.* 171, 38–60. <https://doi.org/10.1111/j.1095-8339.2012.01295.x>
- Miguel, L.M., Sobrado, S.V., Florentín, J.E., Cabral, E.L., Salas, R.M., 2022. *Borreria kelleri* (Spermacoceae, Rubiaceae), a new species from Argentina and Paraguay. *Nord. J. Bot.* 5, e03507. <https://doi.org/10.1111/njb.03507>
- Minué, C.R., Gandullo, R., 2019. Primer registro de *Hibiscus trionum* (Malvaceae) para Argentina, en el alto valle de Río Negro. *Darwiniana*, Nueva Serie 7, 167-173. <http://dx.doi.org/10.14522/darwiniana.2019.71.829>

- Mondin, C.A., Vasques, C.L., 2004. O Gênero *Holocheilus* Cass. (Asteraceae-Mutisieae-Nassauviinae) no Rio Grande do Sul, Brasil. *Iheringia Série Botânica* 59, 161-172.
- Mônico, A.Z., Silva, L.A., Dutra, V.F., Freitas, J., 2017. New records of *Pouteria macrocarpa* (Sapotaceae) from the Brazilian Atlantic forest. *Rodriguésia* 68, 1493-1498. <https://doi.org/10.1590/2175-7860201768429>
- Moody, M.L., Les, D.H., 2010. Systematics of the aquatic angiosperm genus *Myriophyllum* (Haloragaceae). *Systematic Botany* 35, 121–139. <https://doi.org/10.1600/036364410790862470>
- Moore, P.D., Webb, J.A., Collinson, M.E., 1998. *Polen analysis*. Blackwell, Oxford, 216 pp.
- Moreira, A.L.C., Simão-Bianchini, R., Cavalcanti, T.B., 2020. Lectotypification and a new synonym of *Bonamia sericea* (Convolvulaceae): endemic species from Argentina. *Bol. Soc. Argent. Bot.* 55, 45-51. <https://doi.org/10.31055/1851.2372.v55.n1.24823>
- Morichetti, S., Cantero, J.J., Núñez, C., Barboza, G.E., Espinar, L.A., Amuchastegui, A., Ferrell, J., 2013. Sobre la presencia de *Amaranthus palmeri* (Amaranthaceae) en Argentina. *Bol. Soc. Argent. Bot.* 48, 347-354. <https://doi.org/10.31055/1851.2372.v48.n2.6269>
- Mourelle, D., Prieto, A.R., 2012. Modern pollen assemblages of surface samples and their relationships to vegetation in the campos region of Uruguay. *Rev. Palaeobot. Palynol.* 181, 122-133. <https://doi.org/10.1016/j.revpalbo.2012.05.003>
- Mourelle, D., Prieto, A.R., 2016. Pollen and spores from surface samples in the Campos region of Uruguay and their paleoecological implications. *Acta Bot. Bras.* 30, 351-370. <https://doi.org/10.1590/0102-33062016abb0117>
- Mourelle, D., Macedo, R.B., Prieto, A., 2018. Análisis palinológico actual y del Cuaternario tardío en la región de los Campos (Uruguay y sur de Brasil): estado de las investigaciones, dificultades y potencialidades. In: Prieto, A.R. (Ed.), *Metodologías y estrategias del análisis palinológico del Cuaternario tardío*. Publicación Electrónica de la Asociación Paleontológica Argentina 18, 156-170. <http://dx.doi.org/10.5710/PEAPA.28.05.2018.258>

- Mourelle, D., Prieto, A., García-Rodríguez, F., 2015. Cambios de la vegetación en la cuenca de la Laguna Merín, Uruguay, durante los últimos ca. 2000 cal. años AP. *Rev. Bras. Paleontol.* 18, 509-520. <http://dx.doi.org/10.4072/rbp.2015.3.13>
- Mourelle, D., Prieto, A., García-Rodríguez, F., 2017. Riparian woody vegetation history in the campos region, southeastern South America, during two time windows: late Pleistocene and late Holocene. *Quat. Sci. Rev.* 167, 14-29. <http://dx.doi.org/10.1016/j.quascirev.2017.04.024>
- Nascimento, M.D., Souza, B.S.P., 2010. Mapeamento geomorfológico da área abrangida pela carta topográfica de Santa Maria – RS como subsídio ao planejamento ambiental. *Rev. Bras. Geomorfol.* 11, 83-90. <https://doi.org/10.20502/rbg.v11i2.155>
- Neves, P.C.P., Bachi, F.A., Rossoni, M.G., Bauermann, S.G., Kroeff, V.N., Augustin, R.S., Prochnow, E.A., 2001. Novas ocorrências de pólenes de Magnoliophyta no Quaternário Superior do estado do Rio Grande do Sul, Brasil. *Pesquisa Botânica* 51, 59-71.
- Nieto, M.A., Prieto, A.R., 2013. Analisis palinologico del holoceno tardio del sitio "Fortin Necochea" (partido de Gral. Lamadrid, provincia de Buenos Aires, Argentina). *Ameghiniana* 24, 271-276.
- Novello, V.F., Cruz, F.W., Vuille, M., Stríkis, N.M., Edwards, L.R., Cheng, H., Emerick, S., Paula, M.S., Li, X., Barreto, E.S., Karmann, I., Santos, R.V., 2017. A high-resolution history of the South American Monsoon from Last Glacial Maximum to the Holocene. *Sci. Rep.* 7, 44267. <https://doi.org.10.1038/srep44267>
- O'Leary, N., 2015. Synopsis of subtribe Hyptidinae (Lamiaceae) in Argentina. *Phytotaxa* 233, 201-235. <http://dx.doi.org/10.11646/phytotaxa.233.3.1>
- O'Leary, N., Peralta, P., Múlgura, M.E., 2011. Sinopsis del género *Junellia* (Verbenaceae). *Darwiniana* 49, 47-75. <https://doi.org/10.14522/darwiniana.2014.491.270>
- Oliveira, L.S., Andrade, B.O., Boldrini, I.I., Moço, M.C.C., 2019. Aquatic vascular plants of South Brazil: checklist and a comparative floristic approach. *Acta Bot. Bras.* 33, 709-715. <https://doi.org/10.1590/0102-33062019abb0194>

Ortiz, A.V., Moroni, P., Mirra, F., Espinoza, R.M.V., O'Leary, N., 2021. Taxonomic Revision of *Euphrasia* (Orobanchaceae) in South America. *Ann. Mo. Bot. Gard.* 106, 392-423. <https://doi.org/10.3417/2021707>

Overbeck, G.E., Vélez-Martin, E., Menezes, L.S., Anand, M., Baeza, S., Carlucci, M.B., Dechoum, M., Durigan, G., Fidelis, A., Guido, A., Moro, M.F., Munhoz, C.B.R., Oyarzabal, M., Andrade, B., Pillar, V.D., Paruelo, J.M., 2020. Temperate subhumid grasslands of southern South America. In: Di Paolo, D. (Ed.), *Encyclopedia of the world biomes*. Elsevier, Netherlands, pp. 1-17.

Oyarzabal, M., Clavijo, J., Oakley, L., Biganzoli, F., Tognetti, P., Barberis, I., Maturo, H.M., Aragón, R., Campanello, P.I., Prado, D., Oesterheld, M., León, R.J.C., 2018. Unidades de vegetación de la Argentina. *Ecología Austral* 28, 40-63. <https://doi.org/10.25260/EA.18.28.1.0.399>

Pacella, L.F., Di Pasquo, M., 2020. Aportes de la palinología al conocimiento de los embalsados holocenos de Corrientes, Argentina. *Rev. Bras. Paleontol.* 23, 63-72. <https://doi.org/10.4072/rbp.2020.1.04>

Paez, M.M., Rojo, L.D., Martínez, G.A., 2015. Investigaciones palinológicas y geoarqueológicas en la Sierra Oriental de Tandilia y llanura interserrana desde la transición Pleistoceno – Holoceno. *Ameghiniana* 52, 12-23.

Palchetti, M.V., Cantero, J.J., Barboza, G.E., 2020. Solanaceae diversity in South America and its distribution in Argentina. *An. Acad. Bras. Cienc.* 92, 1-17. <https://doi.org/10.1590/0001-3765202020190017>

Paruelo, J.M., Jobbágy, E.G., Oesterheld, M., Golluscio, R.A., Aguiar, M.R., 2007. The grasslands and steppes of Patagonia and the Río de la Plata plains. In: Veblen, T.T., Young, K.R., Orme, A.R. (Eds.), *The physical geography of South America*. Oxford University Press, New York, pp. 232-248.

Paschoa, R.P., Christ, J.A., Valente, C.S., Ferreira, M.F.S., Miranda, F.D., Garbin, M.L., Carrijo, T.T., 2018. Genetic diversity of populations of the dioecious *Myrsine coriacea* (Primulaceae) in the Atlantic Forest. *Acta Bot. Bras.* 32, 376-385. <https://doi.org/10.1590/0102-33062017abb0355>

Pederneiras, L.C., Machado, A.F.P., 2017. Flora of the state of Rio de Janeiro: Ulmaceae. *Rodriguésia* 68, 541-543. <https://doi.org/10.1590/2175-7860201768216>

Pederneiras, L.C., Costa, A.F., Araujo, D.S.D., Carauta, J.P.P., 2011. Ulmaceae, Cannabaceae and Urticaceae of restingas of the state of Rio de Janeiro. *Rodriguésia* 62, 299-313. <https://doi.org/10.1590/2175-7860201162207>

Perin, E.B., Lima, G.L.P., Oliveira, M.A.T., 2021. Palinologia de turfas do alto curso do Arroio Cará, Coxilha Rica, Santa Catarina, Brasil. *Rev. Bras. Paleontol.* 24, 265-277. <https://doi.org/10.4072/rbp.2021.3.07>

Pinto, M.F., Nabinger, C., Boldrini, I.I., Ferreira, P.M.A., Setubal, R.B., Trevisan, R., Fedrigo, J.K., Carassai, I.J., 2013. Floristic and vegetation structure of a grassland plant community on shallow basalt in southern Brazil. *Acta Bot. Bras.* 27, 162-179. <https://doi.org/10.1590/S0102-33062013000100017>

Pometti, C.L., Bessega, C.F., Cialdella, A.M., Ewens, M., Saidman, B.O., Vilardi, J.C., 2019. Evidence of local adaptation and stabilizing selection on quantitative traits in populations of the multipurpose American species *Acacia aroma* (Fabaceae). *Bot. J. Linn. Soc.* 191, 128-141. <https://doi.org/10.1093/botlinnean/boz023>

Prado, J.L., Alberdi, M.D., Bellinzoni, J., 2021. Pleistocene mammals from pampean region (Argentina). Biostratigraphic, biogeographic, and environmental implications. *Quaternary* 4, 15. <https://doi.org/10.3390/quat4020015>

Prieto, A.R., 1996. Late Quaternary vegetational and climatic changes in the Pampa grassland of Argentina. *Quat. Res.* 45, 73-88. <https://doi.org/10.1006/qres.1996.0007>

Prieto, A.R., 2000. Vegetational history of the Late glacial–Holocene transition in the grasslands of eastern Argentina. *Palaeogeogr. Palaeoclimatol. Palaeoecol.* 157, 167-188. [https://doi.org/10.1016/S0031-0182\(99\)00163-7](https://doi.org/10.1016/S0031-0182(99)00163-7)

Prieto, A.R., Blasi, A.M., Francesco, C.G., Fernández, C., 2004. Environmental history since 11,000 <sup>14</sup>C yr B.P. of the northeastern Pampas, Argentina, from alluvial sequences of the Luján River. *Quat. Res.* 62, 146-161. <https://doi.org/10.1016/j.yqres.2004.04.006>

Puerto, O. 1969. Hierbas del Uruguay. *Nuestra Tierra* 19, Montevideo. 68 pp.

Punt, W., Hoen, P.P., Blackmore, S., Nilsson, S., Thomas, A. L., 2007. Glossary of pollen and spore terminology. *Rev. Palaeobot. Palynol.* 143, 1-81. <https://doi.org/10.1016/j.revpalbo.2006.06.008>

- Quadros, F.L.F., Pillar, V.D., 2002. Transições floresta-campo no Rio Grande do Sul. *Ciência & Ambiente* 24, 109-118.
- Quattrocchio, M.E., Borronei, A.M., 1998. Paleovegetational and paleoclimatic changes during the Late Quaternary in southwestern Buenos Aires province and southern Tierra del Fuego (Argentina). *Palynology* 22, 67-82. <https://doi.org/10.1080/01916122.1998.9989503>
- Quattrocchio, M.E, Borronei, A.M., Deschamps, C.M., Grill, S.C., Zavala, C.A., 2008. Landscape evolution and climate changes in the Late Pleistocene–Holocene, southern Pampa (Argentina): evidence from palynology, mammals and sedimentology. *Quat. Int.* 181, 123-138. <https://doi.org/10.1016/j.quaint.2007.02.018>
- R Core Team, 2022. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna. <https://www.R-project.org>
- Radaeski J.N., Bauermann, S.G., Pereira, A.B., 2016. Poaceae pollen from Southern Brazil: distinguishing grasslands (Campos) from forests by analyzing a diverse range of Poaceae species. *Front. Plant Sci.* 7, 1833. <https://doi.org/10.3389/fpls.2016.01833>
- Radaeski, J.N., Bauermann, S.G., Pereira, A.B., 2018. Morfologia polínica de táxons florestais da família Poaceae nativos do sul do Brasil e sua implicação nos registros fósseis quaternários. *Revista de Ciências Ambientais* 12, 51-68. <http://dx.doi.org/10.18316/rca.v12i2.3140>
- Radaeski, J.N., Cunha, D.J., Bauermann, S.G., 2020. Understanding ecosystem dynamics of herbaceous grasslands (campos) and arboreal forests (Bambuseae) using Poaceae pollen grains in the coastal plain Holocene sediments of Southern Brazil. *Palynology* 44, 433-440. <https://doi.org/10.1080/01916122.2019.1631225>
- Rademann, L.K., Trentin, R., Robaina, L.E.S., 2016. Análise das formas de relevo do município de Cacequi – RS. *Ciência e Natura* 38, 179-188. <https://doi.org/10.5902/2179460X18820>
- Radice, S., Galati, B.G., Zarlavsky, G., Arena, M.E., 2020. Histological changes of *Berberis mikuna* pollen grains in relation to viability and germinability. *Flora* 268, 151-623. <https://doi.org/10.1016/j.flora.2020.151623>
- Rambo, B.R. 1956. A fisionomia do Rio Grande do Sul. Selbach, Porto Alegre, 443 pp.



- Ramírez, L.R., Sámuel, I., 2022. Native forest metacommunity structures in Uruguay shaped by novel land-use types in their surroundings. *Ecol. Evol.* 12, e8700. <https://doi.org/10.1002/ece3.8700>
- Ramos, R.S., Brea, M., Kröhling, D., Patterer, N.I., 2023. Pleistocene subtribe Terminaliinae (Combretaceae) fossil in the middle-lower Uruguay river basin, South America. *Rev. Palaeobot. Palynol.* 311, 104857. <https://doi.org/10.1016/j.revpalbo.2023.104857>
- Reboita, M.S., Krusche, N., Ambrizzi, T., Rocha, R.P., 2012. Entendendo o tempo e o clima na América do Sul. *Terræ Didática* 8, 34-50. <https://doi.org/10.20396/td.v8i1.8637425>
- Reginato, M., Rodrigues, R.S., Rosenfield, M.F., Sampaio, A.B., Silva, F.H.B., Silveira, F.A.O., Sosinski Jr., Ê.E., Staude, I.R., Temperton, V.M., Turchetto, C., Veldman, J.W., Viana, P.L., Zappi, D.C., Müller, S.C., 2022. Placing Brazil's grasslands and savannas on the map of science and conservation. *Perspect. Plant Ecol. Evol. Syst.* 56, 125687. <https://doi.org/10.1016/j.ppees.2022.125687>
- Ribeiro, R.T.M., Loiola, M.I.B., Sales, M.F., 2017. Flora of Espírito Santo: Terminaliinae subtribe (Combretaceae). *Rodriguésia* 68, 1547-1557. <https://doi.org/10.1590/2175-7860201768503>
- Ribeiro, V., Guerra-Sommer, M., Kuhn, L.A., Simões, J.C., Bauermann, S.G., Silva, W.G., 2020. Fire events and vegetation dynamics during the late Pleistocene-Meghalayan interval in the southernmost Brazilian coastal plain. *Rev. Bras. Paleontol.* 23, 234-250. <https://doi.org/10.4072/rbp.2020.4.02>
- Ribeiro, V., Guerra-Sommer, M., Menegat, R., Simões, J.C., Kuhn, L.A., Barboza, E.G., Marcon, G.T.G., 2024. Pleistocene–Holocene climatic events on the inner coastal plain of southernmost Brazil in relation to marine isotopic stages. *J. South Am. Earth Sci.* 137, 104857. <https://doi.org/10.1016/j.jsames.2024.104857>
- Rivas, M., Filippini, J. M., Cunha, H., Hernández, J., Resnichenko, Y., Barbieri, R. L., 2017. Palm forest landscape in Castillos (Rocha, Uruguay): contributions to the design of a conservation rea. *Open J. For.* 7, 97-120. <https://doi.org/10.4236/ojf.2017.72007>
- Robles, T.S.S., Peter, G., Tur, N.M., 2011. Notes on the sexual condition of *Myriophyllum aquaticum*, Haloragaceae. *Phyton* 80: 133-138.

Rodríguez-Araújo, M.E., Milano, C., Pérez, D.R., 2019. Germination of *Ephedra ochreatea* Miers: contribution for productive restoration of arid environments in Argentina. *Agrociencia* 53, 617-629.

Rodríguez-Craveró, J.F., Gutiérrez, D.G., Katinas, L., Grossi, M.A., Bonifacino, J.M., Marchesi, E., 2019. A revision and morphological analysis of the Uruguayan species of *Stevia* (Compositae, Eupatorieae). *Rodriguésia* 70, 1-24. <https://doi.org/10.1590/2175-7860201970078>

Rossato, M.S., 2020. The climates of Rio Grande do Sul: a climate classification proposal. *Entrelugar* 11, 57-85. <https://doi.org/10.30612/el.v11i22.12781>

Roth, L., Lorscheitter, M.L., Masetto, E., 2021. Paleoenvironments of the last 24,000 years on the extreme northern Rio Grande do Sul coastal plain, southern Brazil. *Quat. Int.* 571, 117-126. <https://doi.org/10.1016/j.quaint.2020.11.024>

Rutishauser, R., Wanntorp, L., Pfeifer, E., 2004. *Gunnera herteri* – developmental morphology of a dwarf from Uruguay and S Brazil (Gunneraceae). *Plant Syst. Evol.* 248, 219-241. <https://doi.org/10.1007/s00606-004-0182-7>

Rzedowski, G.C., Rzedowski, J., 2006. Sapindaceae. *Flora fanerogámica argentina* 142, 1-70.

Sabatino, M., Deble, L.P., 2022. *Grindelia peregrinensis* (Asteraceae: Astereae), a new species from southern Buenos Aires Province, Argentina. *Brittonia* 74, 290-296. <https://doi.org/10.1007/s12228-022-09706-y>

Salgado, E.T., Mizusaki, A.M.P., Chueng, K.F., Coe, H.H.G., Evaldt, A.C.P., Bauermann, S.G., 2021. Holocene palaeoenvironmental and palaeoclimatic reconstruction of a native ecosystem on the coastal plain of southern Brazil through multi-proxy analysis. *J. South Am. Earth Sci.* 106, 103067. <https://doi.org/10.1016/j.jsames.2020.103067>

Salgado-Labouriau, M. L., 1973. Contribuição à palinologia dos cerrados. *Academia Brasileira de Letras*, Rio de Janeiro, 291 pp.

Santilli, L., Cohen, D.H., Acuña, R., 2020. New insights into *Grausa*: reinstatement, distribution and affinities of *Loasa acaulis* (loasaceae, loasoideae). *Darwiniana*, Nueva Serie 8, 372-388. <http://dx.doi.org/10.14522/darwiniana.2020.81.880>

- Santos, M.F., Lucas, E., Sano, P.T., Buerki, V. Staggemeier, G., Forest, F., 2017. Biogeographical patterns of *Myrcia* s.l. (Myrtaceae) and their correlation with geological and climatic history in the Neotropics. *Mol. Phylogenet. Evol.* 108, 34-48. <https://doi.org/10.1016/j.ympev.2017.01.012>
- Scherer, C., Lorscheitter, M.L., 2014. Vegetation dynamics in the southern Brazilian highlands during the last millennia and the role of bogs in *Araucaria* forest formation. *Quat. Int.* 325, 3-12. <http://dx.doi.org/10.1016/j.quaint.2014.01.010>
- Schiavinato, D.J., Bartoli, A., 2020. A new species and two new records of *Tagetes* (Asteraceae, Tageteae) from La Rioja province, Argentina. *Phytotaxa* 461, 15-27. <https://doi.org/10.11646/phytotaxa.461.1.6>
- Siegloch, A.M., Marchiori, J.N.C., 2018. Anatomia dos lenhos de *Ephedra tweediana*, *Gnetum gnemon* e *Welwitschia mirabilis* (Gnetidae). *Balduinia* 61, 23-30. <http://dx.doi.org/10.5902/2358198032387>
- Siegloch, A.M., Marchiori, J.N.C., Santos, S.R., 2013. Anatomia do lenho de *Allophylus guaraniticus* (St.-Hil.) Radlk. (Sapindaceae). *Balduina* 39, 19-23. <https://doi.org/10.5902/2358198013982>
- Siegloch, A.M., Santos, S.R., Marchiori, J.N.C., 2011. Estudo anatômico do lenho de *Callisthene inundata* Bueno, Nilson & Magalhães. *Balduinia* 32, 7-11. <https://doi.org/10.5902/2358198013895>
- Silveira, F.S., Miotto, S.T.S., 2013. A família Fabaceae no Morro Santana, Porto Alegre, Rio Grande do Sul, Brasil: aspectos taxonômicos e ecológicos. *R. Bras. Bioci.* 11, 93-114. <https://seer.ufrgs.br/index.php/rbrasbioci/article/view/115548>
- Silveira, F.S., Miotto, S.T.S., Iganci, J.R.V., 2018. Typification and taxonomy in *Mimosa* subser. *Obstrigosae* (Fabaceae, mimosoid clade). *Willdenowia* 48, 443-449. doi: <https://doi.org/10.3372/wi.48.48314>
- Slanis, A.C., Bulacio, E., 2022. *Caiophora vallegrandensis* (Loasaceae, Loasoideae, Loaseae): una nueva especie de Argentina. *Darwiniana, Nueva Serie* 10, 271-278. <https://doi.org/10.14522/darwiniana.2022.101.1031>
- Slanis, A.C., Goldenberg, R., 2011. Notas sobre el género *Miconia* (Melastomataceae) en la Argentina. *Darwiniana* 49, 99-103. <https://doi.org/10.14522/darwiniana.2014.491.275>

- Soares, A.C., Villar, J.L., Hefler, S.M., 2015. Synopsis of Cyperaceae family in an area of southernmost Rio Grande do Sul, Brazil. *Rodriguésia* 66, 441-453. <https://doi.org/10.1590/2175-7860201566212>
- Soares, A.S., Harley, R.M., Pastore, J.F.B.; Jardim, J.G., 2022. On the identity of *Oocephalus lythroides* (Hyptidinae, Lamiaceae): a new combination in the genus *Cantinoa*. *Acta Bot. Bras.* 36, e2021abb0302. <https://dx.doi.org/10.1590/0102-33062021abb0302>
- Soares, E.L.C., Vignoli-Silva, M., Mentz, L.A., 2011. Taxonomic synopsis and analytical key for the genera of Solanaceae from Rio Grande do Sul, Brazil. *Acta Bot. Bras.* 25, 346-362. <https://doi.org/10.1590/S0102-33062011000200011>
- Soares, K.P., Longhi, S.J., Neto, L.W., Assis, L.C., 2014. Palms (Arecaceae) from Rio Grande do Sul, Brazil. *Rodriguésia* 65, 113-139. <https://doi.org/10.1590/S2175-78602014000100009>
- Sobral, M., Jarenkow, J.A., Brack, P., Irgang, B., Larocca, J., Rodrigues, R.S., 2006. Flora arbórea e arborescente do Rio Grande do Sul, Brasil. *RiMANovo Ambiente*, São Carlos, 362 pp.
- Sobral, M., Proença, C., Souza, M., Mazine, F., Lucas, E., 2014. Myrtaceae; In: Lista de espécies da flora do Brasil. Jardim Botânico do Rio de Janeiro. <http://floradobrasil.jbrj.gov.br/2012/FB010660>
- Sobrero, M.T., Fernández, A., Sabbatini, M.R., 1993. Seed germination of *Typha subulata* in relation to weed management. *J. Aquat. Plant Manag.* 31, 98-100.
- Sodré, R.C., Alonso, A.A., Silva, M.J., 2022. Revised delimitation of *Croton campestris* (Euphorbiaceae), including description of two new species, molecular phylogenetic, anatomical and micromorphological data. *Acta Bot. Bras.* 36, e2021abb0163. <https://dx.doi.org/10.1590/0102-33062021abb0163>
- Sodré, R.C., Sales, M.F., Berry, P.E., Silva, M.J., 2019. Taxonomic synopsis of *Croton* section *Geiseleria* (Euphorbiaceae) in Brazil, including description of a new species. *Phytotaxa* 417, 1-105. <https://doi.org/10.11646/phytotaxa.417.1.1>
- Souza, L.R., Silva, O.L.M., Santos, F.A.R., Carneiro-Torres, D.S., 2020. Pollen morphology of *Croton* of the New World and pollen evolution of tribe Crotoneae

- (Euphorbiaceae). Rev. Palaeobot. Palynol. 281, 104279. <https://doi.org/10.1016/j.revpalbo.2020.104279>
- Souza, M.L.R., 1984. A taxonomic study of the genus *Tibouchina* Aubl. (Melastomataceae) in Rio Grande do Sul – Brazil. *Insula* 110, p. 3-109.
- Souza, V.F., Ribeiro, R.T.M., Loiola, M.I.B., Versieux, L.M., 2018. Combretaceae of Rio Grande do Norte state, Brazil. *Rodriguésia* 69, 1771-1787. <https://doi.org/10.1590/2175-7860201869417>
- Souza, V.F., Gontijo, F.D., Dornas, T.T., Colletta, G.D., Scatigna, A.V., Moura, M.N., 2022. *Agalinis marianae* (Orobanchaceae), a new endangered species endemic to the Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais, Brazil. *Acta Bot. Bras.* 36, e20210318. <https://dx.doi.org/10.1590/0102-33062021abb0183>
- Souza-Chies, T.T., Santos, E.K., Eggers, L., Flores, A.M., Alves, A.M.S., Fachinetto, J.; Lustosa, J., Corrêa, L.B., Tacuatiá, L.O., Piccoli, P., Miz., R.B., 2012. Studies on diversity and evolution of Iridaceae species in southern Brazil. *Genet. Mol. Biol.* 35, 1027-1035. <https://doi.org/10.1590/S1415-47572012000600018>
- Spalding, B.B.C., Lorscheitter, M.L., 2015. Dry and humid phases in the highlands of southern Brazil during the last 34,000 years, and their influence on the paleoenvironments of the region. *Quat. Int.* 377, 102-111. <https://doi.org/10.1016/j.quaint.2014.11.057>
- Stehmann, J.R., 2020. *Berberidaceae* Juss. Flora do Brasil, Jardim Botânico do Rio de Janeiro. <http://floradobrasil.jbrj.gov.br/reflora/floradobrasil/FB60>
- Stutz, S., Prieto, A.R., Isla, F.I., 1999. Cambios de la vegetación durante el Holoceno en el SE de la provincia de Buenos Aires: análisis polínico del arroyo La Ballenera. *Asociación Paleontológica Argentina, Publicación Especial* 6, 65-69.
- Stutz, S., Prieto, A.R., Isla, F.I., 2002. Historia de la vegetación del Holoceno de la laguna Hinojales, sudeste de la provincia de Buenos Aires, Argentina. *Ameghiniana* 39, 85-94.
- Stutz, S., Borel, C.M., Fontana, S.L., Puerto, L., Inda, H., García-Rodríguez, F., Tonello, M.S., 2010. Late Holocene climate and environment of the SE Pampa grasslands, Argentina, inferred from biological indicators in shallow, freshwater Lake Nahuel Ruca. *J. Paleolimnol.* 44, 761-775. <https://doi.org/10.1007/s10933-010-9450-4>

- Teillier, S., Amarilla, L.D., Anton, N.M., 2019. Contribución a la flora vascular de la República Argentina: familia Ericaceae. *Darwiniana*, Nueva Serie 7, 68-92. <http://dx.doi.org/10.14522/darwiniana.2019.71.845>
- Thode, V.A., Mentz, L.A., 2010. The genus *Glandularia* J.F. Gmel. (Verbenaceae) in Rio Grande do Sul, Brazil. *Acta Bot. Bras.* 24, 529-557. <https://doi.org/10.1590/S0102-33062010000200023>
- Tonello, M.S., Prieto, A., 2008. Modern vegetation-pollen-climate relationships for the Pampa grasslands of Argentina. *J. Biogeogr.* 35, 926-938. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2699.2007.01854.x>
- Tonello, M.S., Prieto, A., 2010. Tendencias climáticas para los pastizales pampeanos durante el Pleistoceno tardío-Holoceno: estimaciones cuantitativas basadas en secuencias polínicas fósiles. *Ameghiniana* 47, 501-514. <https://doi.org/10.5710/AMGH.v47i4.7>
- Trevisan, R., Boldrini, I.I., 2008. O gênero *Eleocharis* R.Br. (Cyperaceae) no Rio Grande do Sul, Brasil. *Revista Brasileira de Biociências* 6, 7-67.
- Trindade, C.R.T., Pereira, S.A., Albertoni, E.F., Palma-Silva, C., 2010. Caracterização e importância das macrófitas aquáticas com ênfase nos ambientes límnicos do Campus Carreiros – FURG, Rio Grande, RS. *Cadernos de Ecologia Aquática* 5, 1-22. <http://repositorio.furg.br/handle/1/436>
- Trindade, J.P.P., Quadros, F.L.F., Pillar, V.D.P., 2008. Grassland vegetation of Sandy patches of Rio Grande do Sul under grazing and enclosure. *Pesq. Agropec. Bras.* 43, 771-779. <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2008000600014>
- Vaccaro, S., Longhi, S.J., 1995. Análise fitossociológica de algumas áreas remanescentes da floresta do alto Uruguai, entre os rios Ijuí e Turvo, no Rio Grande do Sul. *Ciência Florestal* 5, 33-53.
- Valtierra, M.V., Marchesi, E., Heiden, G., Bonifacino, J.M., 2021. *Baccharis rectialata* (Compositae: Astereae): a new species of carqueja from Uruguay. *Phytotaxa* 478, 253-260. <https://doi.org/10.11646/phytotaxa.478.2.6>
- Vega, E., Baldi, G., Jobbágy, E.G., Paruelo, J., 2009. Land use change patterns in the Río de la Plata grasslands: the influence of phytogeographic and political boundaries. *Agric. Ecosyst. Environ.* 134, 287-292. <http://dx.doi.org/10.1016/j.agee.2009.07.011>

- Velazco, S.J.E., Keller, H.A., Galvão, F., 2018a. Small but important: the woody vegetation communities on the sandstone outcrops of Teyú Cuaré (Misiones, Argentina). *Bol. Soc. Argent. Bot.* 53, 421-433. <https://doi.org/10.31055/1851.2372.v53.n3.21315>
- Velazco, S.J.E., Galvão, F., Keller, H.A., Bedrij, N.A., 2018b. Cerrados in Argentina? Structure, diversity and biogeography of the woody component of a savanna in the Misiones Province. *Rodriguésia* 69, 335-349. <https://doi.org/10.1590/2175-7860201869206>
- Verdum, R., 2016. Paisagem do Pampa: monotonia que se rompe no espaço e no tempo. In: Chomenko, L., Bencke, G.A. (Eds.), *Nosso Pampa desconhecido*. Fundação Zoobotânica, Projeto RS Diversidade, Porto Alegre, pp. 45-60.
- Vicente A.J.S., Candido, L.F., Silveira, M.J., Fianza, K., 2022. Density effect of *Polygonum ferrugineum* Wedd. (Polygonaceae) and nutrients concentration of sediment on establishment of *Alternanthera philoxeroides* (Mart.) Griseb. (Amaranthaceae). *Acta Limnol. Bras.* 34, e6. <https://doi.org/10.1590/S2179-975X6821>
- Vilela, L., Lopez, J.C., 2022. *Hornschuchia* (Annonaceae), an endemic and threatened genus from the Brazilian Atlantic Forest. *Eur. J. Taxon.* 828, 75-108. <https://doi.org/10.5852/ejt..2022.828.1859>
- Vilanova, I., Prieto, A.R., 2012. Historia de la vegetación de las llanuras costeras de la Bahía Samborombón (~35,5°S), Argentina, desde 7800 <sup>14</sup>c años. *Ameghiniana* 49, 303-318. [https://doi.org/10.5710/AMGH.v49i3\(499\)](https://doi.org/10.5710/AMGH.v49i3(499))
- Vilanova, I., Prieto, A., Espinosa, M., 2006. Palaeoenvironmental evolution and sea-level fluctuations along the southeastern Pampa grasslands coast of Argentina during the Holocene. *J. Quat. Sci.* 21, 227-242. <https://doi.org/10.1002/jqs.953>
- Vilanova, I., Prieto, A.R., Stutz, S., Bettis III, A.E., 2010. Holocene vegetation changes along the southeastern coast of the Argentinean Pampa grasslands in relation to sea-level fluctuations and climatic variability: palynological analysis of alluvial sequences from Arroyo Claromecó. *Palaeogeogr. Palaeoclimatol. Palaeoecol.* 298, 210-223. <https://10.1016/j.palaeo.2010.09.026>
- Vitarelli, N.C., Santos, M., 2009. Stipule and colleter anatomy of *Psychotria carthagenensis* Jacq. (Rubiaceae). *Acta Bot. Bras.* 23, 923-928. <https://doi.org/10.1590/S0102-33062009000400002>

- Vivo, M., Carmignotto, A.P., 2004. Holocene vegetation change and the mammal faunas of South America and Africa. *J. Biogeogr.* 31, 943-957. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2699.2004.01068.x>
- Vuichard, G.S., Tonello, M.S., Stutz, S., Navarro, D., Vásquez, C., 2023. Pampa plain (Argentina) wetland history through a lake case study: Kakel Huincul environmental history during the last 600 Years. *Wetlands* 43, 15. <https://doi.org/10.1007/s13157-023-01660-z>
- Welker, C.A.D., Longhi-Wagner, H.M., 2012. The genera *Eriochrys* P. Beuv., *Imperatta cirillo* and *Sacharum* L. (Poaceae – Sacharinae) in the state of Rio Grande do Sul, Brazil. *Rev. Bras. Bot.* 35, 87-105. <https://doi.org/10.1590/S0100-84042012000100010>
- Wildner, W., Ramgrab, G.E., Lopes, R. C., Iglesias, C.M.F., 2006. Mapa Geológico do Estado do Rio Grande do Sul. Serviço Geológico do Brasil, escala 1:750000. [http://www.cprm.gov.br/publique/media/geologia\\_basica/cartografia\\_regional/mapa\\_r io\\_grande\\_sul.pdf](http://www.cprm.gov.br/publique/media/geologia_basica/cartografia_regional/mapa_r io_grande_sul.pdf) (accessed 17 february 2023).
- Zanotti, C.A., Sassone, A., 2019. *Sisyrinchium humahuacense* of sect. *Segetia* a new species from Argentina. *Plant Biosyst.* 153, 870-876. <https://doi.org/10.1080/11263504.2019.1580226>
- Zanotti, C.A., Chiarini, F.E., Mering, S., Acosta, J.M., 2022. Análisis morfológicos y moleculares respaldan la identidad de *Arenaria pycnophylloides* (Caryophyllaceae, Arenarieae) y la exclusión del género *Sabulina* para la flora argentina. *Darwiniana*, Nueva Serie 10, 435-450. <https://doi.org/10.14522/darwiniana.2022.102.1081>
- Zanotti, C.A., Suescún, M.A., Acosta, J.M., 2014. Confirmation of *Valeriana nivalis* (Valerianaceae) to the Argentinian flora. *Phytotaxa* 167, 295-300. <http://dx.doi.org/10.11646/phytotaxa.167.3.9>
- Zapater, M.A., Castillo, E.M., Pennington, T.D., 2004. El genero *Cedreia* (Meliaceae) en la Argentina. *Darwiniana* 42, 347-356. <https://doi.org/10.14522/darwiniana.2014.421-4.199>
- Zavala-Gallo, L., Denham, S., Pozner, R., 2011. Two new species of *Boopis* (Calyceraceae) from Argentina. *Brittonia* 63, 113-117. <http://www.jstor.org/stable/41406769>.



Zuloaga, F.O., Belgrano M.J., 2015. The catalogue of vascular plants of the Southern Cone and the flora of Argentina: their contribution to the World Flora. *Rodriguésia* 66, 989-1024. <https://doi.org/10.1590/2175-7860201566405>

Zuloaga, F.O., Belgrano, M.J., Zanotti, C.A., 2019. Actualización del catálogo de las plantas vasculares del cono sur. *Darwiniana*, Nueva Serie 7, 208-278. <http://dx.doi.org/10.14522/darwiniana.2019.72.861>

Zuloaga, F.O.; Rúgolo, Z.; Anton, A.M. 2014. Poaceae, Pooideae. *Flora Argentina* 3 (2), 523 pp.

## **INTEGRAÇÃO DOS DADOS E DISCUSSÕES**

---

A pesquisa desenvolvida procura contribuir para o conhecimento dos processos evolutivos relacionados às associações vegetacionais na região do Bioma Pampa e, por extensão, às PRP, ao longo do Quaternário Superior. Trata-se de uma investigação multiproxy baseada em análises de geocronologia, sedimentologia, palinologia e teor de matéria orgânica e cinzas aplicadas a amostras de testemunho de sondagem de uma turfeira localizada no município de Cacequi, estado do Rio Grande do Sul, Brasil. Os dados palinológicos foram comparados com publicações relacionadas não somente do Brasil, mas também do Uruguai e Argentina, a fim de se determinar a distribuição espaço-temporal dos táxons polínicos aqui identificados.

Nos tópicos abaixo segue a síntese integradora dos resultados obtidos nos dois artigos apresentados, bem como das discussões e conclusões. Além disso, há planos de utilizar as mesmas amostras para estudos com outros proxies, conforme brevemente discutido no último tópico, intitulado Trabalhos Futuros

### **Aspectos Evolutivos da Turfeira de Cacequi**

O testemunho de sondagem abarca os últimos 17.400 anos A.P., abrangendo o final do Pleistoceno Superior e o Holoceno. Quatro intervalos granulométricos foram identificados ao longo do perfil sedimentar de 3,20 m de profundidade (Figura 3).

A porção basal (3,20 e 2,50 m) se constitui por frações predominantemente arenosas (areia levemente siltosa e areia levemente argilosa), com coloração cinza esverdeado escuro (5GY/4/2). Neste nível, a quantidade de cinza foi máxima (96,93%) e o teor de matéria orgânica foi mínimo (1,8%). Neste intervalo basal, não foram identificados restos vegetais associados. A idade deste intervalo (estimada entre 17.427 e 12.666 cal. yr. B.P.) se associa ao final do UMG. Os constituintes vegetais associados a campo predominam nesta fase, estando associados com maiores porcentagens de constituintes arbóreos. Pouca quantidade e diversificação de briófitas e samambaias foram identificadas. As características climáticas estariam associadas a condições mais secas que perduraram durante todo o final do UMG, desde o tempo de formação da base da turfa até o início do Holoceno. O corpo hídrico durante o início da formação da turfa era raso e efêmero, onde aportavam grandes quantidades de sedimentos devido a uma cobertura vegetal incipiente capaz de impedir de forma efetiva os processos erosivos de suas margens.

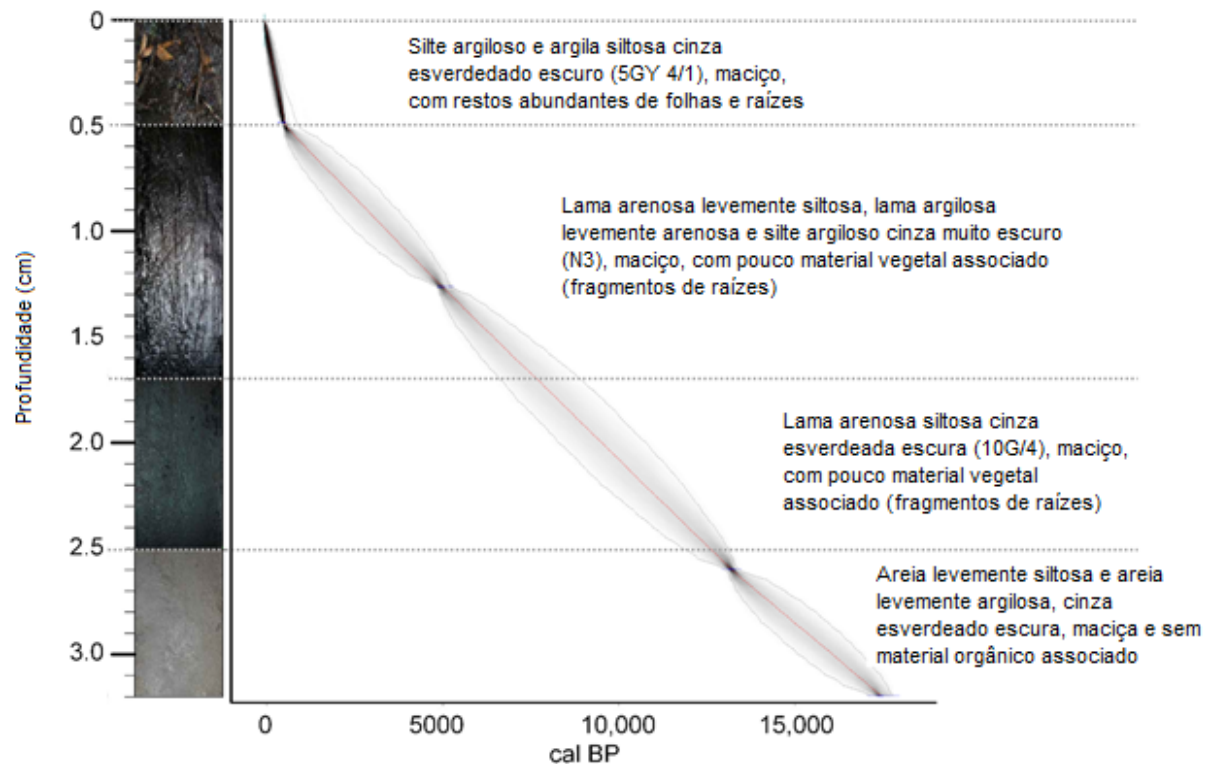


Figura 3. Modelo idade x profundidade e descrição do testemunho sedimentar (baseado em Bocalon *et al.*, 2023). O modelo de profundidade média de idade é indicado pela linha pontilhada vermelha, os intervalos de confiança de 95% são indicados pelas curvas pontilhada cinza escuro e as quatro datas calibradas são mostradas em azul.

O segundo intervalo (2,50-1,70 m) está constituído pela intercalação de lama arenosa argilosa cinza esverdeada escura (10G/4), com pequenas quantidades de restos vegetais fragmentados e decompostos associados. Observa-se aumento de matéria orgânica (15,03%) e ligeira redução do teor de cinzas (86,19%). Em relação aos constituintes vegetais, ocorre aumento dos constituintes campestres e diminuição dos constituintes arbóreos. Também este aumento é observado entre as samambaias e algas, que ocorre em todo o intervalo; em relação às briófitas, o aumento é perceptível na base. Com idades entre 12.666 e 4.433 cal. yr. B.P., este intervalo indica o início da implantação de condições redutoras, em um ambiente lacustre perene, de baixa energia, sem mais tanto aporte de material clástico terrígeno, o que favorece a preservação da matéria orgânica em relação ao intervalo anterior.

O intervalo entre 1,70 e 0,50 m mostra idades entre 4.433 e 523 cal. yr. B.P. se mostra bastante distinto em relação aos anteriores. Está constituído por lama arenosa levemente siltosa, lama arenosa levemente argilosa e silte levemente argiloso, com coloração cinza muito escuro (N/3). O valor médio da matéria orgânica aumenta para 28,4%, enquanto que o teor de cinzas diminui para 50,38%. Os constituintes campestres ainda são predominantes, enquanto os arbóreos mostram pequeno

decréscimo. Este intervalo se caracteriza, também, não somente pelo aumento dos constituintes aquáticos, mas também pela ampla variação dos mesmos, fato este observado em relação às samambaias e briófitas. As características mostram que, neste momento, as condições de banhado estão implementadas, onde as condições anóxicas são mais típicas, e sem aporte de material detrítico. É neste momento que as maiores taxas de umidade foram observadas ao longo da evolução do ambiente estudado.

O intervalo mais superior, abarcando os últimos 500 anos, está constituído por silte argiloso e argila siltosa, com coloração cinza esverdeado escuro (5GY/4/1), associado a grande quantidade de restos e fragmentos de plantas. Apresenta as maiores quantidades de matéria orgânica (46,05%), enquanto que os teores de cinzas mostram pequeno decréscimo na quantidade, atingindo máximo de 58,47%). Os constituintes vegetais campestres predominam, porém associados a diminuição dos constituintes aquáticos e das samambaias e briófitas. Os constituintes arbóreos aumentam neste intervalo. As características mostram um ambiente palustre assoreado, ainda associado a condições climáticas úmidas. A Figura 4 representa a evolução paleoecológica da turfeira de Cacequi

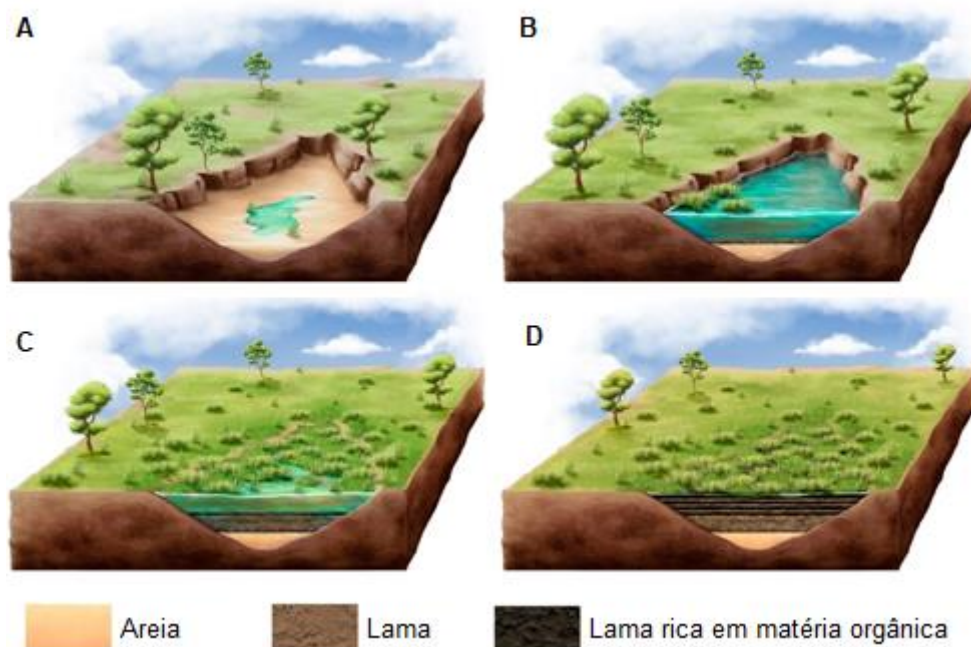


Figura 4. Blocos diagramas representando a evolução paleoambiental da turfeira analisada, com base nos proxies estudados. Os diagramas são meramente ilustrativos e não representam resultados quantitativos.

Os teores de cinzas e de matéria orgânica mostram grandes variações ao longo do testemunho estudado (Figura 5). No nível basal (entre 3,20 e 2,50 m), os elevados

teores de cinzas associados às baixas quantidades de matéria orgânica indicam condições oxidantes, inibindo os processos relacionados ao acúmulo e maturação da matéria orgânica vegetal. É neste nível, portanto, que o grau de humificação é menor. São observadas relações antagônicas entre o teor de cinzas e a matéria orgânica, fato bastante comum observado em turfeiras. Esta relação é mantida no intervalo entre 2,50 e 1,70 m, porém com diminuição do teor de cinzas e aumento de matéria orgânica. Isso indica o início de condições ambientais mais úmidas para preservação da matéria orgânica e diminuição do aporte sedimentar arenoso externo, provavelmente associado a um lençol freático mais estável; na porção média a superior deste nível, se observa tendência de aumento no grau de humificação da turfa. Nos níveis mais superiores (1,70 e 0,50 m e 0,50 m e 0,00 m), o teor de cinzas e a matéria orgânica apresentam comportamento muito semelhante, indicando que os conteúdos mineralizados associados às cinzas são autóctones e biogênicos.

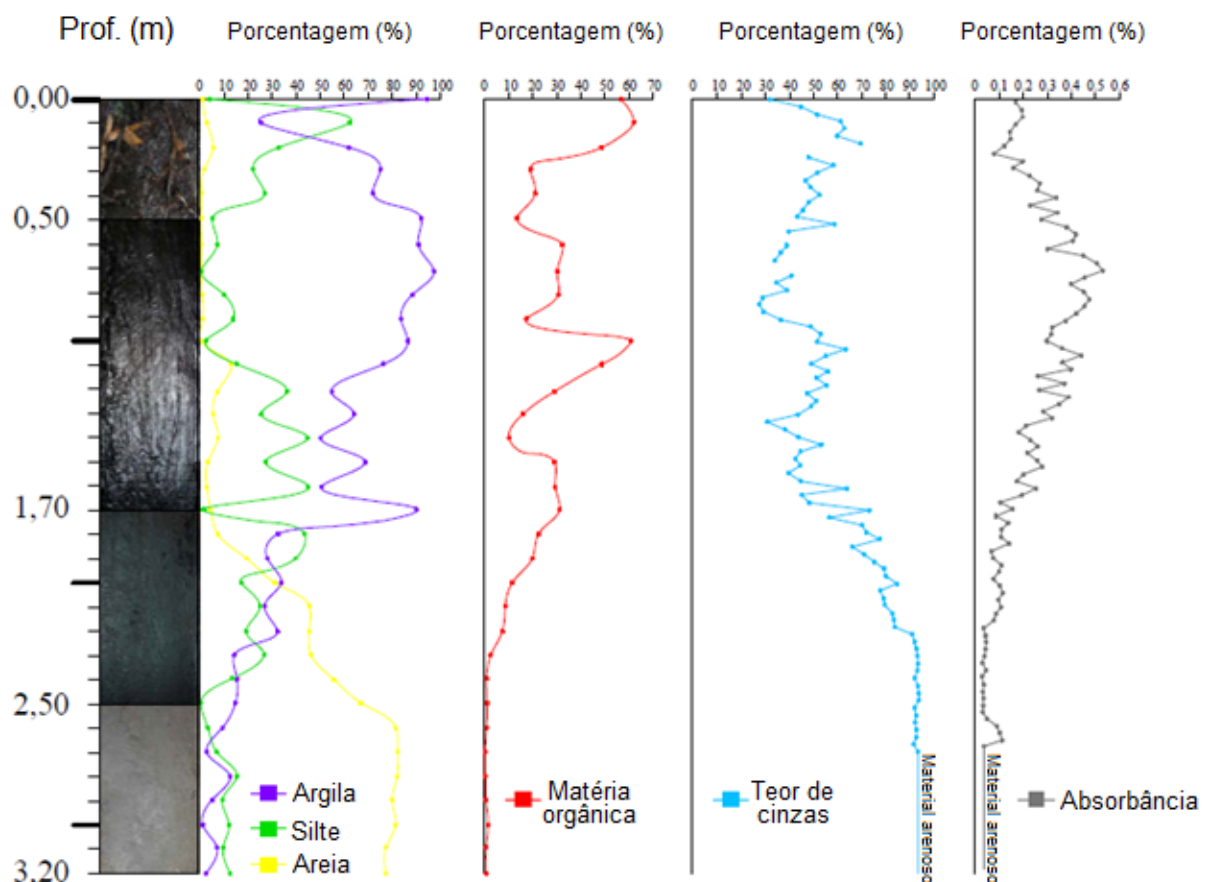


Figura 5. Perfil colunar da turfeira de Cacequi mostrando sucessão sedimentar, matéria orgânica, teor de cinzas e grau de humificação.

Entre 1,70 m e 0,50 m, o grau de humificação atinge valor máximo, indicando as condições altamente anóxicas e propícias para a maturação da matéria orgânica.

No entanto, no nível mais superior (0,50 m e 0,00 m), o alto grau de humificação mostra tendência de decréscimo, o que é sugerido por condições menos redutoras.

### **Palinologia da Turfeira de Cacequi**

Os quatro intervalos granulométricos descritos anteriormente também se refletem no conteúdo palinológico, onde quatro zonas polínicas foram identificadas, conforme pode ser observado nas Figuras 6, 7, 8 e 9.

A Zona CCQ I, basal, se caracteriza por predomínio de formações vegetais predominantes de pastagens, sendo Poaceae, Asteraceae os predominantes (mais de 60%) e quatro taxas ocorrendo em quantidades entre 5 e 10% (Apiaceae, Amaranthaceae, Rubiaceae e Lamiaceae), além de vários táxons ocorrendo em quantidades menores que 5%. Os táxons arbóreos perfazem até 20%, sendo Myrtaceae, Fabaceae, Rutaceae, Malpighiaceae e Apocynaceae. Haloragaceae e Polygonaceae se constituem nos representantes aquáticos, junto com samambaias e briófitas, ocorrendo em quantidades abaixo de 20%.

Ao longo da Zona CCQ II, os principais táxons campestres descritos anteriormente permanecem, porém agora acompanhados por Ephedraceae e por leve diversificação de táxons aquáticos, onde Typhaceae se faz presente junto com Haloragaceae e Polygonaceae, acompanhados por aumento de samambaias e briófitas. Os táxons arbóreos também mostram pequena diminuição, porém acompanhada por aumento na diversidade dos mesmos visto que, além dos táxons descritos na zona anterior, nesta ocorrem Sapotaceae, Loranthaceae, Vochysiaceae e Sapindaceae.

A Zona CCQ III mantém a predominância de táxons campestres, com aumento na quantidade de Poaceae e Asteraceae, além de aumento e diversificação de táxons com até 5% e menos de ocorrência: Amaranthaceae, Euphorbiaceae, Polygonaceae, Lythraceae, Malvaceae, Plantaginaceae, dentre outros. Os táxons arbóreos mostram pequena redução na quantidade, porém mantendo a diversidade: Myrtaceae, Fabaceae, Loasaceae, Rutaceae, Vochysiaceae, Ericaceae, Myrsinaceae. Os táxons aquáticos neste nível, e isso é importante ressaltar, mostram-se em maior quantidade e maior diversidade, sendo representados por Typhaceae, Polygonaceae, Lythraceae, e Haloragaceae e Combretaceae. Esta diversificação é também acompanhada por significativo aumento de samambaias e briófitas.

A Zona CCQ IV se mantém constituída basicamente por táxons campestres, sendo Poaceae e Asteraceae dominantes; vários táxons ocorrem associados em quantidades entre 5 e 10%: Amaranthaceae, Apiaceae, Amaranthaceae, Solanaceae, Calyceraceae, Euphorbiaceae, Rubiaceae, Solanaceae. Os táxons arbóreos mostram ligeiro aumento na quantidade, sendo representados por Myrtaceae, Rutaceae, Malpighiaceae, Annonaceae, Valerianaceae. Os táxons aquáticos mostram ligeiro decréscimo, sendo representados por Typhaceae, Haloragaceae, Polygonaceae e Combretaceae. Também se dá pequeno decréscimo na quantidade de samambaias e briófitas. Os táxons vegetais identificados ao longo das quatro zonas estão mostrados nas Figuras 10 e 11.

Os estudos palinológicos ao longo das quatro zonas identificadas mostra que os constituintes campestres se mantêm dominantes, fato este que é acompanhado por ligeira flutuação dos constituintes florestais. Embora ocorrendo em poucas quantidades nas quatro zonas, os táxons aquáticos se mostraram mais presentes e diversificados na Zona CCQ III, mesma zona em que samambaias e briófitas também ocorrem em maiores quantidades. Este aumento está associado a um momento específico do BP, quando condições mais úmidas foram impostas, ou seja, há 4.000 anos atrás. Este aumento de umidade foi gradual, e teria iniciado após o final do UMG. É importante notar que a maioria dos táxons polínicos identificados associados à campo são os mesmos encontrados na atual composição da diversidade vegetal do BP.

### **Distribuição Espaço-Temporal dos Táxons Polínicos nas Pradarias do Rio da Prata**

Comparando-se as ocorrências dos táxons polínicos estudados, se percebem diferenças bastante importantes entre as diferentes porções das Pradarias do Rio da Prata. Na porção norte das Pradarias do Rio da Prata (Brasil e Uruguai) Poaceae está geralmente associada a Asteraceae, enquanto que, na porção sul (Argentina), Chenopodiaceae é o principal táxon associado a Poaceae. Tal fato mostra que a dinâmica da vegetação teria sido diferente nestas porções.

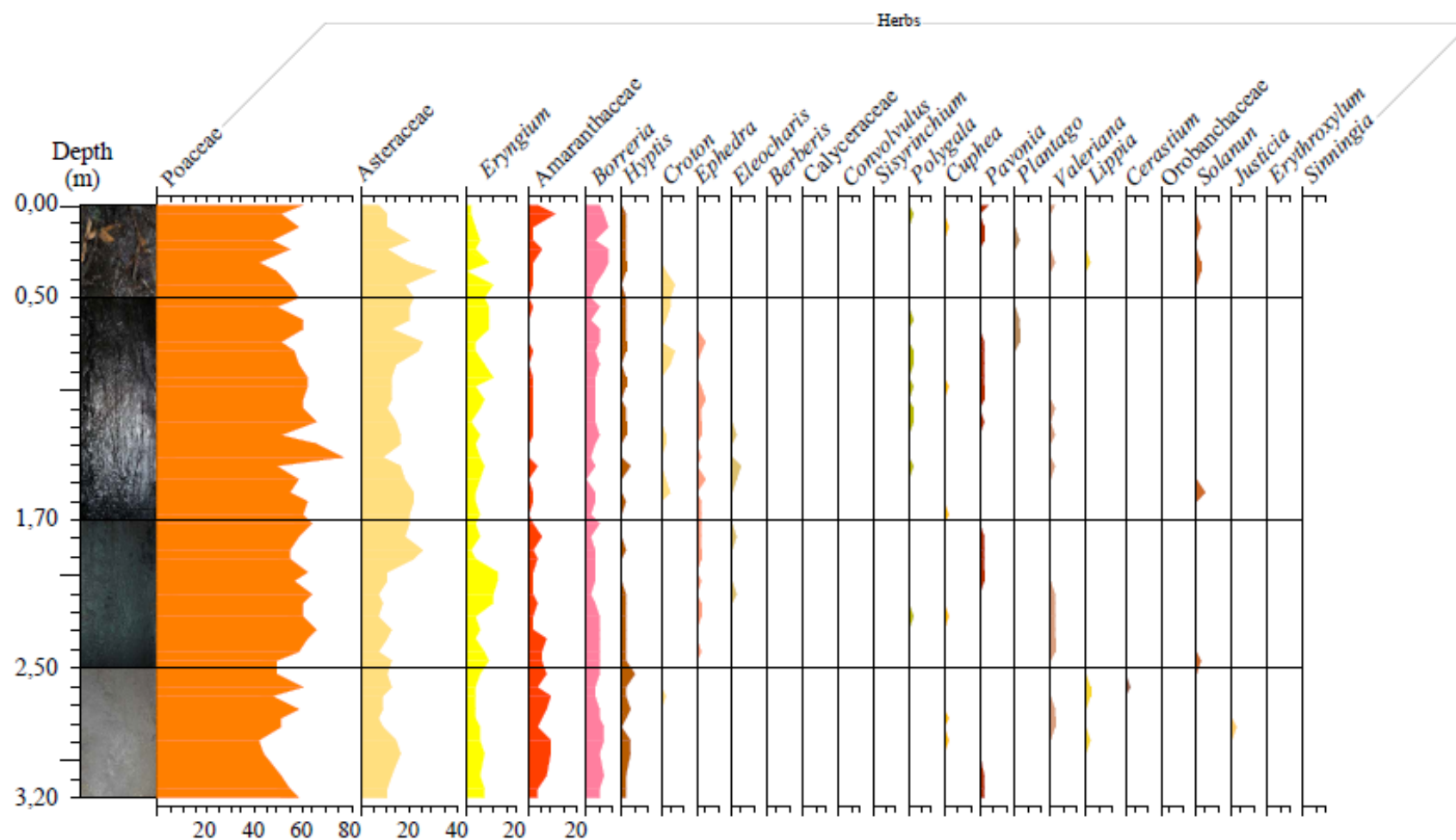


Figura 6. Diagrama percentual e frequência dos palinórfos herbáceos.



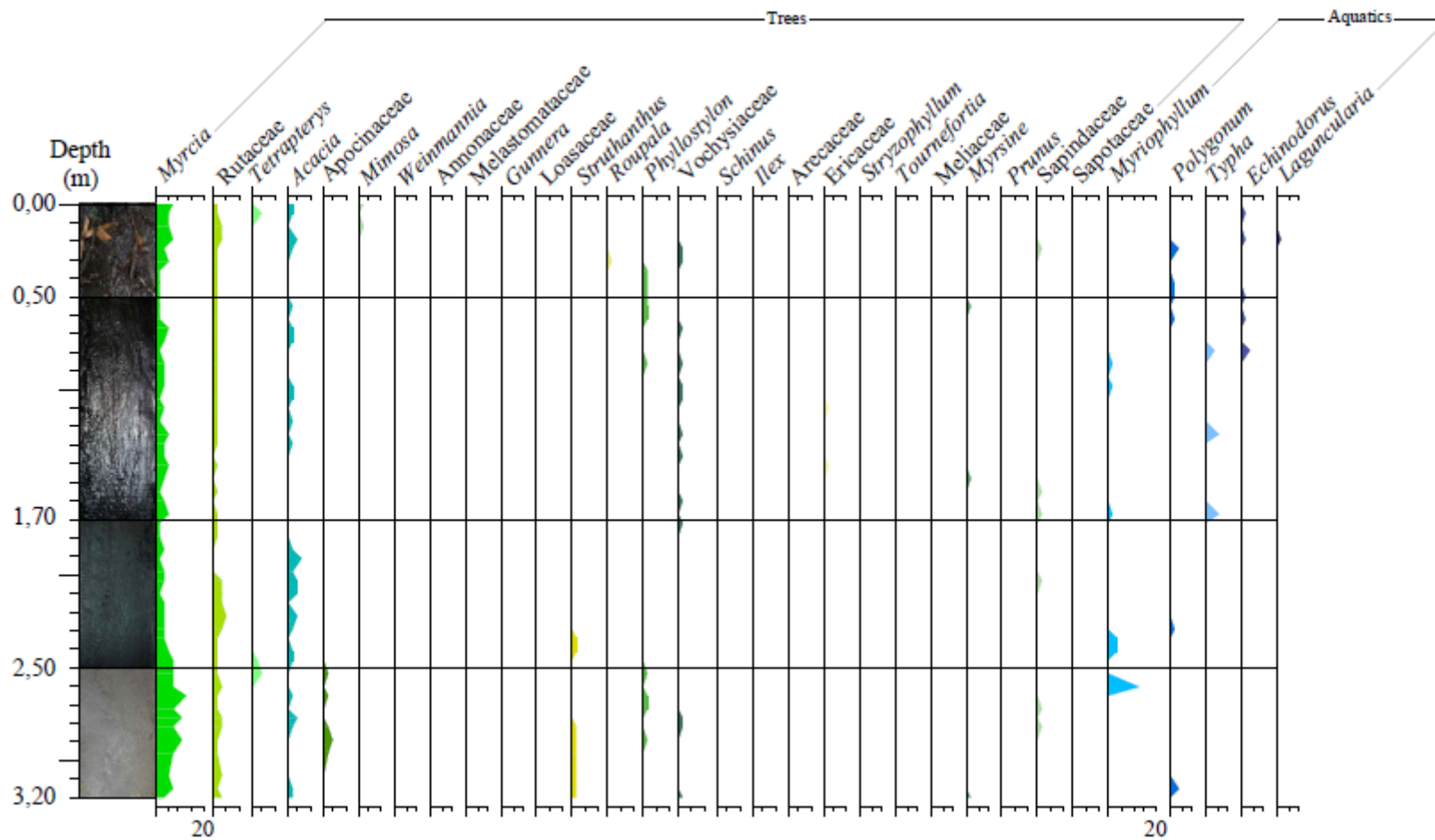


Figura 7. Diagrama percentual e frequência dos palinomorfos arbóreos e aquáticos.

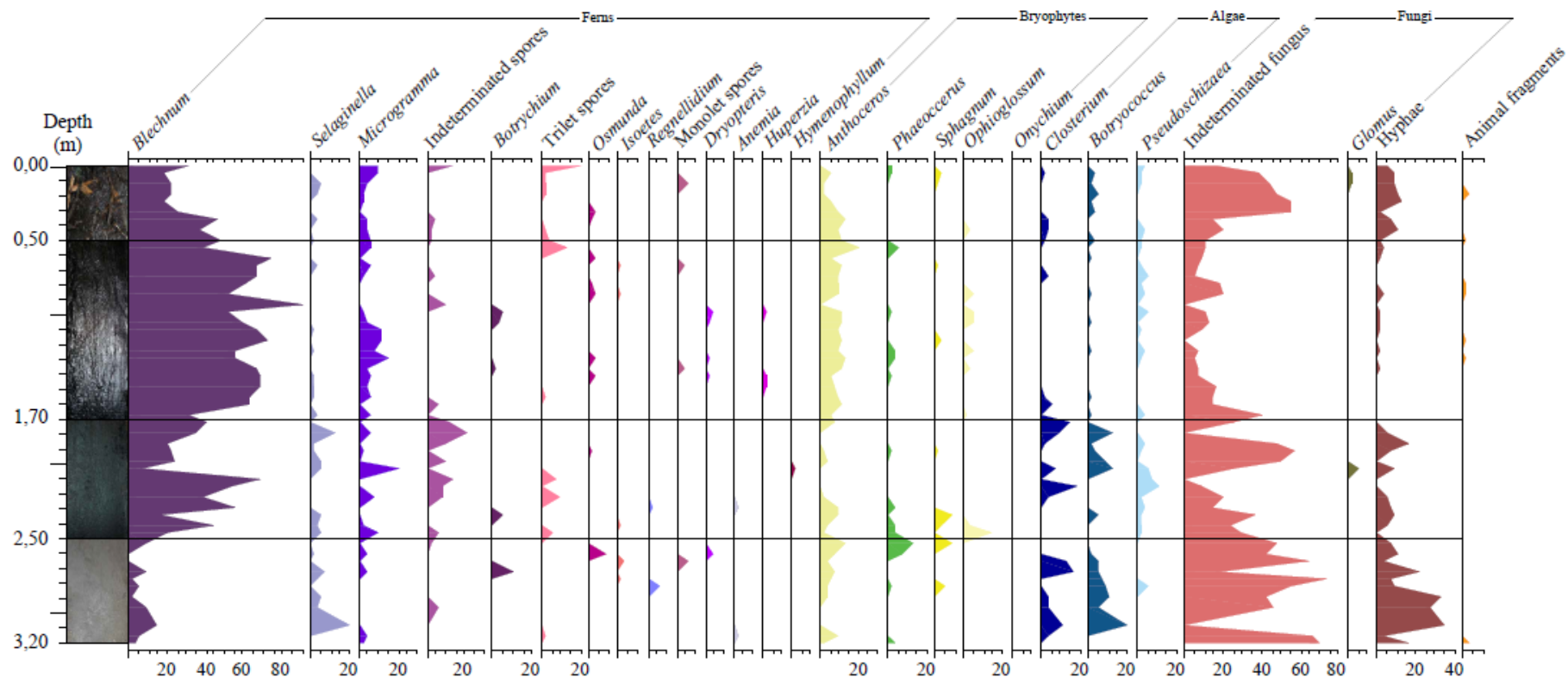


Figura 8. Diagrama percentual e frequência dos esporos e táxons de samambaias, briófitas, algas e fungos.

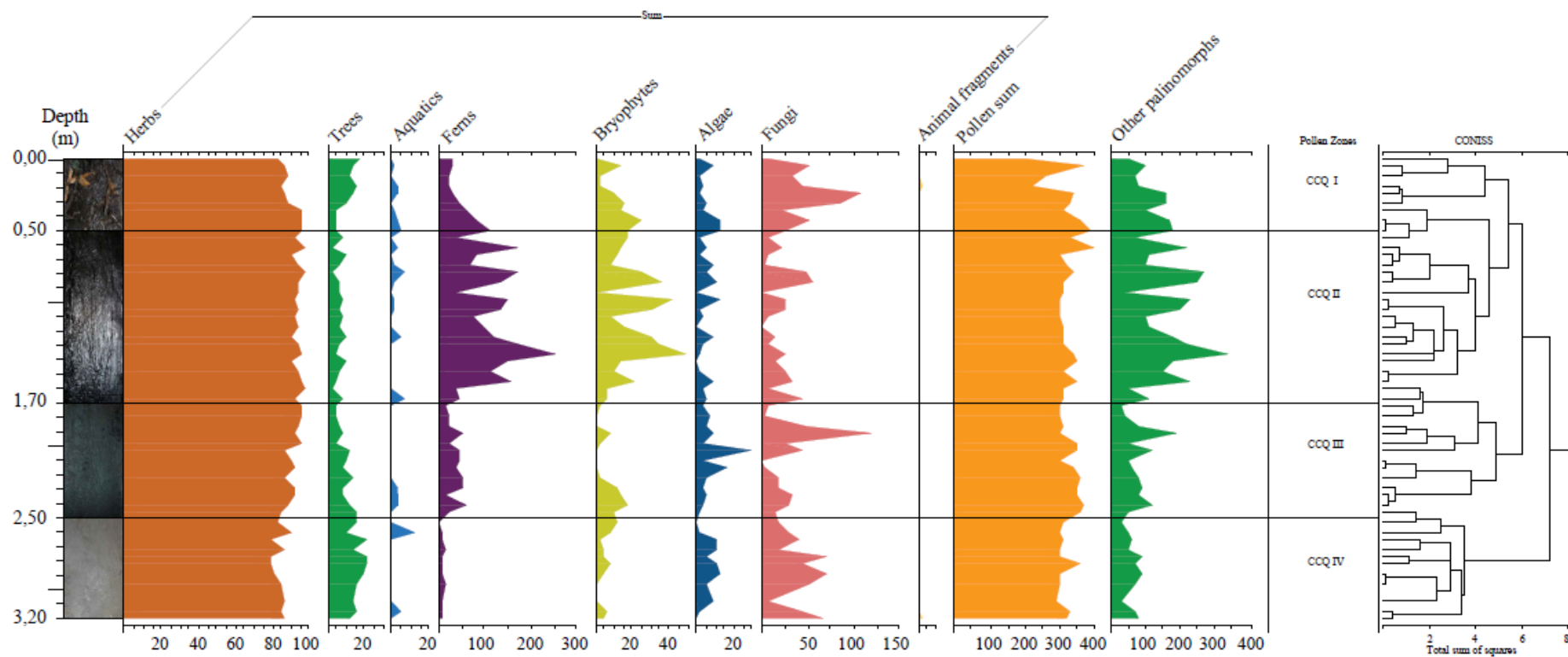


Figura 9. Diagrama de soma e zonas polínicas identificadas através das análises de agrupamento Coniss.

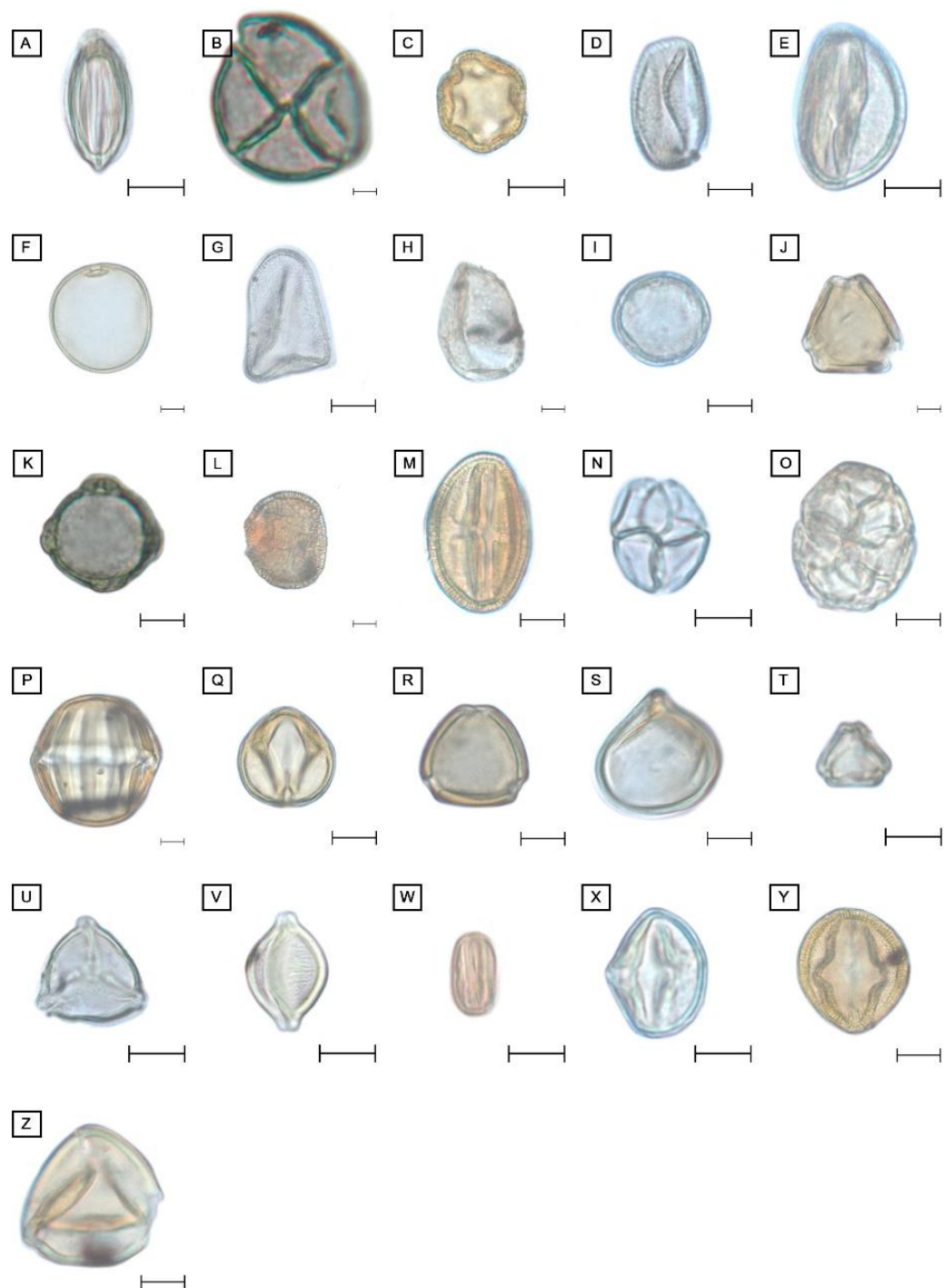


Figura 10. *Ephedra* Tourn. ex. L., VE (A); Annonaceae, VG (B); *Echinodorus* Rich. ex. Engel., VG (C). *Sisyrinchium* L., VE (D); Areaceae, VE (E); Poaceae, VG (F); *Eleocharis* R.Br., VE (G); *Typha* L., VE (H); *Berberis* L., VP (I); *Roupala* Aubl., VP (J); *Myriophyllum* L., VP (K); *Croton* L., VP (L); *Erythroxylum* P.Browne, VE (M); *Mimosa* L., VE (N); Mimosoideae, VE (O); *Polygala* L., VE (P); *Prunus* L., VE (Q); *Phyllostylon* P.Browne Tipo I, VP (U); *Cuphea* P.Browne Tipo II, VE (V); *Miconia* Ruiz & Pav., VE (W); Vochisiaceae, VE (X); *Schinus* L., VE (Y); Sapindaceae, VP (Z). Barra de escala = 10 µm. VE = Vista Equatorial. VP = Vista Polar. VG = Vista Geral.

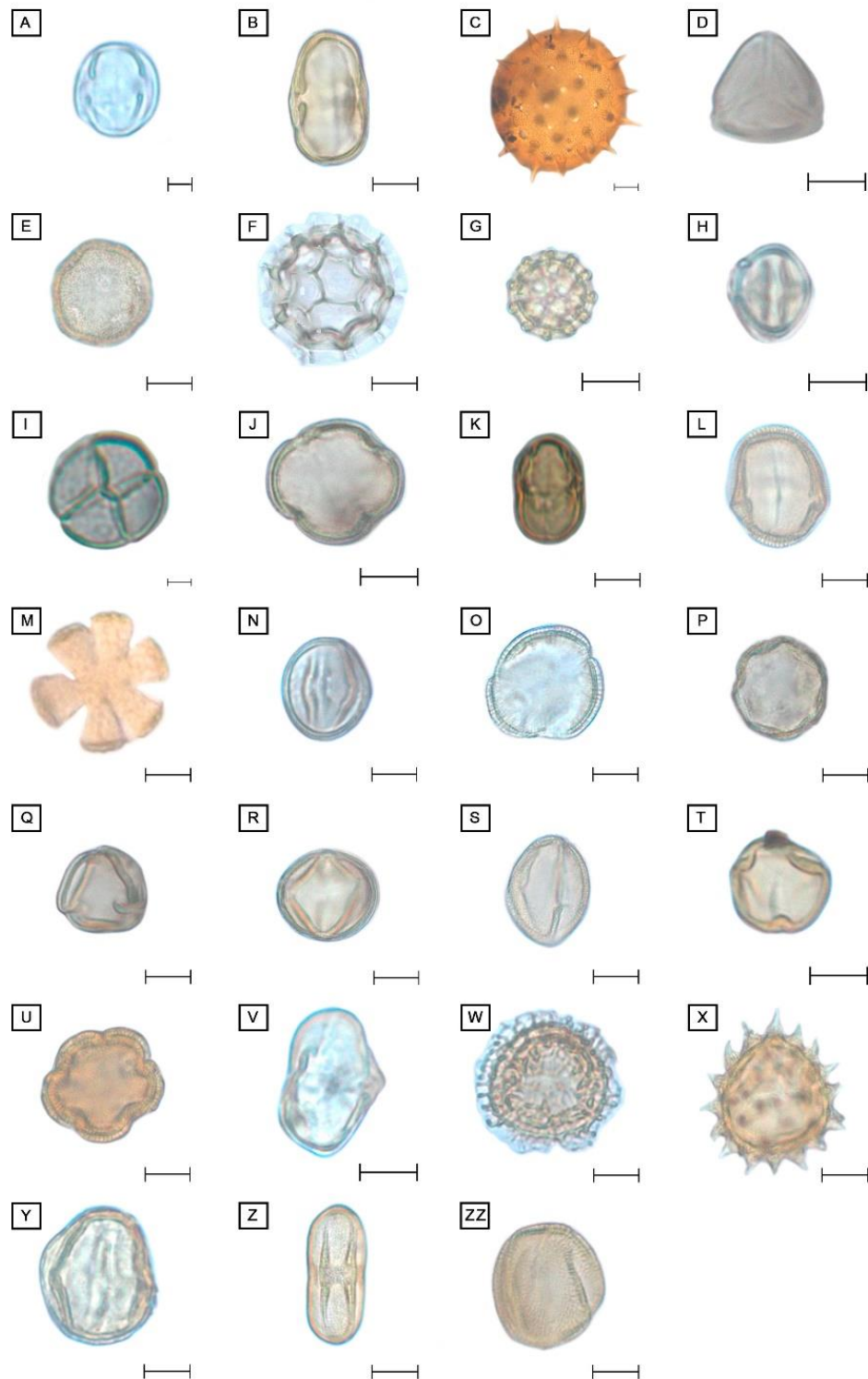


Figura 11. Meliaceae, VE (A); Rutaceae, VE (B); *Pavonia* Cav., VG (C); *Struthanthus* Mart., VP (D); *Cerastium* L., VG (E); *Polygonum* L., VG (F); Amaranthaceae, VG (G); Loasaceae, VE (H); Ericaceae, VG (I); *Myrsine* L. Jacq., VP (J); Sapotaceae, VE (K); *Justicia* Jacq., VE (L); *Hyptis* Jacq., VP (M); *Sinningia* Nees, VE (N); Orobanchaceae, VP (O); *Plantago* L., VG (P); *Lippia* L., VP (Q); *Convolvulus* L., VE (R); *Solanum* L., VE (S); Apocynaceae, VP (T); *Borreria* G.Mey., VP (U); *Tournefortia* L., VE (V); *Ilex* L., VG (W); Asteraceae, VP (X); Calyceraceae, VE (Y); *Eryngium* L., VE (Z); *Valeriana* L., VE (ZZ). Barra de escala = 10 µm. VE = Vista Equatorial. VP = Vista Polar. VG = Vista Geral.



Río de La Plata Grasslands Countries

	Brazil	Uruguay	Argentina
<b>FIELD</b>			
Poaceae			
Asteraceae			
<i>Eryngium</i> L.			
Amaranthaceae			
<i>Borreria</i> G.Mey.			
<i>Hyptis</i> Jacq.			
<i>Croton</i> L.			
<i>Ephedra</i> Tourn. ex L.			
<i>Eleocharis</i> R.Br.			
<i>Berberis</i> L. *			
Calyceaceae *			
<i>Convolvulus</i> L.			
<i>Sisyrinchium</i> L.			
<i>Polygala</i> L.			
<i>Cuphea</i> P.Browne			
<i>Pavonia</i> Cav.			
<i>Plantago</i> L.			
<i>Valeriana</i> L.			
<i>Lippia</i> L.			
<i>Cerastium</i> L.			
Orobanchaceae			
<i>Solanum</i> L.			
<i>Justicia</i> L.			
<i>Erythroxylum</i> P.Browne			
<i>Sinningia</i> Ness. *			
<b>FOREST</b>			
<i>Myrcia</i> DC.			
Rutaceae			
Mimosoideae			
Apocynaceae			
<i>Mimosa</i> L.			
Annonaceae *			
<i>Miconia</i> Ruiz & Pav.			
Loasaceae *			
<i>Struthanthus</i> Mart.			
<i>Roupala</i> Aubl.			
<i>Phyllostylon</i> Capan. ex Benth & Hook.f. *			
Vochysiaceae *			
<i>Schinus</i> L.			
<i>Ilex</i> L.			
Areaceae			
Ericaceae *			
<i>Tournefortia</i> L.			
Meliaceae			
<i>Myrsine</i> L.			
<i>Prunus</i> L.			
Sapindaceae			
Sapotaceae			
<b>AQUATICS</b>			
<i>Myriophyllum</i> L.			
<i>Polygonum</i> L.			
<i>Typha</i> L.			
<i>Echinodorus</i> Rich. Ex Engelm.			
Combretaceae			

Figura 13. Distribuição espacial nas PRP dos grãos de pólen identificados neste trabalho. Os táxons marcados com um asterisco (\*) são descritos pela primeira vez nas PRP.

## CONCLUSÕES

---

Com base nos estudos que compõem a tese, destacam-se aqui as principais conclusões por eles geradas, como segue:

- a idade basal do testemunho de sondagem (17,4 cal kyr B.P.) está inserida ao final do UMG, período em que grande parte dos autores estudados associa a condições climáticas frias e secas então prevalentes. No entanto, os dados aqui apresentados, quando analisados em conjunto, apenas suportam a ideia de condição climática seca. Não foram identificados táxons polínicos que corroborem presença de clima frio neste período para o BP;

- cerca de 4.965 cal kyr B.P., o aumento de umidade identificado já identificado a partir de 12,7 cal kyr B.P., atinge seu máximo. Esta interpretação está baseada no aumento não somente de táxons aquáticos, mas também de samambaias e briófitas, que atingem máxima diversidade neste período. A máxima diversidade destes táxons vegetais está associada ao maior grau de matéria orgânica e ao maior teor de material argiloso presente no testemunho analisado;

- o aumento de umidade identificado no presente estudo é coincidente com o aumento de umidade não somente ao longo de toda a extensão da Pradaria do Rio da Prata, mas ocorrendo em toda a América do Sul. Portanto, não se pode somente creditar este aumento de umidade devido à influência de maritimidade como consequência da subida do nível do mar, como aventado anteriormente por vários autores. Este incremento de umidade deve, sim, ser creditado a fenômenos climáticos regionais e mesmo mundiais;

- ao longo de todo o testemunho de sondagem prevalecem táxons vegetais herbáceos. As principais famílias presentes atualmente no BP (Poaceae, Asteraceae, Amaranthaceae, Fabaceae, Apiaceae e Rubiaceae) já estavam estabelecidas há 17,4 cal kyr B.P., isto é, desde o final do Pleistoceno. O mesmo se observou em relação aos táxons arbóreos, com predominância das famílias Myrtaceae, Rutaceae e Fabaceae. Os demais táxons arbóreos foram estabelecidos a partir do Holoceno;

- a predominância de Poaceae associada a Asteraceae e demais táxons herbáceos aqui identificados (Amaranthaceae, Rubiaceae, Malvaceae, Lamiaceae), observada ao longo de todo o testemunho, nos permite a afirmação de que uma paisagem do tipo savana teria predominado ao longo dos últimos 17.000 anos. A comparação dos dados palinológicos do presente estudo com os demais feitos tanto



no Uruguai quanto na Argentina, sugerem que a paisagem tipo savana teria se implementado ao longo do Holoceno, em substituição a uma paisagem tipo estépica (Poaceae-Chenopodiaceae) até então existente nestes países;

- é também a partir do Holoceno que o BP passa a mostrar sua atual configuração vegetacional. Isto se deve ao fato de maior quantidade de constituintes vegetacionais de origem tropical contribuírem no aumento do elenco de táxons vegetacionais, notadamente os arbóreos;

- principalmente no que se referem aos táxons herbáceos identificados, eles correspondem aos mesmos táxons que predominam atualmente ao longo da paisagem do BP.

### **TRABALHOS FUTUROS**

---

O trabalho de pesquisa de uma tese não se encerra nas conclusões. Devido à sua natureza dinâmica, frequentemente abre possibilidades para novas análises e interpretações, que serão exploradas em futuras pesquisas. Neste viés, o presente autor já iniciou investigações com base em outros proxies utilizando as mesmas amostras que foram estudadas na tese, como segue:

- caracterização dos palinomorfos não polínicos e associação da distribuição dos mesmos com o grau de humificação ao longo do testemunho de sondagem;

- análise dos fitólitos presentes nas amostras em tela visando sua contribuição para a caracterização paleoambiental do BP no Quaternário superior.

## REFERÊNCIAS

---

- Allen, S.E., Grimshaw, H.M., Parkinson, J.A. & Quarmby, C. 1989. *Chemical analysis of ecological materials*. Oxford, Blackwell, 368 p.
- Andrade, B.O., Bonilha, C.L., Ferreira, P.M.A., Boldrini, I.I. & Overbeck, G.E. 2016. Highland grasslands at the Southern tip of the Atlantic Forest Biome: management options and conservation challenges. *Oecologia Australis*, 20: 37-71.
- Andrade, B.O., Marchesi, E., Burkart, S., Setubal, R.B., Lezama, F., Perelman, S., Schneider, A.R., Trevisan, R., Overbeck, G.E. & Boldrini, I.I. 2018. Vascular plant species richness and distribution in the Río de la Plata Grasslands. *Botanical Journal of Linnean Society*, 188: 250-256
- Andrade, B.O., Bonilha, C.L., Overbeck, G.E., Vélez-Martin, Rolim, R.G., Bordignon, S.A.L., Schneider, A.A., Ely, C.V., Lucas, D.B., Garcia, E.N., Santos, E.D., Torchelsen, F.P., Vieira, M.S., Filho, P.J.S.S., Ferreira, P.M.A., Trevisan, R., Hollas, R., Campestrini, S., Pillar, V.D. & Boldrini, I.I. 2019. Classification of South Brazilian grasslands: Implications for conservation. *Applied Vegetation Science*, 22: 168-184.
- Arana, M.O., Martínez, G.A., Oggero, A.J., Natale, E.S. & Morrone, J.J. 2017. Map and shapefile of the biogeographic provinces of Argentina. *Zootaxa*, 4341: 420-422.
- Arsenault, J., Talbot, J., Moore, T.R., Knorr, K.-H., Teickner, H. & Lapierre, J.-F. 2024. Patterns and drivers of organic matter decomposition in peatland open-water pools. *Egusphere*, 1: 1-26.
- Bader, C., Müller, M., Schulin, R. & Leifeld, J. 2018. Peat decomposability in managed organic soils in relation to land use, organic matter composition and temperature. *Biogeosciences*, 15: 703-719.
- Baeza, S., Vélez-Martin, E., De Abelleira, D., Banchemo, S., Gallego, F., Schirmebeck, J., Veron, S., Vallejos, M., Weber, E., Oyarzabal, M., Barbieri, A., Petek, M., Guerra Lara, M., Sarrailhé, S.S., Baldi, G., Bagnato, C., Bruzzone, L., Ramos, S. & Hasenack, H. 2022. Two decades of land cover mapping in the Río de la Plata grassland region: The MapBiomias Pampa initiative. *Remote sensing application: Society and environment*, 28: 100834.

Bao, K., Liu, T., Chen, M., Lin, Z., Zhong, J. & Neupane, B. 2023. Peat records of atmospheric environmental changes in China: a brief review and recommendations for future research perspectives. *Catena*, 229: 107234.

Barbosa, R.N., Santos, J.E.F., Bezerra, J.D.P., Istel, Ł., Houbraken, J., Oliveira, N.T. & Souza-Motta, C.M. 2022. Brazilian Atlantic Forest and Pampa Biomes in the spotlight: an overview of *Aspergillus*, *Penicillium*, and *Talaromyces* (Eurotiales) species and the description of *Penicillium nordestinense* sp. nov. *Acta Botanica Brasilica*, 36: e2021abb0390.

Barth-Schatzmayr, O.M. & Barros M.A. 2011. Palinologia. In: Carvalho, I.S. (Ed.). *Paleontologia: microfósseis e paleoinvertebrados*. Rio de Janeiro, Interciência, p. 181-194.

Barth-Schatzmayr, O.M. & Melhem, T.S. 1988. *Glossário ilustrado de palinologia*. Campinas, Unicamp, 75p.

Baudin, F., Tribovillard, N. & Trichet, J. 2007. *Géologie de la matière organique*. Paris, Société Géologique de France, 263p.

Bauermann, S.G., Macedo, R.B., Behling, H., Pillar, V.D. & Neves, P.C.P., 2008. Dinâmicas vegetacionais, climáticas e do fogo com base em palinologia e análise multivariada no quaternário tardio do sul do Brasil. *Revista Brasileira de Paleontologia*, 11: 87-96.

Bauermann, S.G., Neves, P.C.P., Marques-Toigo, M. & Ashraf, A. R., 2005. Evidences of Holocene transgression on Domingos Petrolini Swamp, southern coastal plain, Rio Grande do Sul, Brazil. *Journal of Geoscientific Research in Northeast Asia*, 8: 98-103.

Beer, J., Lee, K., Whiticar, M. & Blodau, C., 2008. Geochemical controls on anaerobic organic matter decomposition in a northern peatland. *Limnology and Oceanography*, 53: 1393-1407.

Behling, H. 2002. South and southeast Brazilian grasslands during Late Quaternary times: a synthesis. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 177: 19-27.

Behling, H., Jeske-Pieruschka, V. & Pillar, V.P. 2009. Dinâmica dos campos no sul do Brasil durante o Quaternário Tardio. In: Pillar, V., Müller, S.C., Castilhos, Z.M.S. &

Jacques, A.V.A. (Eds.). *Campos sulinos: conservação e uso sustentável da biodiversidade*. Brasília, Ministério do Meio Ambiente, p. 13-25.

Behling, H., Pillar, V.D. & Bauermann, S.G. 2005. Late Quaternary grassland (Campos), gallery forest, fire and climate dynamics, studied by pollen, charcoal and multivariate analysis of the São Francisco de Assis core in western Rio Grande do Sul (southern Brazil). *Review of Palaeobotany and Palynology*, 133: 235-248.

Behling, H., Pillar, V.P., Orlóci, L. & Bauermann, S.G. 2004. Late Quaternary Araucaria forest, grasslands (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, Palaeoecology*, 203: 277-297.

Bencke, G.A., Chomenko, L. & Sant'Ana, D.M., 2016. O que é o Pampa? *In*: Chomenko, L. & Bencke, G.A. (Eds.). *Nosso Pampa desconhecido*. Porto Alegre, Fundação Zoobotânica Projeto RS Diversidade, p. 17-27.

Birks, H.J.B. & Birks, H.H. 1980. *Quaternary palaeoecology*. London, Quaternary Sciences Review, 289p.

Blaauw, M. & Christen, J.A. 2011. Flexible paleoclimate age-depth models using an autoregressive gamma process. *Bayesian Analysis*, 6: 457-474. <https://doi.org/10.1214/11-BA618>.

Blackford, J.J. & Chambers, F.M. 1993. Determining the degree of peat decomposition for peat-based palaeoclimatic studies. *International Peat Journal*, 5: 7-24.

Blyakharchuk, T., Shefer, N., Ponomareva, O. & Li, H.-C. 2024. Late Quaternary dynamics of landscape and climate in the north of the West Siberian Plain revealed by paleoecological studies of peat and lake sediments. *Quaternary*, 7: 1-30.

Bocalon, V.L.S., Coimbra, J.C., Bauermann, S.G., Ritter, M.N., Pivel, M.A.G., Oliveira, M.A.T. & Priman, G.L.L. 2023. Landscape changes in the Campos region, southernmost Brazil, since the early deglaciation based on a multi-proxy analysis of a peat bog. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 623: 111631.

Boldrini, I.I., Longhi-Wagner, H.M. & Boechat, S.C. 2005. *Morfologia e taxonomia de gramíneas sul-rio-grandenses*. Porto Alegre, EDUFRGS, 87 p.

Boldrini I.I., Ferreira, P.M.A., Andrade, B.O., Schneider, A.A., Setubal, R.B., Trevisan, R. & Freitas, E.M. 2010. *Bioma Pampa: diversidade florística e fisionômica*. Porto Alegre, Pallotti, 61p.

Borba, A.W. & Sell, J.C. 2020. A Geodiversidade do Pampa Gaúcho e Suas Implicações Para os Problemas e as Potencialidades Ambientais da Região. *In: CONGRESSO SOBRE O BIOMA PAMA: REUNINDO SABERES*, 1, 2020. Pelotas, *Resumos...* Pelotas, UFPEL, p. 30-41.

Brown, P. A., Gill, S. A. & Allen, S. J. 2003. Metal removal from wastewater using peat. *Water Research*, 34: 3907-3916.

Buriol, G.A., Estefanel, V., Chagas, A.C. & Kuinchtner, A. 2019. Relação da vegetação natural do estado do Rio Grande do Sul com as disponibilidades climáticas. *Ciência Florestal*, 1: 233-242.

Burjack, M.I. & Marques-Toigo, M. 1980. Caracterização palinológica da turfeira da região de Águas Claras, município de Viamão – RS, Brasil. *Boletim de Geociências USP*, 11: 31-189.

Cabrera, A.L. & Willink, A. 1980. *Biogeografía de América Latina*. Washington, OEA, 120p.

Canalli, Y.M. & Bove, C.P. 2017. Flora do Rio de Janeiro: Typhaceae. *Rodriguésia*, 68: 111-113.

Cardona-Correa, C., Piotrowski, M.J., Knack, J.J., Kodner, R.E., Gerry, D.H. & Graham L.E. 2016. Peat moss-like vegetative remains from ordovician carbonates. *International Journal of Plant Sciences* 177, 523-538.

Charman, D., 2002. *Peatlands and environmental change*. Ontario, John Wiley & Sons, 301p.

Chambers, F.M., Beilman, D.W. & Yu, Z. 2010. Methods for determining peat humification and for quantifying peat bulk density, organic matter and carbon content for palaeostudies of climate and peatland carbon dynamics. *Mears and Peat*, 7: 1-10.

Chase, M.W., Christenhusz, M.J.M., Fay, M.F., Byng, J.W., Judd, W.S., Soltis, D.E., Mabberley, D.J., Sennikov, A.N., Soltis, P.S. & Stevens, P.F. 2016. An update of the Angiosperm Phylogeny Group classification for the orders and families of flowering plants: APG IV. *Botanical Journal of the Linnean Society*, 181: 1-20.

Chmielewska, I. 2023. Effect of fibre content on the geotechnical properties of peat. *Studia Geotechnica et Mechanica*, 1-11.

Cocozza, C., D'Orazio, V., Miano, T. M. & Shotyk, W. 2003. Characterization of solid and aqueous phases of a peat bog profile using molecular fluorescence spectroscopy, ESR and FT-IR, and comparison with physical properties. *Organic Geochemistry*, 34: 49-60.

Couillard, D. 1994. The use of peat in wastewater treatment. *Water Research*, 28: 1261-1274.

Craft, C. 2016. *Creating and restoring wetlands: from theory to practice*. Amsterdam, Elsevier, 358p.

Crawshaw, D., Dalla'agnol, M., Cordeiro, J.L.P. & Hasencak, H. 2007. Caracterização dos campos sul-rio-grandenses: uma perspectiva da ecologia da paisagem. *Boletim Gaúcho de Geografia*, 23: 233-252.

Cunha-Santino, M.B. & Bianchini Jr., I., 2023. Reviewing the organic matter processing by wetlands. *Acta Limnologica Brasiliensia*, 35: e19.

Da-Rosa, A.A.S., 2009. Geologia do Quaternário continental do RS: estado da arte e perspectivas de trabalho. In: Ribeiro, A.M., Bauermann, S.G. & Scherer, C. (Eds.). *Quaternário do Rio Grande do Sul: integrando conhecimentos*. Porto Alegre, Monografias da Sociedade Brasileira de Paleontologia, p. 17-35.

De Vleeschouwer, F., Padzur, A., Luthers, C., Streel, M., Mauquoy, D., Wastiaux, C., Roux, G., Blaauw, M., Pawlyta, J., Sikorski, J. & Piotrowska, N. A. 2012. Millennial record of environmental change in peat deposits from the Misten bog (East Belgium). *Quaternary International*, 268: 44-57.

Drollinger, S., Knorr, K.-H., Knierzinger, W. & Glatzel, S. 2020. Peat decomposition proxies of Alpine bogs along a degradation gradient. *Geoderma*, 369: 114331.

Egglesmann, R., Heathwaite, A.L., Gross-Braukmann, G., Kuster, E., Naucke, W., Schich, M. & Schweikle, V. 1993. Physical processes and properties of mires. *In*: Heathwaite A.L., Gottlich K.H. (Eds.). *Mires: process, exploration and conservation*. Chichester, Willey & Sons, p. 171-262.

EMBRAPA. 2009. *Sistema brasileiro de classificação de solos*. Rio de Janeiro, EMBRAPA, 306p.

Erdtman, G. 1934. Über die Verwendung von Essigsäurehydrid bei pollenuntersuchungen. *Svensk Botanisk Tidskrift*, 28: 354-358.

Evaldt, A.C.P. 2013. *Reconstituição paleoambiental em remanescente de savana estépica parque no extremo oeste do Rio Grande do Sul (Barra do Quaraí), com base em palinomorfos holocênicos*. Porto Alegre, 128p. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Geociências, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Evaldt, A.C.P., Bauermann, S.G. & Souza, P.A. 2014. Palinomorfos holocênicos de um fragmento da Savana Estépica Parque, Barra do Quaraí, Rio Grande do Sul, Brasil. *Pesquisas em Geociências*, 40: 209-232.

Faegri, K. & Iversen, J. 1975. *Textbook of pollen analysis*. New York, Hafner Press, 295p.

Fernandes, A.N. 2007. *Caracterização química e reatividade de substâncias húmicas, solos e turfás*. Florianópolis, 127 p. Tese de Doutorado, Programa de Pós-Graduação em Geografia, Instituto de Geociências, Universidade Federal de Santa Catarina.

Flemming, B.W. 2000. A revised textural classification of gravel-free muddy sediments on the basis ternary diagrams. *Continental Shelf Research*, 20: 1125-1137.

Fracasso, I., Zacccone, C., Oskolkov, N., Ros, L., Dinella, A., Marchesini, L.B., Buzzini, P., Sannino, C., Turchetti, B., Cesco, S., Roux, G. Le, Tonon, G., Vernesi, C., Mimmo, T., Ventura, M. & Borruso, L. 2024. Exploring different methodological approaches to unlock paleobiodiversity in peat profiles using ancient DNA. *Science of the Total Environment*, 908: 168159.

Fuchsmann, C.H. 1980. Humic acids: the difficult road from practice to theory. *Telma*, 4: 117-136.

Garsetiasih, R., Heriyanto, N.M., Adinugroho, W.C., Gunawan, H., Dharmawan, I.W.S., Sawitri, R., Yeni, I. & Mindawati, N.D. 2022. Connectivity of vegetation diversity, carbon stock, and peat depth in peatland ecosystems. *Global Journal of Environmental Science and Management*, 8: 1-20.

Graulich, A. 2021. Distribution, ecology, morphology and reproductive biology of *Sphagnum majus* in the south of its range (Hautes-Fagnes, Belgium). *Lindbergia*, 42: linbg.01128.

Grimm, E.C. 2011. *Tilia Software v.1.7.16. (computer software)*. Springfield: Illinois State Museum.

Grimm, E.C. & Troostheide, C.D. 1994. *Tilia 2.00, program for plotting palynological diagrams*. Springfield: Illinois State Museum.

Gu, F., Chiessi, C.M., Zonneveld, K.A.F. & Behling, H. 2018. Late Quaternary environmental dynamics inferred from marine sediment core GeoB6211-2 off southern Brazil. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 496: 48-61.

Hasenack, H., Weber, E., Boldrini, I.I. & Trevisan, R. 2010. *Mapa de sistemas ecológicos da ecorregião das savanas uruguaias em escala 1:500.000 ou superior e relatório técnico descrevendo insumos utilizados e metodologia de elaboração do mapa de sistemas ecológicos*. Porto Alegre, UFRGS, 22p.

Hasenack, H., Weber, E., Boldrini, I.I., Trevisan, R., Flores, C.A. & Dewes, R. 2023. Biophysical delineation of grassland ecological systems in the State of Rio Grande do Sul, Southern Brazil. *Iheringia, Série Botânica*, 78: e2023001.

Hasenack, H., Weber, E., Vélez-Martin, E., Hoffman, G.S. & Dewes, H. 2019. Bioma Pampa: oportunidades e desafios de pesquisa para o desenvolvimento sustentável. In: Vilela E.F., Callegaro, G.M. & Fernandes, G.W. (Eds.). *Biomass e agricultura: oportunidades e desafios*. Rio de Janeiro, Academia Brasileira de Ciências/Vertente, p. 123-140.



Hogg, A.G., Heaton, T.J., Hua, Q., Palmer, J.G., Turney, C.S.M., Southon, J., Bayliss, A., Blackwell, P.G., Boswijk, G., Ramsey, C.P., Pearson, C., Petchey, F., Reimer, P., Reimer, R. & Wacker, L. 2020. SHCal20 southern hemisphere calibration, 0–55,000 years cal B.P. *Radiocarbon*, 62: 759-778.

Holden, J. & Burt, P. 2003. Hydrological studies on blanket peat: the significance of the acrotelm-catotelm model. *Journal of Ecology*, 91: 86-102.

Horák-Terra, I., Cortizas, A.M., Luz, C.F.P., Silva, A.C., Mighall, T., Camargo, P.B.C., Mendonça-Filho, P.E.O., Cruz, F.W. & Vidal-Torrado, P. 2020. Late Quaternary vegetation and climate dynamics in central-eastern Brazil: insights from a ~35k cal a BP peat record in the Cerrado biome. *Journal of Quaternary Science*, 35: 664-676.

IBGE, 2012. Manual técnico da vegetação brasileira. Rio de Janeiro, Manuais Técnicos em Geociência, IBGE, 274p.

IBGE, 2019. Biomas e Sistema Costeiro-Marinho do Brasil, escala 1:250.000. Disponível em:

<[http://geofpt.ibge.gov.br/informacoes\\_ambientais/estudos\\_ambientais/biomas/mapas](http://geofpt.ibge.gov.br/informacoes_ambientais/estudos_ambientais/biomas/mapas)>. Acesso em: 05 maio 2023.

Ingram, H.A.P. 1983. Hydrology. *In*: GORE, A.J.P. (Ed.). *Ecosystems of the world. Mires: swamp, bog, fen and moor*. Amsterdam, Elsevier, p. 67-158.

Iriarte, J. 2006. Vegetation and climate change since 14,810 <sup>14</sup>C yr B.P. in southeastern Uruguay and implications for the rise of early formative societies. *Quaternary Research*, 65: 20-32.

Iriondo, M. 1999. Climatic changes in the South American plains: records of a continent- scale oscillation. *Quaternary International*, 57/58: 93-112.

Iriondo, M. H. & García, N. O. 1993. Climatic variations in Argentina plains during the last 18,000 years. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 101: 209–220.

Iturraspe, R. & Roig, C. 2000. Aspectos hidrológicos de turberas de *Sphagnum* de Tierra del Fuego, Argentina. *In*: Coronato, A.; Roig, C. (Eds.). *Conservación de*

*ecosistemas a nivel mundial com ênfasis en las turberas de Tierra del Fuego, disertaciones y conclusiones.* Cadic-Conicet, Ushuaia, p. 85-93.

Ivanov, K.E. 1981. *Water moviment in mirelands.* Londres, Academic Press, 278p.

Jeske-Pieruschka, V., Pillar, V.D, Oliveira, M.T. & Behling, H. 2013. New insights into vegetation, climate and fire history of southern Brazil revealed by a 40,000 year environmental record from the State Park Serra do Tabuleiro. *Vegetation History and Archaeobotany*, 22: 299-314.

Johnson, M.G., Granath, G., Tahvanainen, T., Pouliot, R., Stenøien, H.K., Rochefort, L., Rydin, H. & Shaw, A.J. 2015. Evolution of niche preference in *Sphagnum* peat mosses. *Biological Journal of the Linnean Society*, 115: 96-113.

Keller, J.K. & Bridgham, S.D. 2007. Pathways of anaerobic carbon cycling across an ombrotrophic-minerotrophic peatland gradient. *Limnology and Oceanography*, 52: 96-107.

Klavins, M. & Purmalis, O. 2014 Characterization of humic acids from raised bog peat. *Latvian Journal of Chemistry*, 1: 83-97.

Kurki, M., 1982. Main chemical characteristics of peat soils. *In: Laine, J. (Ed.). Peatlands and their utilization in Finland.* Helsinki, Finnish Peatland Society, p. 37-41.

Kurnain, A. 2019. Hydrophysical properties of ombrotrophic peat under drained peatlands. *International Agrophysics*, 33: 277-283.

Leonhardt, A. & Lorscheitter, M.L. 2010. Pólen de gimnospermas e angiospermas do perfil sedimentar de uma turfeira em São Francisco de Paula, planalto leste do Rio Grande do Sul, sul do Brasil. *Revista Brasileira de Botânica*, 31: 645-658.

Li, N., Y., F., Chambers, F.M., Huang, Z., Lin, W., Zhou, Z., Yang, H. & Lin, J. 2023. A humification-based method toward refining Holocene radiocarbon chronologies: Wetland records from southeastern China. *The Holocene*, 33: 605-615.

Li, Y., Chen, L. & Ran, M. 2020. Holocene peat humification and carbon dynamics in the Westerlies-influenced Northwest China. *Environmental Research Letters*, 15: 124014.

- Lindman, C.A.M. 1906. *A vegetação no Rio Grande do Sul (Brasil Austral)*. 1ª reimpressão, 1974, Belo Horizonte, Itatiaia, 377p.
- Lima, L.G., Dillenburg, S., Buchmann, F. & Parise, C. 2020. O significado paleogeográfico das turfeiras costeiras do Rio Grande do Sul. *Revista Geociências Unesp*, 39: 393-410.
- Lodigyn, E., Vasilevich, R. & Abakumov, E. 2023. The molecular composition of peat organic matter and prospects for its use in agriculture. *Agronomy*, 13: 2414.
- Luz, L.D. & Parolim, M. 2014. Caracterização dos sedimentos turfosos em Campo Mourão, Paraná, Brasil. *Revista Brasileira de Geografia Física*, 7: 319-326.
- Ma, C., Wu, L., Zhao, L., Zhang, Y., Deng, Y. & Xu, Z. 2021. Holocene climate changes inferred from peat humification: a case study from the Daiyun Mountains, Southeast China. *Quaternary International*, 599-600: 15-23.
- Mäkilä, M., Säävuori, H., Grunström, A. & Suomi, T. 2015. *Sphagnum* decay patterns and bog microtopography in South-eastern Finland. *Mires and Peat*, 21: 1-12.
- Masetto, E. & Lorscheitter, M.L. 2019. Vegetation dynamics during the last 7500 years on the extreme southern Brazilian coastal plain. *Quaternary International*, 524: 48-56.
- Medeanic, S. & Corrêa, I.C.S. 2010. Climatic changes in the coastal plain of the Rio Grande do Sul state in the Holocene: palynomorph evidences. *Pan-American Journal of Aquatic Science*, 5: 287-297.
- Medeanic, S., Hirata, F. & Dillenburg, S.R. 2010. Algal palynomorphs response to environmental changes in Tramandaí lagoon, southern Brazil, and climatic oscillations in the 20th century. *Journal of Coastal Research*, 26: 726-735.
- Medeanic, S., Torgan, L.C., Clerot, L.C.P. & Santos C.B. 2009. Holocene marine transgression in the coastal plain of Rio Grande do Sul, Brazil: palynomorph and diatom evidence. *Journal of Coastal Research*, 25: 224-233.
- Mendes, C. & Dias, E. 2002. Ecologia e vegetação das turfeiras de *Sphagnum* spp. da Ilha Terceira (Açores). *Cadernos de Botânica*, 5: 1-137.

Moore, P.D., Webb, J.A. & Collinson, M.E. 1998. *Polen analysis*. Oxford, Blackwell, 216p.

Morris, P.J., Waddington, J.M., Benscoter, B.W. & Turetsky, M.R. 2011. Conceptual frameworks in peatland ecohydrology: looking beyond the two-layered (acrotelm–catotelm) model. *Ecohydrology*, 4: 1-11.

Morrone, J.J. 2001. *Biogeografía de America Latina y el Caribe*. Saragoza, Manuales y Tesys, 148p.

Morrone, J.J. 2014. Biogeographical regionalisation of the Neotropical region. *Zootaxa*, 3782: 1-110.

Morrone, J.J., Escalante, T., Rodríguez-Tapia, G., Carmona, A., Arana, M. & Mercado-Gómez, J.D. 2022. Biogeographic regionalization of the Neotropical region: new map and shapefile. *Anais Academia Brasileira de Ciências*, 94: e20211167.

Mourelle, D. & Prieto, A.R. 2016. Pollen and spores from surface samples in the Campos region of Uruguay and their paleoecological implications. *Acta Botanica Brasílica*, 30: 351-370.

Mourelle, D., Macedo, R.B. & Prieto, A.R. 2018. Análisis palinológico actual y del Cuaternario tardío en la región de los campos (Uruguay y sur de Brasil): estado de las investigaciones, dificultades y potencialidades. In: Prieto A.R. (Ed.). *Metodologías y estrategias del análisis palinológico del Cuaternario tardío*. Buenos Aires, Asociación Paleontológica Argentina, p. 156-170.

Munsell Color Co., Inc., 2009, Munsell soil color charts (revised ed.): Baltimore.

Muster, C., Gauding, G., Krebs, M. & Jooster, H., 2015. *Sphagnum* farming: the promised land for peat bog species? *Biodiversity and Conservation*, 24: 1989-2009.

Myślińska, E., 2003. Classification of organic soils for engineering geology. *Geological Quarterly*, 47: 39-42.

Narayana, A.C., 2007. Peat deposits of west coast of India: implications for environmental and climate changes during Late Quaternary. *Journal of Coastal Research*, 50: 683-687.

Nascimento, M.D. & Souza, B.S.P. 2010. Mapeamento geomorfológico da área abrangida pela carta topográfica de Santa Maria – RS como subsídio ao planejamento ambiental. *Revista Brasileira de Geomorfologia*, 11: 83-90.

Neto, E.C.S., Coelho-Júnior, M.G., Horák-Terra, I., Gonçalves, T.S., Anjos, L.H.C. & Pereira, M.G. 2023. Organic Soils: Formation, Classification and Environmental Changes Records in the Highlands of Southeastern Brazil. *Sustainability*, 15: 3416.

Neves, P.C.P. & Bauermann, S.G. 2004. Catálogo polínico de coberturas quaternárias no estado do Rio Grande do Sul (Guaíba e Capão do Leão), Brasil. Descrições taxonômicas – Parte II: *Bryophyta* e *Pteridophyta*. *Pesquisas Botânica*, 55: 227-251.

Newnhan, R.N., Hazell, Z.J., Charman, D.J., Lowe, D.J., Rees, A.B.H., Amesbury, M.J., Roland, T.P., Gehrels, M., Bos, V. & Jara, I.A. 2019. Peat humification records from Restionaceae bogs in northern New Zealand as potential indicators of Holocene precipitation, seasonality, and ENSO. *Quaternary Science Review*, 218: 378-394.

Nichols J.E., Booth R.K., Jackson S.T., Pendall E.G. & Huang Y. 2006. Paleohydrologic reconstruction based on n-alkane distributions in ombrotrophic peat. *Organic Chemistry*, 37: 1505-1513.

Nordström, E., Eckstein, R.L. & Lind, L. 2022. Edge effects on decomposition in *Sphagnum* bogs: implications for carbon storage. *Ecosphere*, 9: e4234.

Oliveira, M.A.T., Porsani, J.L., Lima, G.L., Jeske-Pieruschka, V. & Behling, H. 2012. Upper Pleistocene to Holocene peatland stratigraphy evolution in southern Brazil highlands as depicted by radar stratigraphy, sedimentology and palynology. *Quaternary Research*, 77: 397-407.

Overbeck, G.E., Müller, S.C., Fidelis, A., Pfadenhauer, J., Pillar, V.P., Blanco, C.C., Boldrini, I.I., Both, R. & Forneck, E.D. 2009. Os campos sulinos: um bioma negligenciado. In: Pillar, V., Müller, S.C., Castilhos, Z.M.S. & Jacques, A.V.A. (Eds.). *Campos sulinos: conservação e uso sustentável da biodiversidade*. Brasília, Ministério do Meio Ambiente, p. 26-41.

- Oyarzabal, M., Andrade, B., Pillar, V.D. & Paruelo, J. 2020. Temperate subumid grasslands of southern South America. *Encyclopedia of the World's Biome*, 3: 577-593.
- Palit, D., Kar, D. & Mukherjee, A. 2017. Studies on Grass Flora in the Wetland of Birbhum District, West Bengal, India. *Journal of Plant Sciences*, 12: 59-67.
- Parducci, L., Väiliranta, M., Salonen, J.S., Ronkainen, T., Matetovici, I., Fontana, S.L., Eskola, T., Sarala, P. & Suyama, Y. 2015. Proxy comparison in ancient peat sediments: pollen, macrofossil and plant DNA. *Philosophical Transactions of Royal Society B*, 370: 20130382.
- Paruelo, J.M., Jobbágy, E.G., Oesterheld, M., Golluscio, R.A. & Aguiar, M.R. 2007. The grasslands and steppes of Patagonia and the Río de la Plata plains. In: Veblen, T.T., Young, K.R. & Orme, A.R. (Eds.). *The physical geography of South America*. New York, Oxford University Press, p. 232-248.
- Payne, R.J. & Blackford, J.J. 2008. Peat humification and climate change: a multi-site comparison from mires in south-east Alaska. *Mires and Peat*, 3: 1-11.
- Perin, E.B., Priman, G.L.L. & Oliveira, M.A.T. 2021. Palinologia de turfas do alto curso do Arroio Cará, Coxilha Rica, Santa Catarina, Brasil. *Revista Brasileira de Paleontologia*, 24: 265-277.
- Plado J., Sibul I., Mustasaar, M. & Jõelet, A. 2012. Ground-penetrating radar study of the Rahivere peat bog, eastern Estonia. *Estonian Journal of Earth Sciences*, 60: 31-42.
- Prieto, A.R., 1996. Late Quaternary vegetational and climatic changes in the Pampa Grassland of Argentina. *Quaternary Research*, 45: 73-88.
- Prieto, A.R., 2000. Vegetational history of the Late glacial–Holocene transition in the grasslands of eastern Argentina. *Palaeogeography Palaeoclimatology Palaeoecology*, 157: 167-188.
- Punt, W., Hoen, P.P., Blackmore, S., Nilsson, S. & Thomas, A. L. 2007. Glossary of pollen and spore terminology. *Review of Palaeobotany and Palynology*, 143: 1-81.

R Core Team, 2022. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna. <<https://www.R-project.org>>.

Radaeski J.N., Bauermann, S.G. & Pereira, A.B. 2016. Poaceae pollen from Southern Brazil: distinguishing grasslands (Campos) from forests by analyzing a diverse range of Poaceae species. *Frontiers in Plant Science*, 7: 1833.

Rambo, B. 1956. *A fisionomia do Rio Grande do Sul*. Porto Alegre, Selbach, 456p.

Raven, P., Evert, R.F. & Eichhorn, S.E. 2007. *Biologia Vegetal*. Rio de Janeiro, Guanabara/Koogan, 830p.

Ribeiro, V., Guerra-Sommer, M., Kuhn, L.A., Simões, J.C., Bauermann, S.G. & Silva, W.G. 2020. Fire events and vegetation dynamics during the late Pleistocene-Meghalayan interval in the southernmost Brazilian coastal plain. *Revista Brasileira de Paleontologia*, 23: 234-250.

Ribeiro, V., Guerra-Sommer, M., Menegat, R., Simões, R.C., Kuhn, L.A., Barboza, E.G. & Marcon, G.T.G., 2024. Pleistocene–Holocene climatic events on the inner coastal plain of southernmost Brazil in relation to marine isotopic stages. *Journal of South American Earth Sciences*, 137: 104857.

Rossato, M.S. 2020. The climates of Rio Grande do Sul: a climate classification proposal. *Entrelugar*, 11: 57-85.

Roth, L. 1990. *Palinologia de uma turfeira do parque de Aparados da Serra, planalto leste do Rio Grande do Sul, Brasil*. Porto Alegre, 223 p. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Geociências, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Roth, L. & Lorscheitter, M.L. 1993. Palynology of a bog in Parque Nacional de Aparados da Serra, East Plateau of Rio Grande do Sul, Brazil. *Quaternary of South America and Antarctic Peninsula*, 8: 39-69.

Roth, L. & Lorscheitter, M.L. 2007. Palynology of a bog in Parque Nacional de Aparados da Serra, East Plateau of Rio Grande do Sul, Brazil. *Quaternary of South America and Antarctic Peninsula*, 8: 39-69.

Rydin, H., Gunnarson, U. & Sundberg, S. 2006. The role of *Sphagnum* in peatland development. *In: Wieder, R.K. & Vitt, D.H. (Eds.). Boreal peatland ecosystems*. Berlin, Springer-Verlag, p. 47-65.

Salgado, E.T., Mizusaki, A.M.P., Chueng, K.F., Coe, H.H.G., Evaldt, A.C.P. & Bauermann, S.G. 2021. Holocene palaeoenvironmental and palaeoclimatic reconstruction of a native ecosystem on the coastal plain of southern Brazil through multi-proxy analysis. *Journal of South American Earth Sciences*, 106: 103067.

Salgado-Labouriau, M.L. 1973. *Contribuição à palinologia dos cerrados*. Rio de Janeiro, Academia Brasileira de Ciências, 291p.

Salgado-Labouriau, M. L. 2007. *Crítérios e técnicas para o Quaternário*. São Paulo, Edgard Blücher, 387p.

Scherer, C. M. S. & Lavina, E. L. C. 2005. Sedimentary cycles and facies architecture of aeolian–fluvial strata of the Upper Jurassic Guar Formation, southern Brazil. *Sedimentology*, 52: 1323-1341.

Scherer, C. & Lorscheitter, M.L. 2008. Palinomorfos de fungos e criptogamas em sedimentos quaternários de duas matas com Araucária, Planalto leste do Rio Grande do Sul, Brasil. *Acta Botanica Brasilica*, 22: 131-144.

Shaw, A.J. & Cox, C.J. 2005. Variation in “biodiversity value” of peatmoss species in *Sphagnum* section *Acutifolia* (Sphagnaceae). *American Journal of Botany*, 92: 1774-1783.

Shotyk, W. 1996. Natural and anthropogenic enrichments of As, Cu, Pb, Sb, and Zn in rainwater-dominated versus groundwater-dominated peat bog profiles, Jura Mountains, Switzerland. *Water, Air and Soil Pollution*, 90: 375-405.

Shumilovskikh, L.S. & van Geel, B. 2020. Non-Pollen Palynomorphs. *In: Henry, A.G. (Ed.). Handbook for the analysis of micro-particles in archaeological samples: interdisciplinary contributions to archaeology*. Berlin, Springer, p. 65-94.

Soares, A.P., Soares, P.C. & Holz, M. 2008. Correlaes estratigráficas conflitantes no limite permo-triássico no sul da Bacia do Paraná: o contato entre duas sequencias



e implicações na configuração espacial do aquífero Guarani. *Revista Pesquisas em Geociências*, 35: 115-133.

Streck, E.V., Kämpf, N., Dalmolin, R.S.D., Klampt, E., Nascimento, P.C., Schneider, P., Giasson, E. & Pinto, L.F.S. 2008. *Solos do Rio Grande do Sul*. Porto Alegre, Emater/RS, 222p.

Sympson, D.A., Yesson, C., Culham, A., Couch, C.A. & Muasya, A.M. 2011. Climate change and Cyperaceae *In: Hodkinson, T.R., Jones, M.B., Waldren, S. & Parnell, J.A.N. (Eds.). Climate change, ecology and systematics*. Londres, Cambridge University Press, p. 439-456.

Szafranek-Nakonieczna, A. & Stepniewska, Z. 2014. Aerobic and anaerobic respiration in profiles of Polesie Lubelskie peatlands. *International Agrophysics*, 28: 219-229.

Szajdak, L.W., Jezierski, A., Wegner, K., Meysner, T. & Szczepański, M. 2020. Influence of drainage on peat organic matter: implications for development, stability, and transformation. *Molecules*, 25: 2587.

Thompson, L.G., Mosley-Thompson, E., Davis, M.E., Lin, P.-N., Enderson, K.A., Cole-Dai, J., Bolzan, J.F. & Liu, K.-B. 1995. Late Glacial Stage and Holocene tropical ice core records from Huascarán, Peru. *Science*, 269: 46-50.

Tomé Jr., J. B. 1997. *Manual para interpretação de análise de solo*. Guaíba, Livraria Editora Agropecuária, 246p.

Tucker, M.E. 1988. *Techniques in sedimentology*. Oxford, Wiley-Blackwell, 394p.

Tuitilla, E.-S., Juutinen, S., Frolking, S., Väiliranta, M., Laine, A.M., Miettinen, A., Seväkivi, M.-L., Quillet, A. & Merilä, P. 2012. Wetland chronosequence as a model of peatland development: vegetation succession, peat and carbon accumulation. *The Holocene*, 23: 25-35.

Van Geel, B. 2001. Non-pollen palynomorphs. *In: Smol, J. P., Birks, H. J. B. & Last, W. M. (Eds.). Tracking environmental change using lake sediments*. Dordrecht, Kluwer Academic Publishers, p. 1-17.

- Verdum, R. 2016. Paisagem do Pampa: monotonia que se rompe no espaço e no tempo. *In: Chomenko, L. & Bencke, G.A. (Eds.). Nosso Pampa desconhecido*. Porto Alegre, Fundação Zoobotânica, Projeto RS Diversidade, p. 45-60.
- Viljoen, J.-A., Muasya, A.M., Barrett, R.L., Bruhl, J.J., Gibbs, A.K., Slingsby, J.A., Wilson, K.L. & Verboom, G.A. 2013. Radiation and repeated transoceanic dispersal of Schoeneae (Cyperaceae) through the Southern hemisphere. *American Journal of Botany*, 100: 2494-2508.
- Wang, H., Hong, Y., Lin, Q., Hong, B., Zhu, Y., Wang, Y. & Xu, H. 2010. Response of humification degree to monsoon climate during the Holocene from the Hongyuan peat bog, eastern Tibetan Plateau. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 286: 171-177.
- Waterway, M.J., Martins, K.T., Dabros, A., Prado, A. & Lechowicz, M.J. 2016. Ecological and evolutionary diversification within the genus *Carex* (Cyperaceae): consequences for community assembly in subarctic fens. *Systematic Botany*, 41: 558-579.
- Wildner, W., Ramgrab, G.E., Lopes, R. C. & Iglesias, C.M.F. 2006. Mapa Geológico do Estado do Rio Grande do Sul. Serviço Geológico do Brasil, escala 1:750000. Disponível em: <[http://www.cprm.gov.br/publique/media/geologia\\_basica/cartografia\\_regional/mapa\\_rio\\_grande\\_sul.pdf](http://www.cprm.gov.br/publique/media/geologia_basica/cartografia_regional/mapa_rio_grande_sul.pdf)>. Acesso em: 17 mar. 2023.
- Wollmann, C.A. & GALVANI, E. 2012. Caracterização climática regional do Rio Grande do Sul: dos estudos estáticos ao entendimento da gênese. *Revista Brasileira de Climatologia*, 11: 87-103.
- Worobiec, E. 2014. Fossil zygospores of Zygnemataceae and other microremains of freshwater algae from two Miocene palaeosinkholes in the Opole region, SW Poland. *Acta Palaeobotanica*, 54: 113-157.
- Xiao, H., Cheng, S., Mao, X., Huang, T., Hu, Z., Zhou, Y. & Liu, X. 2017. Characteristics of peat humification, magnetic susceptibility and trace elements of Hani peatland, northeastern China: paleoclimatic implications. *Atmospheric Science Letters*, 18: 140-150.

---

Zhou, B., Tu, T., Kong, F., Jun, V. & Xu, X. 2018. Revised phylogeny and historical biogeography of the cosmopolitan aquatic plant genus *Typha* (Typhaceae). *Science Repport*, 8: 8813-8821.

<b>ANEXO I</b>
Título da Tese:
<b>“EVOLUÇÃO PALEOAMBIENTAL DO BIOMA PAMPA DURANTE OS ÚLTIMOS 17.400 ANOS: UMA ABORDAGEM MULTI-PROXY”</b>
Área de Concentração: Paleontologia
Autor: Vitor Luiz Scartazzini Bocalon
Orientador: Prof. Dr. João Carlos Coimbra
Examinador: Profa. Dra. Adriana Leonhardt
Data: 16/08/2024
Conceito: A
<b>PARECER:</b>
<p>A tese apresentada traz dados interessantes e inéditos sobre o passado recente do bioma pampa e representa uma importante contribuição para a palinologia regional, discutindo seus resultados no contexto Brasil-Argentina-Uruguai.</p> <p>A tese, apresentada de forma clara e bem escrita, está estruturada em dois artigos. O primeiro versa sobre as mudanças vegetacionais e climáticas a partir da interpretação do registro sedimentar de uma turfeira em Cacequi. O segundo traz uma descrição morfológica dos grãos de pólen encontrados e uma contextualização regional e temporal destes.</p> <p>Abaixo, apresento os principais questionamentos e sugestões apresentados no momento da arguição.</p> <p><b>Introdução</b> A Introdução deveria conduzir o leitor para o problema abordado na tese – as mudanças vegetacionais e climáticas na PRP. Porém, ela focou muito em o que são turfeiras, o que não é o foco.</p> <p><b>Área de estudo</b> Seria mais interessante descrever melhor a geologia, clima e vegetação da área de estudo do que caracterizar as turfas em geral.</p> <p><b>Material e Métodos</b> Caracterizar mais detalhadamente o processamento químico, já que nos artigos não é possível fazer isso. Faltou especificar os ácidos utilizados. A análise de MO parece diferente do que está descrito no artigo 1.</p> <p><b>Artigo 1</b> (embora já publicado, as sugestões podem ser aproveitadas em trabalhos futuros)</p> <p>Foram contados 300 pólenes, ou pólenes + esporos?</p>

Na análise litológica, já há um aumento de MO na 2ª parte do testemunho, portanto não concordo com a sua descrição na tabela.

Na primeira descrição das zonas, é dito que uma delas é representada apenas por 1 amostra (pag 49), mas não são as zonas aplicadas nos diagramas, e sim as análises apresentadas na Figura 6. A escrita poderia estar mais clara neste ponto.

Nos diagramas:

- Apresentar ao menos as idades  $^{14}\text{C}$
- Especificar que “somatórios” se refere ao dado bruto (grãos contatos) e não a algum outro somatório, como de porcentagens, por exemplo.
- Pq não foram apresentadas curvas de concentração ou influxo polínico? São muito importantes para a interpretação paleoambiental.

A Figura 6 foi pouquíssimo explorada e a importância da análise representada não ficou clara.

O início do registro é interpretado como de clima seco. No entanto, nesta fase os indicadores de mata estão em seu máximo. Como explicar? Curvas de concentração ou influxo polínico poderiam ajudar a interpretar esta zona.

Não concordo com o destaque dado às plantas aquáticas (por exemplo, na tabela 3), cujo registro é bastante escasso e esparsa no testemunho. O aumento de umidade é muito melhor evidenciado pelo aumento expressivo de pteridófitos e briófitos.

Figura 7 e Figura 8: posicionar as idades nas zonas apresentadas. A legenda da figura 8 não explica o que são A, B C e D.

## **Artigo 2**

Na metodologia se descreve as análises estatísticas (tília e tiliagraph), porém isso não é utilizado neste artigo.

Alguns táxons apresentados são comumente identificados apenas em nível de família em trabalhos de paleopalínologia. Se é possível identificar em nível de gênero, é interessante apresentar na descrição as características que os distinguem. Outra opção é utilizar a expressão “genus” type. São eles: *Echinodorus*, *Eleocharis*, *Myrcia*, *Pavonia*.

Na Discussão, há uma mistura entre as mudanças climáticas e florísticas vistas neste trabalho com as descritas para a grande região na literatura. Revisar e escrever com maior clareza.

Em todo o artigo 2, as mudanças vegetacionais e climáticas são referenciadas em relação à profundidade no testemunho, mas seria melhor relacionar com as idades.

Esclarecer se não há Chenopodiaceae no Brasil ou apenas não foi encontrado neste trabalho. Pois em turfeiras da serra do RS este táxon é conhecido, identificado como *Amaranthus-Chenopodiaceae* (foi esclarecido na arguição que realmente este táxon realmente não ocorre nas PRP brasileira. Revisar a escrita).

Se a ideia é fazer uma comparação regional para compreender a distribuição espacial dos palinomorfos, seria interessante produzir uma comparação entre os táxons encontrados em todos os locais da tabela 2 (não somente os encontrados nesta turfeira – foi esclarecido na arguição que esta comparação maior foi realizada), e com isso aprimorar a figura 5, e explorá-la mais no texto.

As conclusões deste artigo repetem em parte as conclusões do artigo 1. Poderiam focar na distribuição espacial dos tipos polínicos descritos.

### **Integração dos dados e discussão**

Não há necessidade de repetir as figuras que já foram apresentadas, a não ser q estivessem realmente integradas ou resumidas.

O grau de humificação foi apresentado somente aqui e não nos artigos? Por quê? Essa análise poderia ter tido mais destaque neste capítulo, já que aparece apenas aqui.

### **Conclusões**


“O aumento de umidade descrito no trabalho há 4,9 kyr BP não pode ser explicado apenas pela subida do nível do mar, mas também por fenômenos climáticos regionais/mundiais” - essa reflexão não apareceu nos artigos e poderia/deveria ter sido melhor explorada.

Assinatura:

Data: 16/08/2024

Ciente do Orientador:

Ciente do Aluno:

<b>ANEXO I</b>	
Título da Tese:	
<b>“EVOLUÇÃO PALEOAMBIENTAL DO BIOMA PAMPA DURANTE OS ÚLTIMOS 17.400 ANOS: UMA ABORDAGEM MULTI-PROXY”</b>	
Área de Concentração: Paleontologia	
Autor: Vitor Luiz Scartazzini Bocalon	
Orientador: Prof. Dr. João Carlos Coimbra	
Examinador: Prof. Dr. Roberto Iannuzzi	
Data: 16-08-2024	
Conceito: A - Excelente	
<p style="text-align: center;"><b>PARECER:</b></p> <p>O documento apresentado está bem escrito, com texto integrador claro e bem organizado. Há uma boa introdução teórica referente aos distintos tópicos e ferramentas que foram usados no estudo. O estudo realizado configura-se em uma contribuição importante para a aumento do conhecimento sobre a evolução ambiental e climática do Bioma Pampa ocorrida a partir do final do Pleistoceno. Apesar da análise palinológica ter sido o principal método aplicado no estudo, este foi apoiado por outros tipos de análises que justificam o subtítulo da tese, i.e. “uma abordagem multi-proxy”. Salienta-se, por conseguinte, a integração de distintos métodos feita pelo candidato, o que deu um panorama mais amplo para efetuar a interpretação das mudanças registradas ao longo do testemunho analisado. Deste modo, os resultados obtidos mostraram-se bastante resultados robustos e bem embasados. Tanto que um dos artigos propostos já foi publicado em um tradicional periódico internacional, enquanto que o outro se encontra submetido em outro reconhecido periódico internacional. Sugeriu-se ao candidato, no entanto, a adição de uma análise geomorfológica e da significância ecológica da presença de certas espécies, a fim de aprimorar as interpretações feitas. Durante a defesa, o candidato fez uma apresentação clara, organizada e bem ilustrada e, na arguição, ele mostrou conhecimento e respondeu a todas as questões de forma clara, direta e segura. Deste modo, considero que o trabalho alcançou o nível de doutorado. Aprovado.</p>	
Assinatura: 	Data: 19-08-2024
Ciente do Orientador:	
Ciente do Aluno:	

<b>ANEXO I</b>
Título da Tese:
<b>“EVOLUÇÃO PALEOAMBIENTAL DO BIOMA PAMPA DURANTE OS ÚLTIMOS 17.400 ANOS: UMA ABORDAGEM MULTI-PROXY”</b>
Área de Concentração: Paleontologia
Autor: Vitor Luiz Scartazzini Bocalon
Orientador: Prof. Dr. João Carlos Coimbra
Examinador: Prof. Dr. Marcelo de Araújo Carvalho
Data: 16/082024
Conceito: A
<b>PARECER:</b>
<p>Após análise detalhada da tese intitulada "<b>Evolução Paleoambiental do Bioma Pampa Durante os Últimos 17.400 Anos: Uma Abordagem Multi-Proxy</b>", e da apresentação realizada, concluo que o trabalho apresenta uma contribuição significativa para o entendimento da história paleoambiental do Bioma Pampa. A pesquisa foi conduzida com rigor científico, utilizando uma abordagem multi-proxy que permitiu a obtenção de dados robustos e diversificados, essenciais para a reconstrução paleoambiental.</p>
<b>Aspectos Positivos:</b>
<ul style="list-style-type: none"><li>• A pesquisa demonstra um sólido entendimento das variações paleoambientais no Bioma Pampa ao longo dos últimos 17.400 anos, oferecendo novas perspectivas sobre as mudanças climáticas e ecológicas ocorridas na região.</li><li>• A abordagem multi-proxy utilizada é um ponto forte da tese, combinando diferentes métodos e fontes de dados para fornecer uma visão abrangente das mudanças ambientais.</li><li>• A clareza na apresentação dos resultados, bem como a integração dos dados obtidos com a literatura existente, reforça a qualidade do trabalho e a relevância das conclusões alcançadas.</li></ul>
<b>Recomendações:</b>
<ol style="list-style-type: none"><li>1. <b>Exploração das Datações:</b> Sugere-se uma exploração mais aprofundada das datações obtidas, buscando correlacioná-las com eventos regionais e globais. Isso pode enriquecer ainda mais a contextualização dos resultados e fornecer uma perspectiva temporal mais integrada com as mudanças ambientais de outras regiões.</li><li>2. <b>Nearest Living Relative:</b> Recomenda-se considerar o uso do método "nearest living relative" para inferir condições paleoambientais, o que pode</li></ol>



oferecer uma maior precisão na reconstrução das condições ambientais, em especial da paleotemperatura passada com base nas espécies fósseis identificadas.

3. **Curva de Diversidade:** A inclusão de uma curva de diversidade ao longo do tempo poderia contribuir para uma compreensão mais detalhada das mudanças na flora da região e suas possíveis causas.
4. **Índice de Espécies Indicadoras (IndVal):** Incluir o índice de espécies indicadoras (IndVal) para cada zona palinológica identificada pode ajudar a destacar as espécies mais representativas de cada período, oferecendo insights adicionais sobre as condições ambientais predominantes.
5. **Correlação entre Umidade e Nível do Mar:** Sugere-se estabelecer uma correlação entre o aumento da umidade e o aumento do nível relativo do mar nos últimos 5 mil anos, o que poderia fornecer evidências adicionais para compreender a relação entre as mudanças climáticas e as variações no nível do mar na região.

#### **Conclusão:**

A tese "Evolução Paleoambiental do Bioma Pampa Durante os Últimos 17.400 Anos: Uma Abordagem Multi-Proxy" é um trabalho de alto nível acadêmico e científico. As recomendações apresentadas visam apenas fortalecer ainda mais a análise e interpretação dos dados, e não comprometem a qualidade e relevância do estudo.



Assinatura:

Data: 26/08/2024

Ciente do Orientador:

Ciente do Aluno: