



UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO DE TECNOLOGIA E GEOCIÊNCIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOCIÊNCIAS

CAMILA GOMES BARBOSA

**PTERIDÓFITAS DA FORMAÇÃO CROSS VALLEY-WIMAN, PALEOCENO
SUPERIOR DA ILHA SEYMOUR, ANTÁRTICA**

Recife
2023

CAMILA GOMES BARBOSA

**PTERIDÓFITAS DA FORMAÇÃO CROSS VALLEY-WIMAN, PALEOCENO
SUPERIOR DA ILHA SEYMOUR, ANTÁRTICA**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Geociências da Universidade Federal de Pernambuco, como requisito parcial para obtenção do título de mestra em Geociências. Área de concentração: Geologia Sedimentar e Ambiental

Orientador (a): Gorki Mariano
Coorientadora: Paula Andrea Sucerquia Rendon

Recife
2023

.Catalogação de Publicação na Fonte. UFPE - Biblioteca Central

Barbosa, Camila Gomes.

Pteridófitas da Formação Cross Valley-Wiman, Paleoceno
Superior da Ilha Seymour, Antártica / Camila Gomes Barbosa. -
Recife, 2023.
54f.: il.

Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Pernambuco,
Centro de Tecnologia e Geociências, Pós-Graduação em
Geociências, 2023.

Orientação: Gorki Mariano.

Coorientação: Paula Andrea Sucerquia Rendon.

1. Antártica; 2. Sphenopteris; 3. Cladophlebis; 4. Paleoceno;
5. Osmundales. I. Mariano, Gorki. II. Rendon, Paula Andrea
Sucerquia. III. Título.

UFPE-Biblioteca Central

CDD 551

CAMILA GOMES BARBOSA

**PTERIDÓFITAS DA FORMAÇÃO CROSS VALLEY-WIMAN, PALEOCENO
SUPERIOR DA ILHA SEYMOUR, ANTÁRTICA**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Geociências da Universidade Federal de Pernambuco, como requisito parcial para obtenção do título de mestra em Geociências. Área de concentração: Geologia Sedimentar e Ambiental

Aprovado em: ____/____/____.

BANCA EXAMINADORA

Prof^a. Dr^a. Paula Andrea Sucerquia Rendon (Coorientadora)
Universidade Federal de Pernambuco - UFPE

Prof^a. Dr^a. Etiene Fabbrin Pires Oliveira (Examinador Externo)
Universidade Federal do Tocantins - UFT

Prof^a. Dr^a. Joseline Manfroi (Examinador Externo)
Corporación de Investigación y Avance de la Paleontología e Historia Natural de
Atacama - CIAHN Atacama

Prof. Dr. Marcelo de Araújo Carvalho (Examinador Externo)
Universidade Federal do Rio de Janeiro - UFRJ

Dedico esse trabalho para todas as pessoas que acreditaram no meu potencial e me deram total apoio para que eu chegasse até aqui, em especial a minha mãe. Também dedico a todos aqueles que, mesmo com todas as inúmeras dificuldades, não desistem de fazer ciência nesse país.

AGRADECIMENTOS

Foram muitos desafios até aqui, entre pandemias e o total desgoverno que aconteceu no nosso país, agradeço imensamente a tudo e a todos que não largaram a minha mão nestes últimos 2 anos. Agradeço a Deus, por me fazer permanecer em pé até aqui. A minha mãe, por sempre ser meu porto seguro e meu guia em meio a esse turbilhão de acontecimentos; ao meu pai, que olha por mim aonde quer que ele esteja; ao meu Miau, que foi o meu bravo companheiro em incontáveis madrugadas de escrita; e a toda minha família, pelo amor e força durante todos esses anos.

Agradeço também a minha segunda família que construí nesses quase 10 anos de UFPE. A Valquíria, minha irmã de coração; a Taluany e Alzira, as minhas irmãs de laboratório; Yumi, Gabriel, Anny e Johnson, o meu super quarteto fantástico; aos inúmeros amigos do PALEOLAB, que compartilharam comigo tantos momentos e conhecimentos; a Sérgio e o meu amado ARS Canticus, que sempre me acolheram com muita música e carinho; e por último (mas não menos importante) a Paula, minha mãe acadêmica/amiga/orientadora, que acreditou e viu em mim um potencial, desde a graduação, para ser uma grande pesquisadora tal qual ela.

Agradeço a todos os pesquisadores que formam o projeto FLORANTAR, em especial ao Prof. Dr. Marcelo de Araújo Carvalho, por me conceder o acesso a tanto conhecimento e aprendizado e também por me permitir participar da construção da ciência antártica brasileira e mundial.

Meus agradecimentos também irão para todos os professores/pesquisadores que transmitiram seus conhecimentos, em especial a todas as mulheres que estiveram nessa trajetória, pois me mostraram todos os dias como lutar e resistir bravamente a esse mundo machista, assim ajudando a formar a pesquisadora que sou hoje.

Por fim, agradeço a CNPq pela concessão da bolsa, que possibilitou o custeamento destes 2 anos e meio de muita pesquisa, participações de congressos, simpósios, visitas a laboratórios... ou seja, mesmo que por um período pré-definido, viver de ciência no Brasil.

RESUMO

A Formação Cross Valley-Wiman apresenta uma surpreendente diversidade de fósseis vegetais para o Paleoceno da Ilha Seymour, Antártica, incluindo diversos espécimes de folhas de Samambaias. Estudos anteriores agruparam estes espécimes nas espécies *Cladophlebis aemulans*, *Cladophlebis seymourensis* e *Sphenopteris angustiloba*, porém com base em novos materiais coletados, os aspectos taxonômicos foram reavaliados. O presente trabalho traz uma reavaliação taxonômica, de diversidade e sobre a preservação dos fósseis de pteridófitas coletadas na Formação Cross Valley-Wiman, pelo projeto FLORANTAR, na OPERANTAR 38 (PROANTAR/CNPq). Foi realizado um trabalho de triagem e preparação de 148 espécimes que foram submetidos a análises morfológicas. Para isso, foram observados caracteres das partes vegetativas como: comprimento, largura, base e ápice de pinas e pínulas; presença de raque; arranjo e formato das pínulas; margem; venação; além do grau de desarticulação; tipo de fossilização e associação fitofossilífera. O material apresenta-se em uma concentração politípica e com alto nível de fragmentação. Porém, os espécimes apresentam um bom grau preservação, sendo a maior parte preservados em compressões carbonosas e uma pequena parcela preservada em carbonato de cálcio. Foram definidos 6 morfotipos diferentes: os morfotipos 1, 2 e 3 apresentam padrão morfológico do tipo *Sphenopteris*, mostrando semelhança com a espécie *Sphenopteris angustiloba*. Os morfotipos 4 e 5 apresentaram um padrão de semelhança com o tipo raro para a venação de *Cladophlebis*, além disso, não se assemelham ao padrão de venação da espécie *C. seymourensis*. Já o morfotipo 6 apresenta padrão de semelhança com os gêneros *Parsorophyllum* e *Elantodites*, padrões inéditos para a Formação Cross Valley-Wiman até o momento. A problemática desses táxons é que são gêneros e espécies comumente utilizados para fósseis mesozoicos, não sendo correta a sua utilização para as espécies do Cenozoico. Assim, se faz necessária uma nova designação taxonômica para morfogêneros existentes no Paleoceno da Ilha Seymour, Antártica, agrupando-os dentro da ordem Osmundales.

Palavras-chave: Antártica; *Sphenopteris*; *Cladophlebis*; Paleoceno; Osmundales.

ABSTRACT

The Cross Valley-Wiman Formation presents a surprising diversity of plant fossils from the Paleocene of Seymour Island, Antarctica, including several specimens of Pteridophytes. Previous studies grouped these specimens into the species: *Cladophlebis aemulans*, *Cladophlebis seymourensis* and *Sphenopteris angustiloba*, however, based on new materials collected, taxonomic aspects were reevaluated. The present work carried out a taxonomic, diversity and preservation assessment of pteridophyte fossils collected in the Cross Valley-Wiman Formation, by the FLORANTAR project, at OPERANTAR 38 (PROANTAR/CNPq). Screening and preparation work was carried out on 148 specimens submitted to morphological analysis. For this, characters of the vegetative parts were observed, such as: length, width, base and apex of pinnae and pinnules; presence of rachis; arrangement and shape of pinnules; margin; venation; in addition to the degree of disarticulation; type of fossilization and phytofossiliferous association. The material is present in a polytypic concentration and with a high level of fragmentation. However, the specimens present a good degree of preservation, with the majority being preserved in coalified compressions and a small portion preserved in calcium carbonate. 6 different morphotypes were defined: morphotypes 1, 2 and 3 present a morphological pattern of the *Sphenopteris* type, showing similarity with the species *Sphenopteris angustiloba*. Morphotypes 4 and 5 showed a similarity pattern with the rare type for the venation of *Cladophlebis*, in addition, they do not resemble the venation pattern of the species *C. seymourensis*. Morphotype 6 presents a pattern of similarity with the genera *Parsorophyllum* and *Elantodites*, such patterns referring to these genera have not been described for the Cross Valley-Wiman Formation to date. The problem with these taxa is that they are genera and species commonly used for Mesozoic fossils, and their use is not correct for Cenozoic species. Therefore, a new taxonomic designation is necessary for morphogenera existing in the Paleocene of Seymour Island, Antarctica, grouping them within the order Osmundales.

Keywords: Antarctica; *Sphenopteris*; *Cladophlebis*; Paleocene; Osmundales.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

DISSERTAÇÃO

Figura 1 –	Paleoreconstrução de uma floresta antártica na Ilha Alexandre, com presença coníferas, Bennettitales, Cycadales, Ginkgoales e muitas samambaias, durante o Cretáceo	11
Quadro 1 –	Algumas terminologias utilizadas para a taxonomia de pteridófitas	14
Figura 2 –	Esquema de uma samambaia e sua terminologia morfológica	15
Figura 3 –	Representação da Península Antártica e da Ilha Seymour	16
Figura 4 –	Representação da coluna cronoestratigráfica da Bacia James Ross na Ilha Seymour	17
Figura 5 –	Ilha Seymour e perfil estratigráfico	22

ARTIGO – FERN FOLIAGE DIVERSITY IN THE PALEOCENE CROSS VALLEY – WIMAN FORMATION, SEYMOUR ISLAND, ANTARCTICA

Figure 1 –	Location of Bahia Pinguino, on Seymour Island and stratigraphic profile with fossil collection points	31
Figure 2 –	Distribution of morphotypes in the stratigraphic levels of the Cross Valley-Wiman Formation, Seymour Island	32
Figure 3 –	Distribution of specimens by preservation modes and highlights preservation in calcium carbonate by stratigraphic level	33
Figure 4 –	Morphotypes 1 and 2 (PB918, A, B, C; PB853, D, E)	38
Figure 5 –	Morphotypes 3 and 4 (PB928, A, B; PB932, C, D)	39

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	10
1.1	DIVERSIDADE MORFOLÓGICA	13
1.2	CONTEXTO GEOLÓGICO	16
2	OBJETIVOS	19
2.1	OBJETIVO GERAL	19
2.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	19
3	REFERENCIAL TEÓRICO	20
4	MATERIAIS E MÉTODOS	22
4.1	MATERIAIS	22
4.2	MÉTODOS	22
4.2.1	Triagem, catalogação e preparação	22
4.2.2	Observações em estereomicroscópio	23
4.2.3	Construção dos morfotipos e sistemática	23
4.2.4.	Análise de preservação	23
5	ARTIGO – Fern foliage diversity in the Paleocene Cross Valley – Wiman Formation, Seymour Island, Antarctica	24
6	CONSIDERAÇÕES FINAIS	51
	REFERÊNCIAS	52

1 INTRODUÇÃO

Buscar a compreensão do passado da Terra e de todos os habitantes que um dia já pisaram nela, é algo intrínseco ao ser humano. Esse entendimento pode vir através da observação dos restos e vestígios dos seres ao longo do tempo geológico. A Paleontologia (origem grega: *palaios* = antigo; *ontos* = ser; *logos* = estudo), tem como principal objetivo o estudo desses organismos e proporciona o entendimento das grandes mudanças que ocorreram no planeta ao longo do tempo, como a movimentação dos continentes, as grandes extinções e as drásticas mudanças climáticas e ambientais (Carvalho, 2011).

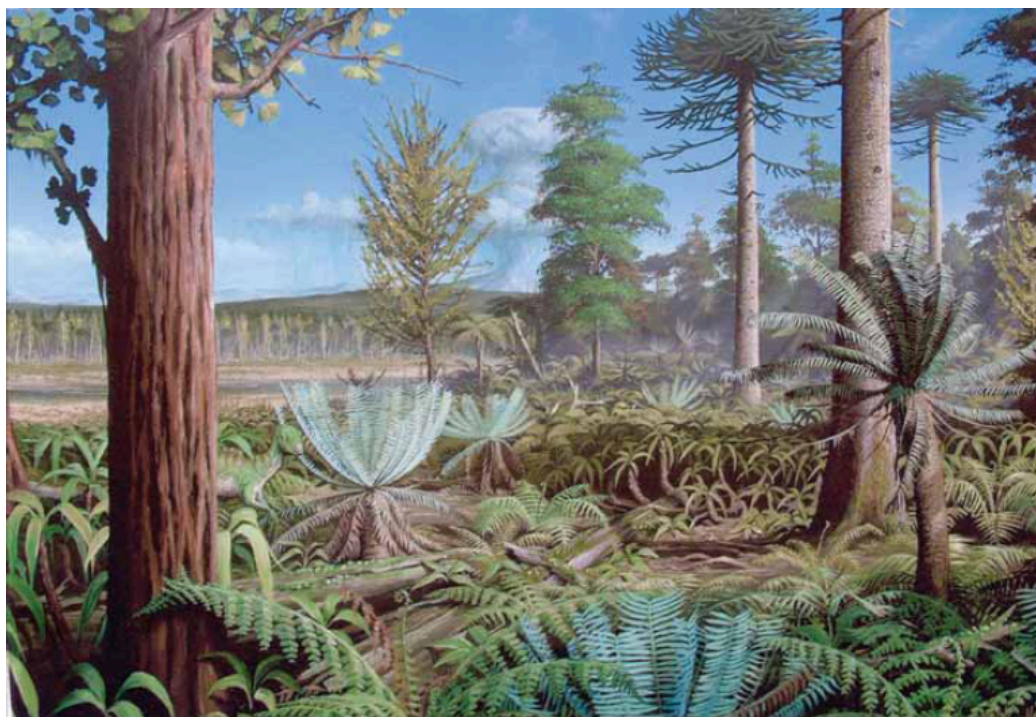
Traçar essa linha do tempo auxilia na percepção de como a vida, das mais diversas formas, evoluiu com o passar de milhões de anos, desde organismos simples até a complexidade e diversidade atual (Raven *et al.*, 2014). Por meio de análises morfológicas, anatômicas e tafonômicas dos fósseis, é possível observar padrões paleoambientais, paleoclimáticos, paleoecológicos e bioestratigráficos, que perpassam a história de vida no planeta Terra. No caso das plantas, a Paleobotânica investigará esse conjunto de características para compreender o surgimento e evolução desses seres, que estão presentes no planeta desde o Ordoviciano-Siluriano até os dias atuais (Taylor *et al.*, 2009; Willis & McElwain, 2014).

No caso das plantas, mesmo com a natureza fragmentária dos fósseis e as diferenças no potencial de preservação dos tecidos e estruturas vegetais, os grandes grupos de plantas terrestres (briófitas e plantas vasculares) estão diversamente presentes e amplamente dispersos geograficamente e bioestratigraficamente no registro fóssil a nível mundial (Iannuzzi & Vieira, 2005; Carvalho, 2011). Até mesmo ambientes hoje inóspitos, como a Antártica, possuem um grande registro fitofossilífero marcado em sua história. Isso ocorre porque muito antes das mudanças paleobiogeográficas que ocorreram no Cenozoico, separando-a da América do Sul e transformando em um gelido continente, a Antártica era um ambiente de clima mais quente, com exuberante biodiversidade e muito propício a vida de várias plantas que formavam grandes florestas (Cantrill & Poole, 2012) (Figura 1).

Um dos grupos vegetais que apresentam um significativo registro nas grandes florestas do contexto fóssil da Antártica são as Samambaias, nome dado ao grande grupo das plantas vasculares sem semente e com megáfilos, que também são

conhecidas genericamente como Pteridófitas (Carvalho, 2011). Desde suas primeiras aparições no Devoniano, essas plantas vasculares sempre foram muito presentes no mundo por apresentarem adaptações evolutivas que permitiram a conquista de novos habitats e a irradiação pelo planeta (Spicer, 1990; Taylor *et al.*, 2009; Raven *et al.*, 2014). Uma parte desse cenário pode ser observada no registro fossilífero presente na Península Antártica, onde a flora fóssil possui uma abundância significativa em diversos momentos do tempo geológico (Francis *et al.*, 2008).

Figura 1 – Paleoreconstrução de uma floresta antártica na Ilha Alexander, com presença coníferas, Bennettitales, Cycadales, Ginkgoales e muitas samambaias, durante o Cretáceo.



Fonte: Pintura de Robert Nicholls do Paleocreations.com, exposta no British Antarctic Survey e retirada de Francis *et al.* (2008).

Durante o Paleoceno, um local a leste da Península Antártica mostra sua relevância na grande diversidade da fitoflora, a Formação Cross Valley-Wiman da Ilha Seymour. Entre 1901 a 1903, foi descoberto o primeiro depósito paleobotânico da ilha, durante a Expedição Swedish South Polar, que foi liderada por Otto Nordenskjöld (Dusén, 1908). Entre o material fitofossilífero coletado, existiam muitos espécimes de folhas de angiospermas, gimnospermas e pteridófitas.

No que se refere às pteridófitas, esse grupo foi estudado primeiramente por Dusén (1908), que descreve uma grande diversidade de samambaias fósseis para a

região, porém apenas 8 espécies são formalmente descritas e as outras são designadas a espécies informais ou a morfogêneros. Em um segundo momento, esses fósseis foram avaliados por Cantrill *et al.* (2011), que revisaram os espécimes estudados por Dusén (1908); além de espécimes depositados em diversas coleções, mas nunca estudados; e novos coletados na mesma localidade. Eles agruparam as espécies descritas por Dusén em 3 novas espécies: *Cladophlebis aemulans*, *Cladophlebis seymourensis* e *Sphenopteris angustiloba*. (Tabela 1).

Tabela 1: Lista de samambaias descritas por Dusén (1908) e reatribuídas por Cantrill *et al.* (2011).
Flora de Cross Valley, Ilha Seymour, Península Antártica.

Dusén (1908)	Cantrill <i>et al.</i> (2011)
<i>Polypodium aemulans</i> (formalmente descrito)	
<i>Taeniopteris blechnoides</i> (formalmente descrito)	
<i>Taeniopteris crispissima</i> (formalmente descrito)	<i>Cladophlebis aemulans</i>
<i>Alsophila antarctica</i> (formalmente descrito)	
<i>Polypodium nathorstii</i> (formalmente descrito)	
<i>Dryopteris antarctica</i> (formalmente descrito)	
<i>Dryopteris seymourensis</i> (formalmente descrito)	<i>Cladophlebis seymourensis</i>
<i>Pecopteris</i> (18 espécies) (somente ilustradas)	
<i>Lomatia angustiloba</i> * (formalmente descrito)	
<i>Lomatia brevipinna</i> * (formalmente descrito)	
<i>Asplenium antarcticum</i> (formalmente descrito)	<i>Sphenopteris angustiloba</i>
<i>Asplenium</i> sp. (formalmente descrito)	
<i>Sphaenopteris</i> sp. (10 espécies) (somente ilustradas)	

Fonte: Modificado de Cantrill *et al.* (2011). Nota: *Classificada por Dusén (1908) como angiosperma.

Desde a descoberta do conteúdo fossilífero nesta formação, outras pesquisas foram feitas na mesma região ao longo dos anos, dentre essas, estudos sobre

lenhos e folhas de angiospermas e gimnospermas e sobre palinomorfos: Cranwell (1959) analisou a microflora da Formação Cross Valley-Wiman; Askin (1988, 1990) estudou os palinomorfos das Formações López de Bertodano, Sobral, Cross Valley-Wiman e La Meseta; Cantrill *et al.* (2011), além das frondes de samambaias, analisou também folhas de gimnospermas da Formação Cross Valley-Wiman; Tosolini *et al.* (2013, 2021) examinou da Formação Cross Valley-Wiman as folhas de angiospermas; Pujana *et al.* (2014, 2015) apurou os lenhos da Formação Cross Valley-Wiman e La Meseta; Mirabelli *et al.* (2018) estudou os lenhos da Formação Sobral. Porém sobre as frondes de samambaias encontradas em número significativo na região são feitos apenas apontamentos, mas não trabalhos mais aplicados, que de fato tratam sobre a taxonomia do grupo.

Tendo em vista todo esse contexto e a falta de informações e estudos mais detalhados, este trabalho realiza um estudo aprofundado com o enfoque taxonômico e sistemático das samambaias fósseis coletadas na Formação Cross Valley-Wiman, da Ilha Seymour, Península Antártica.

1.1 DIVERSIDADE MORFOLÓGICA

Existe uma grande problemática dentro do estudo taxonômico de frondes de samambaias: a terminologia utilizada. Não existe um padrão geral amplamente difundido e seguido pelos pesquisadores de pteridófitas, como o *“Manual of Leaf Architecture”*, desenvolvido por Ellis e colaboradores (2009) para padronizar os termos para descrição da morfologia das folhas de angiospermas.

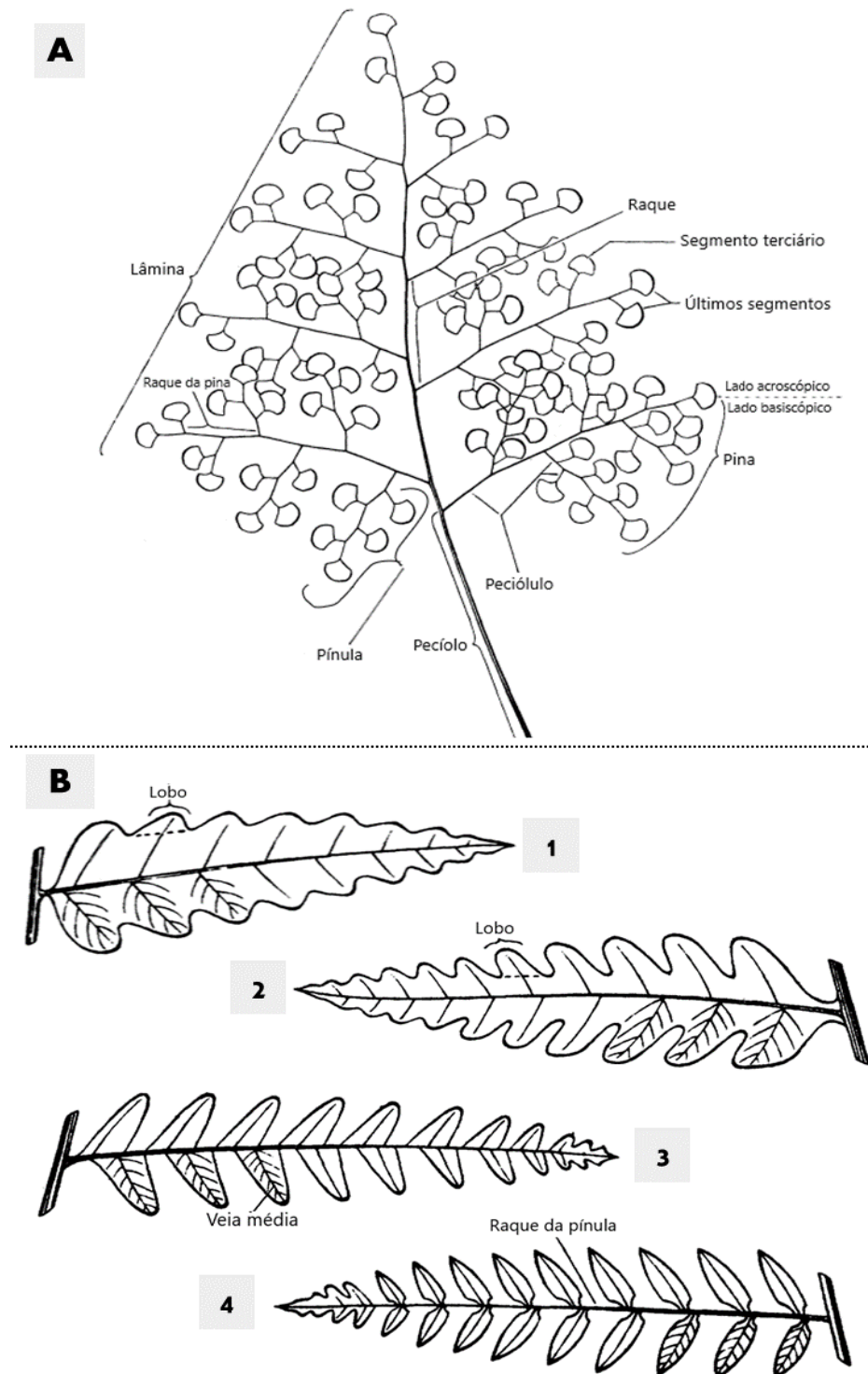
Para a taxonomia de samambaias, ocorre o uso de alguns termos mais gerais, porém a falta de um manual para padronizar as terminologias dificulta a descrição dos morfotipos, tendo em vista que há casos em que uma mesma estrutura pode ter nomes diferentes ou nomes muito específicos, mas pouco utilizados (i.e., pinatissectado, pinatipartidos), o que pode gerar dificuldades de compreensão entre os pesquisadores. Visando melhorar o entendimento das informações descritas neste trabalho, foram adotadas as terminologias designadas por Tryon (1960), que posteriormente foram complementadas por Vasco *et al.* (2013). As mais utilizados para realização do presente trabalho são listadas no Quadro 1 e representados na Figura 2:

Quadro 1 - Algumas terminologias utilizadas para a taxonomia de samambaias

Termo	Inglês	Significado
Fronde	Frond	Totalidade da estrutura foliar de uma samambaia (lâmina + pecíolo)
Lâmina	Lamina/blade	Limbo foliar
Pecíolo/estipe	Petiole/stipe	Haste que une a lâmina ao caule
Pina	Pinna	Primeira divisão da fronde (divisão primária)
Pínula	Pinnule	Segunda divisão da fronde (divisão secundária)
Segmentos terciários, quaternários, ...	Tertiary, quaternary, ... segment	Próximas divisões após as pínulas
Lobo	Lobe	Porção de uma lâmina, pina. Pínula, etc., que a base seja totalmente unida ao tecido vegetal. Traçar uma linha entre os pontos adjacentes define a base do um lobo
Nervura central	Midrib	Eixo central
Raque	Rachis/rhachis	Eixo primário da lâmina
Raque da pina	Pinna-rachis, rachilla, rhachilia	Eixo primário da pina
Raque da pínula	Pinnule-rachis	Eixo primário da pínula
Peciólulo	Petiolule	Haste que une a pina. pínula, etc., a outro segmento
Veia média	Middle vein	Venação central
Acroscópico	Acroscopic	Voltado para o ápice
Basiscópico	Basisopic	Voltado para a base

Fonte: Adaptado de Tryon (1960)

Figura 2 – Esquema de uma samambaia e sua terminologia morfológica.



Fonte: Modificado de Tryon (1960).

Legenda: A - diagrama de fronde com algumas terminologias. B - diagrama de alguns possíveis formatos de pínulas: 1 - pínula lobada; 2 - pínula adnada, 3 - pínula sectada com segmentos terciários alternados; 4 - pínula sectada com segmentos terciários opostos.

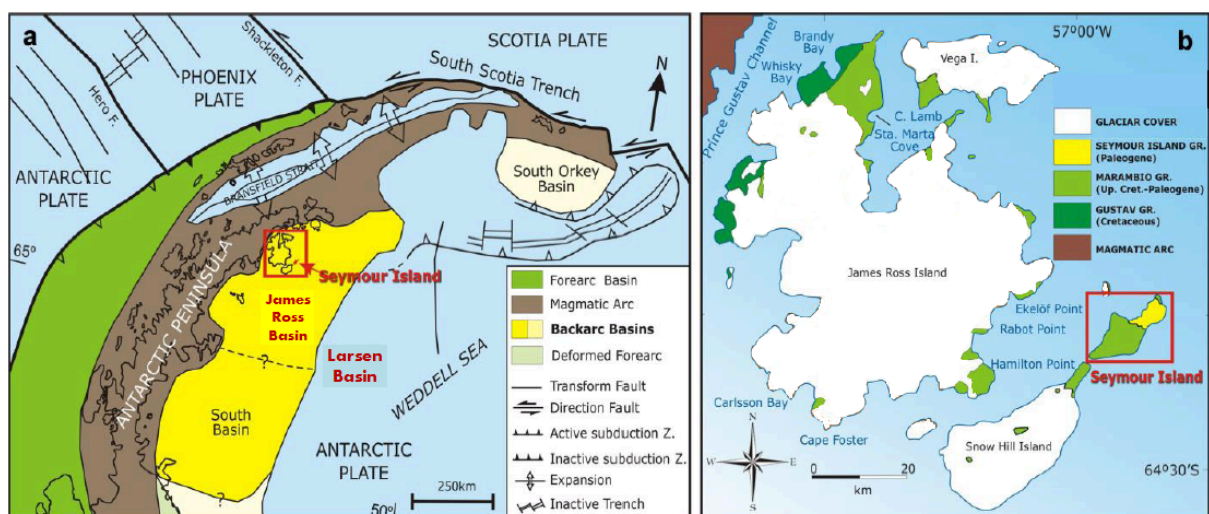
1.2 CONTEXTO GEOLÓGICO

Localizada na região do Mar de Weddell na plataforma continental, a leste da porção final da Península Antártica, a Bacia Larsen foi formada a partir de processos tectônicos de rifteamento que resultaram na fragmentação do Gondwana e formaram uma região de deposição de rochas sedimentares meso-cenozóicas (Macdonald *et al.*, 1988; Hathway, 2000).

A maior parte das rochas expostas da Bacia Larsen encontra-se na sub-bacia norte, a Bacia James Ross, que contém megassequências sedimentares do período Jurássico até o Eoceno, divididas em 3 grandes grupos: Gustav, de idade Aptiano até o Coniaciano/Santoniano; Marambio, do Santoniano até Paleoceno; e Ilha Seymour, do Paleoceno até o Eoceno (Elliot, 1988; Valle *et al.*, 1992; Hathway, 2000; Marensi *et al.*, 2012; Montes *et al.*, 2019; Tosolini *et al.*, 2021).

A porção mais recente da Bacia James Ross pertence à Ilha Seymour (localizada no Mar de Weddell), a qual possui duas megasequências, Grupo Marambio e Grupo Seymour Island, com rochas entre o final do Cretáceo e Eoceno, um intervalo de tempo de grandes transformações paleoambientais e paleoclimáticas, como flutuações do nível do mar, esfriamentos e aquecimentos globais, e a regeneração da biota após a grande extinção do Cretáceo - Paleógeno (K-Pg) (Schulte, 2010; Cantrill & Poole, 2012; Montes *et al.*, 2019) (Figura 3).

Figura 3 – Representação da Península Antártica e da Ilha Seymour.



Fonte: Modificado de Montes *et al.* (2019). Legenda: (a) Localização da Ilha Seymour, Bacia James Ross e Bacia Larsen (destacadas em vermelho) na Península Antártica. (b) Ilha Seymour na Bacia James Ross, destacados na legenda os grupos de megassequências sedimentares.

Estes acontecimentos podem ser visualizados em cada uma das quatro formações litológicas presentes na ilha: López de Bertodano; Sobral; Cross Valley-Wiman e La Meseta. Pertencem ao Grupo Marambio as formações López de Bertodano (Maastrichtiano – Paleoceno) e a Sobral (Paleoceno); e ao Grupo Ilha Seymour as formações Cross Valley-Wiman (Paleoceno) e a La Meseta (Paleoceno – Eoceno) (Marensi *et al.*, 2002, 2012) (Figura 4). A Formação López de Bertodano pode ser compreendida como um ambiente de plataforma; a Formação Sobral também como um ambiente de plataforma, com pelo menos dois ciclos de transgressão-regressão; já a Formação La Meseta é interpretada como um ambiente deltaico, estuarino e marinho raso (Marensi *et al.*, 2002, 2012; Mirabelli *et al.*, 2018).

Figura 4 – Representação da coluna cronoestratigráfica da Bacia James Ross na Ilha Seymour.

Paleógeno	Eoceno	Fm. La Meseta
	Paleoceno	Fm. Cross Valley-Wiman
		Fm. Sobral
		----- K-Pg -----
Cretáceo	Maastrich.	Fm. Lopez Bertodano

Fonte: Modificado de Montes *et al.*(2019).

A Formação Cross Valley-Wiman, sendo entendida como um ambiente costeiro (estuário, deltaico e marinho raso), tem aproximadamente 1,5 km de comprimento e 195 m de espessura, apresenta uma geometria lenticular, com depósitos vulcanoclásticos em vale, do tipo inciso (Sadler 1988 ; Wrenn & Hart, 1988; Marensi *et al.*, 2012; Pujana *et al.*, 2015).

Wrenn e Hart (1988) definiram a litologia da formação, variando de argilitos à conglomerados. Marensi *et al.* (2012) e Montes *et al.* (2019) já destacam a existência de 11 unidades litoestratigráficas e 2 discontinuidades internas que proporcionam a subdivisão da formação em alomembros: O Alomembro Díaz, composto por arenitos de granulação fina a grossa , com estratificação cruzada, alta concentração de material vulcânico acinzentado a esverdeado e presença de

fitofósseis (madeira carbonizada); seguindo em direção ao topo o Alomembro Arañado, geralmente composto por arenitos maciços a laminados paralelos, de granulação média a grossa e argilitos, alta concentração de sedimentos vulcanoclásticos; e no topo o Alomembro Bahía Pingüino, formado por arenitos claros, de granulação fina, com laminação paralela a ondulada cruzada, intercaladas com argilitos com cimento calcário, onde ocorre a presença de fósseis (peixes, dentes de tubarão, equinóides, fragmentos de madeira e folhas).

A idade da Formação Cross Valley-Wiman é difícil de determinar, seus limites superior e inferior são desconformidades, além de poucos fósseis determinantes de idade (Reguero *et al.*, 2013). Assume-se Selandiano a Tanetiano (~ 61,6–56,0 Ma), com a idade inferida para a formação a partir da datação por palinomorfos das formações Sobral (inferior) e La Meseta (superior) (Tosolini *et al.*, 2021, 2023).

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Apresentar e descrever novos morfotipos de folhas fósseis de Samambaias provenientes da Formação Cross Valley-Wiman, Paleoceno Superior da Ilha Seymour, Antártica.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Discutir a taxonomia historicamente utilizada para as folhas fósseis de Samambaias do Paleoceno Superior da Ilha Seymour, Antártica (Formação Cross Valley-Wiman) dadas inconsistências temporais para a nomenclatura;
- Avaliar morfológicamente novos espécimes de folhas de Samambaias, agrupando-as em morfotipos;
- Estabelecer afinidades botânicas dos morfotipos, baseadas na literatura disponível;
- Avaliar a diversidade de morfotipos encontrada;
- Definir o tipo de preservação nas amostras analisadas para assim, inferir condições tafonômicas;

3 REFERENCIAL TEÓRICO

O conjunto de macrofósseis vegetais analisados no presente estudo foi comparado com a literatura disponível para a localidade, a fim de se obter uma visão geral da paleobotânica da Formação Cross Valley-Wiman, da Ilha Seymour.

Em 1908, Dusén foi o primeiro a descrever parte do material fitofossilífero coletado na Expedição Swedish South Polar. Foram registrados e descritos 87 táxons, os quais 50 táxons foram somente ilustrados e 37 táxons foram ilustrados e descritos (Dusen, 1908). Na diversidade de samambaias encontradas, Dusén descreve formalmente apenas 8 espécies (*Polypodium aemulans*, *Polypodium nathorstii*, *Asplenium antarcticum*, *Taeniopteria blechnoides*, *Taeniopteris crispissima*, *Alsophila antarctica*, *Dryopteris seymourensis*, *Dryopteris antarctica*) e as demais foram atribuídas a espécies informais de gêneros já existentes ou a morfogêneros (i.e. *Pecopteris* e *Sphaenopteris*) (Cantrill et al., 2011).

Case (1988) analisa a paleoflora coletada na Ilha Seymour e destaca a flora do Paleoceno da região, que era predominada por samambaias, além de espécimes de *Nothofagus*, *Podocarpus* e um táxon de folhas grandes que não foi identificado. Para as samambaias encontradas, Case descreve três morfótipos com relação à pina: longos e delgados; curtos e robustos; e compostos pinados.

Cantrill et al. (2011) e Tosolini et al. (2013, 2021) analisaram materiais coletados na Formação Cross Valley, descrevendo pteridófitas, gimnospermas e angiospermas, e também revisaram o material descrito por Dusén (1908), justificando a necessidade pelo fato de que as informações do material descrito anteriormente são baseadas em fragmentos únicos, algumas vezes mal preservados, conferindo a gêneros existentes e espécies informais e que nunca ocorreu a reexaminação de todo o material descrito desde o primeiro estudo.

Assim, Tosolini et al. (2013, 2021) revisam as angiospermas determinadas para a formação, resultando em 15 espécies: *Lauriphyllum nordenskjöldii*; *Drimys antarctica*; *Leguminosites* sp.; *Illiciphyllum* sp.; *Atherospermataceae* sp.; *Proteaceae* sp. 1; *Proteaceae* sp. 2; *Myricaceae* sp.; *Nothofagus densinervosa*; *Nothofagus dicksoni*; *Nothofagus subferruginea*; *Nothofagus* sp. 1; *Caldcluvia mirabilis*; *Ficophyllum palustres*; e *Dicotylophyllum latritrilobatum*. Já para as gimnospermas, Cantrill et al. (2011) confirmaram a espécie *Araucaria imponens*, que já havia sido descrita por Dusén (1908), e designaram *Phyllites* (*Phyllites* sp. 4 e *Phyllites* sp. 5)

como a nova espécie *Elatocladus seymourensi*. Em relação às pteridófitas descritas por Dusén (1908), Cantrill *et al.* (2011) promovem uma revisão baseada em variações morfológicas e reatribuem as 8 espécies de Dusén (1908) em 2 gêneros e 3 espécies: o gênero *Cladophlebis*, com as espécies *Cladophlebis aemulans* e *Cladophlebis seymourensis*; e o gênero *Sphenopteris*, com a espécie *Sphenopteris angustiloba*.

A palinologia também já foi analisada com o intuito de se obter uma melhor apuração dos componentes vegetais do ambiente e, mais uma vez, destacar os registros de pteridófitas locais. Deste modo, a partir do Cretáceo Superior os palinómorfs são bem relatados na Ilha Seymour. Cranwell (1959), estudando amostras, provenientes da mesma expedição que coletou o material de Dusén (1908), apresenta grãos de pólen de gimnospermas (principalmente *Podocarpus* e *Araucaria*) e angiospermas (principalmente grupos polínicos de *Nothofagus*); esporos de pteridófitas do tipo das Cyatheaceae (esporos fracamente triletes e verrucosos) e das Schizaeaceae (pequeno esporo raro com estrias reminiscentes), sendo bem preservados e registrados moderadamente; esporos de fungos e fragmentos de algas, cutículas e madeiras. Askin (1990) detalha a rica assembleia de palinómorfs existente na ilha desde o Campaniano Superior até o Paleoceno, que evidencia uma floresta tropical com uma espécie de conífera dominante, *Phyllocladidites mawsonii* além de outros grãos de pólen de gimnospermas e angiospermas (como *Nothofagus*), esporos criptógamos sendo os mais abundantes *Stereisporites* spp. (*Sphagnum*) e *Laevigatosporites* spp. (Filicales), e também a presença de cistos de dinoflagelados marinhos. Ainda aponta o grande potencial bioestratigráfico dos pólenes e esporos para a região Antártica-Subantártica, por possuir limites estratigráficos restritos.

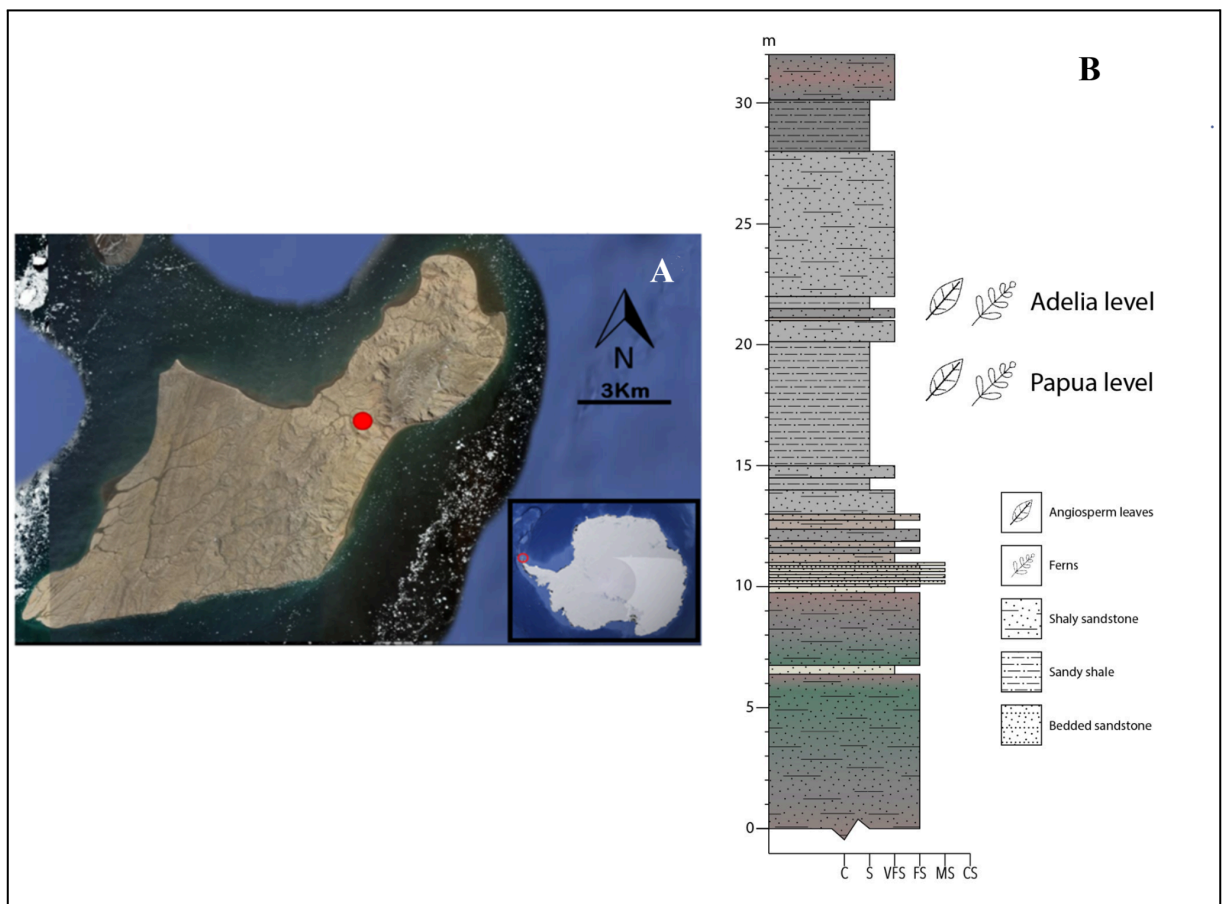
4 MATERIAIS E MÉTODOS

4.1 MATERIAIS

Os 148 espécimes analisados correspondem a frondes fragmentadas de pteridófitas, com pinas e pínulas parcialmente preservadas e são provenientes de uma região conhecida como Bahía Pingüino, na Ilha Seymour, Península Antártica. Os espécimes ocorrem na Formação Cross Valley-Wiman, da sub-bacia James Ross, da Bacia Larsen.

O material foi coletado durante o verão antártico 2019/2020, pela equipe de pesquisadores do projeto FLORANTAR (PROANTAR/CNPq), na OPERANTAR 38. Estão depositados no Museu Nacional, no Rio de Janeiro – RJ, com os números de tombo de 778-957 (Figura 5).

Figura 5 – Ilha Seymour e perfil estratigráfico.



Fonte: A autora (2023). Legenda: (A) Local de coleta dos fitofósseis na Ilha Seymour, Península Antártica. (B) Seção estratigráfica com destaque para os dois níveis do local de coleta do material.

4.2 MÉTODOS

4.2.1. Triagem, catalogação e preparação

Primeiramente foi realizada a triagem e catalogação de todo o material coletado. Alguns espécimes passaram por processos de preparação mecânica, a fim de remover fragmentos de rochas para melhorar a visualização dos caracteres a serem analisados. Os instrumentos utilizados para essa tarefa foram materiais específicos e adaptados, como agulhas e instrumental odontológico, com o objetivo de preservar ao máximo o fitofóssil que estava sendo trabalhado. Posteriormente, foi realizado o registro fotográfico, com câmera digital Nikon D3100.

4.2.2. Observações em estereomicroscópio

As observações foram realizadas em estereomicroscópios, dos modelos Zeiss Discovery V12 e Nikon SMZ800N. A captura, edição de imagens e mensuração das feições morfológicas foram feitas através do software Zen 3.4 blue edition.

A realização destes procedimentos ocorreu no Laboratório de Paleontologia (PALEOLAB) e no Laboratório de Paleobotânica e Evolução Vegetal (LAPEV), ambos do Departamento de Geologia, do Centro de Tecnologia e Geociências (CTG), da Universidade Federal de Pernambuco (UFPE).

4.2.3. Construção dos morfotipos e sistemática

Os caracteres morfológicos foram determinados seguindo a terminologia proposta por Tryon (1960), e complementada por Vasco *et al.* (2013) para o agrupamento em morfotipos e, quando possível, a identificação taxonômica dos grupos. Os principais caracteres analisados foram: presença de esporos; largura e comprimento de pinas e pínulas; arranjo e formato das pínulas; margem; venação.

A sistemática utilizada neste presente trabalho seguiu a padronização proposta em Anderson & Anderson (2008).

4.2.4. Análise de preservação

Para avaliar a preservação, foram observados os espécimes e a rocha onde foram preservados. Assim, alguns caracteres foram selecionados para análise, como a presença de base e ápice das pinas e pínulas, da raque, o grau de desarticulação; o tipo de preservação; e fragmentos de outros fitofósseis nas rochas.

5 ARTIGO – Fern foliage diversity in the Paleocene Cross Valley – Wiman Formation, Seymour Island, Antarctica

ABSTRACT

The Cross Valley-Wiman Formation presents a surprising diversity of plant fossils from the Paleocene of Seymour Island, Antarctica, including several specimens of Pteridophytes. Previous studies grouped these specimens into the species: *Cladophlebis aemulans*, *Cladophlebis seymourensis* and *Sphenopteris angustiloba*, however, based on new materials collected, taxonomic aspects were reevaluated. The present work carried out a taxonomic, diversity and preservation assessment of pteridophyte fossils collected in the Cross Valley-Wiman Formation, by the FLORANTAR project, at OPERANTAR 38 (PROANTAR/CNPq). Screening and preparation work was carried out on 148 specimens submitted to morphological analysis. For this, characters of the vegetative parts were observed, such as: length, width, base and apex of pinnae and pinnules; presence of rachis; arrangement and shape of pinnules; margin; venation; in addition to the degree of disarticulation; type of fossilization and phytofossiliferous association. The material is present in a polytypic concentration and with a high level of fragmentation. However, the specimens present a good degree of preservation, with the majority being preserved in coalified compressions and a small portion preserved in calcium carbonate. 6 different morphotypes were defined: morphotypes 1, 2 and 3 present a morphological pattern of the *Sphenopteris* type, showing similarity with the species *Sphenopteris angustiloba*. Morphotypes 4 and 5 showed a similarity pattern with the rare type for the venation of *Cladophlebis*, in addition, they do not resemble the venation pattern of the species *C. seymourensis*. Morphotype 6 presents a pattern of similarity with the genera *Parsorophyllum* and *Elantodites*, such patterns referring to these genera

have not been described for the Cross Valley-Wiman Formation to date. The problem with these taxa is that they are genera and species commonly used for Mesozoic fossils, and their use is not correct for Cenozoic species. Therefore, a new taxonomic designation is necessary for morphogenera existing in the Paleocene of Seymour Island, Antarctica, grouping them within the order Osmundales.

KEYWORDS: Antarctica; *Sphenopteris*; *Cladophlebis*; Paleocene; Osmundales.

INTRODUCTION

Ferns have been a constant presence on Earth since the diversification of terrestrial plants. Emerging during the Devonian period and gaining prominence in the "Age of Ferns" during the Upper Carboniferous, they have continually demonstrated evolutionary adaptations that enabled them to explore new habitats and radiate across the planet to this day (Taylor *et al.* 2009; Raven *et al.* 2014).

Fossil records of pteridophytes are found worldwide, even in nowadays locals with inhospitable environments like Antarctica. This is because long before the paleogeographic changes that occurred in the Cenozoic and transformed it into a cold continent separating it from South America, Antarctica was an environment with a warmer weather and more favorable to the existence of various plants (Cantrill & Poole 2012). A part of this scenario can be observed in the fossil record present in the Antarctic Peninsula, where the fossil flora has a significant abundance through geological time (Francis *et al.* 2008).

The Paleocene Cross Valley Formation on Seymour Island, situated to the east of the Antarctic Peninsula, stands out for its significant fossil plant diversity. Between 1901 and 1903, the first paleobotanic discovery of the island was made during the Swedish

South Polar Expedition, which was led by Otto Nordenskjöld, the collected phytofossiliferous material was first described Dusén (1908), recording 87 taxa, of which 50 of them were only illustrated and 37 were illustrated and described. In relation to diversity of ferns, only 8 species were formally described, the remaining specimens were assigned to informal species of existing genera or morphogenera (Cantrill *et al.* 2011).

Within the rich diversity of discovered ferns, Dusén (1908) formally described the species: *Polypodium aemulans*, *Polypodium nathorstii*, *Asplenium antarcticum*, *Taeniopteria blechnoides*, *Taeniopteris crispissima*, *Alsophila antarctica*, *Dryopteris seymourensis* and *Dryopteris antarctica*. Additionally, he attributed informal status to others, placing them under existing genera or morphogenera, such as *Pecopteris* and *Sphaenopteris*.

Case (1988) studied the paleoflora of Seymour Island and highlights the Paleocene flora of the region, which was dominated by ferns, in addition to the specimens of *Nothofagus*, *Podocarpus* and a taxon with large leaves which identification was not possible. He described three fern morphotypes based on its pinnae: long and slender; short and stout; and pinnate compound.

Cantrill *et al.* (2011) and Tosolini *et al.* (2013, 2021) studied the Paleocene paleoflora of Seymour Island, reviewing the original material described by Dusén and additional new materials collected from Cross Valley-Wiman Formation, describing pteridophytes, gymnosperms and angiosperms. Cantrill *et al.* (2011) confirmed the presence of the conifer species *Araucaria imponens*, already described by Dusén, and redesignate the material described as *Phyllites* (*Phyllites* sp. 4 and *Phyllites* sp. 5) in the species *Elatocladus seymourensis*. Pteridophytes described by Dusén (1908) also went through revision and were assigned to 2 genera and 3 species:

Cladophlebis, with the species *C. aemulans* and *C. seymourensis*; and the genus *Sphenopteris*, with the species *S. angustiloba*.

The reassessment of the material described by Dusén (1908) also established 15 angiosperm species: *Lauriphyllum nordenskjoeldii*; *Drimys antarctica*; *Leguminosites* sp.; *Illiciphyllum* sp.; Atherospermataceae sp.; Proteaceae sp. 1; Proteaceae sp. 2; Myricaceae sp.; *Nothofagus densinervosa*; *Nothofagus dicksoni*; *Nothofagus subferruginea*; *Nothofagus* sp. 1; *Caldcluvia mirabilis*; *Ficophyllum palustres*; and *Dicotylophyllum latritrilobatum* (Tosolini *et al.* 2013, 2021).

Palynomorphs have also been widely reported on Seymour Island since the Upper Cretaceous. Cranwell (1959) reports that his samples, collected from the same expedition that collected Dusen's material, contain pollen grains from gymnosperms (mainly *Podocarpus* and *Araucaria*) and angiosperms (mainly pollen grains of *Nothofagus*); well preserved spores of pteridophytes of the *Cyatheaceae* type (weakly trilete and verrucous spores) and of *Schizaeaceae* type (rare small spore with striations reminiscent); as well as fungal spores, algae, cuticules and woods. Askin (1990) detailed the rich palynomorph assemblage existing on the island since the Upper Campanian to the Paleocene, which evidences a tropical forest with dominant conifer species *Phyllocladidites mawsonii*, in addition to gymnosperms and angiosperms (such as *Nothofagus*) pollen grains, cryptogamous spores with the most abundant *Stereisporites* spp. (*Sphagnum*) and *Laevigatosporites* spp. (Filicales), and the presence of cysts of marine dinoflagellates. It also points out for the great biostratigraphic potential of the pollen and spores for the Antarctic-Subantarctic region, as it has restricted stratigraphic limits.

GEOLOGICAL SETTING

The Larsen Basin is situated within the Weddell Sea region, east of the Antarctic Peninsula. It originated from tectonic rifting processes, during the Gondwana fragmentation, which also gave rise to deposition of meso-cenozoic sediments (Macdonald *et al.* 1988; Hathway 2000).

The majority of the outcropping rocks in the Larsen Basin are in the northern sub-basin known as the James Ross Basin. This area contains sedimentary megasequences spanning from the Jurassic to the Eocene, categorized into three significant groups: Gustav (Aptian age to Coniacian/Santonian), Marambio (Santonian to Paleocene), and Seymour Island (Paleocene to Eocene) (Elliot 1988; Valle *et al.* 1992; Hathway 2000; Marensi *et al.* 2012; Montes *et al.* 2019). On Seymour Island, the Marambio Group is represented by the López de Bertodano and Sobral formations, while the Seymour Island Group is characterized by the Cross Valley-Wiman (Paleocene) and La Meseta (Paleocene – Eocene) formations (Marensi *et al.* 2002; Marensi *et al.* 2012).

The Cross Valley-Wiman Formation is approximately 1.5 km long and 195 m wide, with a lenticular geometry and interpreted as a coastal environment (estuary, deltaic and shallow marine), with volcanoclastic deposits in an incised valley type (Sadler 1988; Wrenn & Hart 1988; Marensi *et al.* 2012; Pujana *et al.* 2015).

Wrenn and Hart (1988) defined the lithology of the formation as ranging from mudstones to conglomerates. Montes *et al.* (2019) and Marensi *et al.* (2012) already highlight the existence of 11 lithostratigraphic units and 2 internal discontinuities that provide the subdivision of the formation into allomembers: The Díaz Allomember, composed by coarse- to fine-grained sandstones, cross-bedded, with a high concentration of volcanic material and the presence of phytofossils (charcoalified

wood); the Arañado Allomember, generally composed of massive to parallel-laminated, coarse- to medium-grained sandstones and medium-grained mudstones, and with a high concentration of volcanoclastic sediments; and the Bahía Pingüino Allomember, formed by interbedded fine-grained, parallel-laminated to ripple cross-laminated light sandstones, also presenting gray to dark calcareous mudstones, where the presence of fossils occurs (fish, shark teeth, echinoids, fragments of wood and leaves).

The age for the Cross Valley-Wiman Formation is difficult to determine, its upper and lower boundaries are disconformities, in addition, few age-determining fossils were found (Reguero et al. 2013). Is inferred a Selandian to Thanetian age (~61.6–56.0 Ma), based on palynomorphs from Sobral (lower unit) and La Meseta (upper unit) formations (Tosolini *et al.* 2021, 2023).

MATERIAL AND METHODS

The studied material corresponds to 148 ferns fossil leaves, predominantly fragmented, with pinnae and pinnules partially preserved, coming from the Cross Valley-Wiman Formation, Bahía Pingüino Allomember, from Seymour Island, Antarctica. The specimens were collected by the research team of the FLORANTAR project (PROANTAR/CNPq), during the Antarctic summer 2019/2020, at OPERANTAR 38, in two different fossiliferous levels of the studied section.

The specimens were sorted and cataloged, with some of them being submitted to mechanical preparation, in order to remove rock fragments to improve visualization of the characters to be analyzed. The observations were made with a Zeiss Discovery V12 and Nikon SMZ800N stereomicroscopes, and the capture, editing of images and measurement of the morphological features were carried out using Zen 3.4 blue

edition software. Macrophotographs were obtained with a Nikon D3100 digital camera.

For morphotype identification, it was necessary to determine the characters of the morphospecimens, and for this purpose the terminology suggested by Tryon (1960) was used, which proposes a standardization of descriptive terms for fern fronds. The characters were: (1) presence of sporangia; (2) pinna length; (3) pinna width; (4) pinnule length; (5) pinnule width; (6) arrangement of pinnules; (7) shape of pinnules; (8) margin; (9) venation. These characters were analyzed in all individuals, which resulted in the formation of groups with similar characteristics, thus forming morphotypes and their descriptions.

For taphonomic analyses, the general morphological aspect of the specimens as well as the matrix where it was preserved were considered. Therefore, the following characters were observed: (10) pinna base; (11) pinna apex; (12) pinnule base; (13) pinnule apex; (14) presence of rachis; (15) fragments of other phytofossils; (16) degree of disarticulation; (17) type of preservation.

RESULTS

SAMPLING AND DATA QUALITY

Two stratigraphic levels in the Bahia Pinguino Section (Figure 1) were considered for this work, both have a significative quantity of fern phytofossils, occurring loosely-packed in cross-section of dark gray fine sandstones, fern fossils have a darkened appearance and are surrounded by several other fossilized plant fragments. The 148 specimens collected were analyzed and cataloged, with 115 specimens distributed at the Adelia level and 33 at the Papua level.

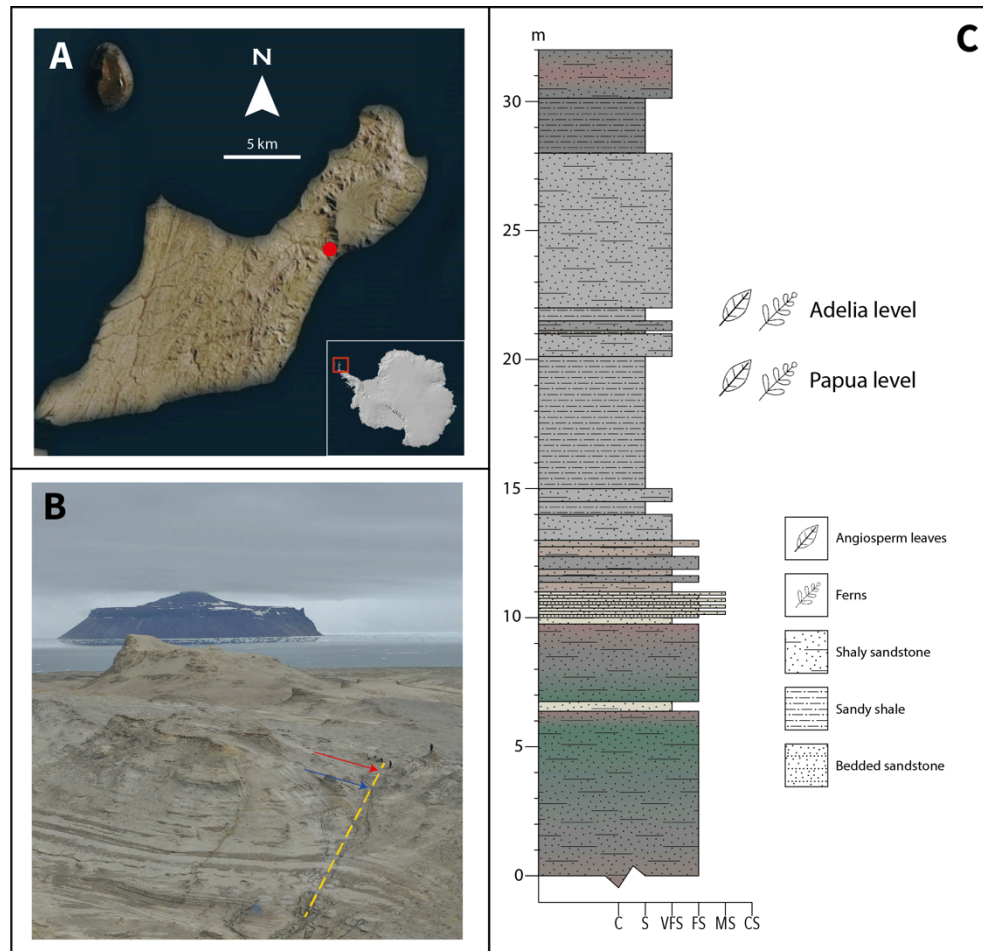


Figure 1. Location of Bahia Pinguino, on Seymour Island and stratigraphic profile with fossil collection points. A) Localization of Seymour Island; B) Bahia Pinguino picture, highlighting the stratigraphic interval studied in this work and an arrow indicating the Papua (blue) and Adelia (red) levels, Cockburn Island in the back; C) stratigraphic profile of Bahia Pinguino, with emphasis on the two stratigraphic levels from where the material was collected.

Specimens from both stratigraphic levels were grouped in morphotypes. These differences are very clear when observing the shape of the pinnules, tertiary segments, shape of the margins and venations. Thus, following the determined morphological characters, after analyzing the variations in each of the specimens, 6 groups were defined: Morphotype 1 is the group that presents the largest quantity,

with 62 specimens; morphotype 2 has 45 specimens; morphotype 3 with 9 specimens; morphotype 4 presents 9 specimens; morphotype 5 contains 19 specimens; and morphotype 6, with 4 specimens (Figure 2).

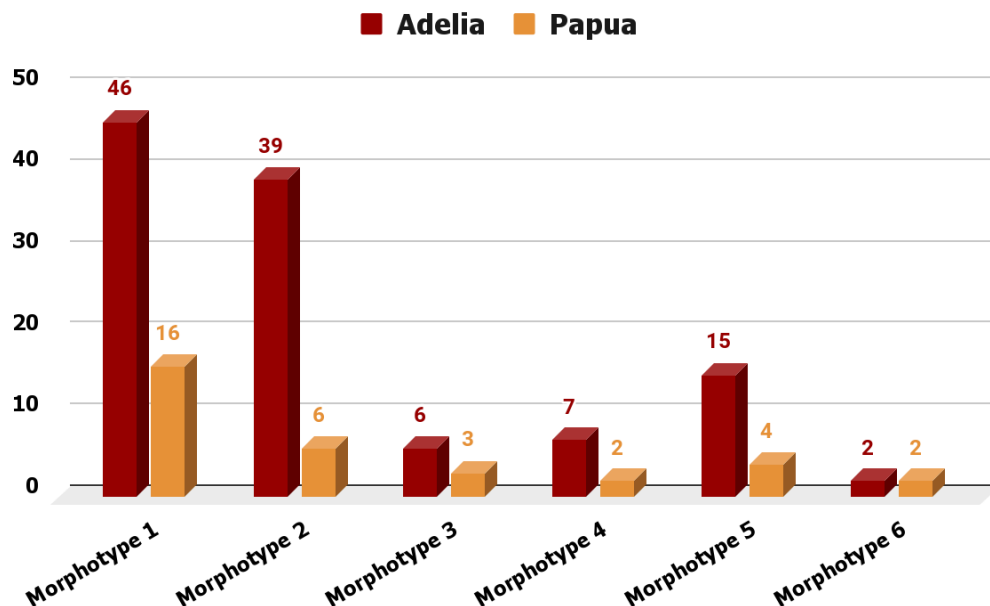


Figure 2. Distribution of morphotypes in the stratigraphic levels of the Cross Valley-Wiman Formation, Seymour Island.

PRESERVATIONAL REMARKS

Following the taphonomic terminology described by Holz & Simões (2002), the material belongs to a polytypic fossiliferous concentration, containing remains of fern leaves, angiosperms and woody fragments. Considering the fragmentary nature of phytofossils, most of the specimens studied here present a high degree of disarticulation, being composed of various fragments of pinnules. Only a few fragments of incomplete pinnae were verified and no complete fronds were recorded. This level of fragmentation can be explained by the association that the fossils present, being of the parautochthonous type, when little transport of the material occurs before the fossilization process (Carvalho, 2010).

Even with a certain level of transport and fragmentation, the specimens present a good degree of preservation, in a portion of the phytofossils, the leaf base and/or apex is lost, but the majority of the leaf blade is preserved, as well as the visualization of veins, generally the primary one and, when possible, the secondary veins or bifurcations are visualized. Rachis can also be observed, in some cases, but without more detailed characters preserved.

It was also possible to identify that the majority of specimens were preserved as coalified compressions with no cuticles preserved (Figure 3). Only few specimens in Papua level showed variation in the type of fossilization, having a whitish surface, showing an external three-dimensional cast. This type of fossilization is authigenic preservation or cementation, where internal structures are lost, but rapid external cementation occurs with iron minerals or carbonates (here being calcium carbonate) preserving external characters (Stewart & Rothwell, 1993).

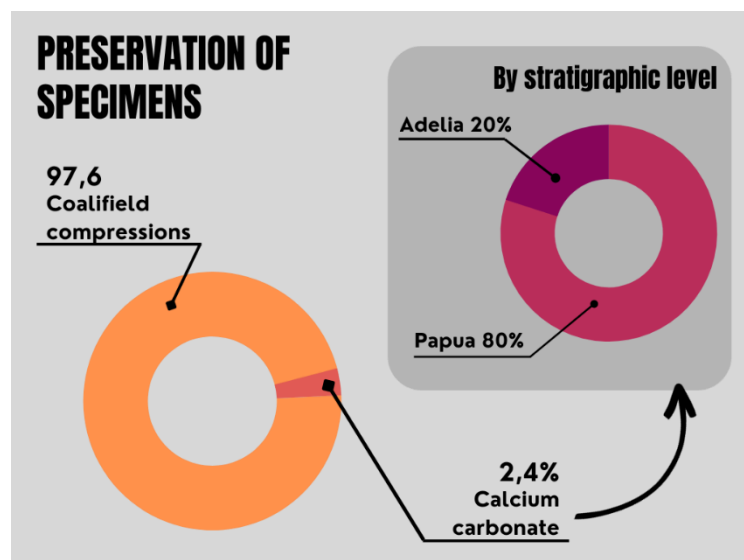


Figure 3. Distribution of specimens by preservation modes and highlights preservation in calcium carbonate by stratigraphic level.

SYSTEMATIC PALEOBOTANY

Division Pteridophyta

Class Polypodiopsida

Order Osmundales Meyen 1987

Family INCERTAE SEDIS

Morphotype 1 (Figure 4A, 4B, 4C)

Material examined: PB 657, 685, 688, 781, 782, 784, 787, 792, 793, 794, 795, 796, 799, 800, 805, 806, 811 (A – 2), 813 (A, B), 1000, 825, 829, 833 (C, F - 2.1, 2.2; H, F - 3.1, 3.2), 835, 838, 842 (1, 2), 846, 855 (A – 1), 859, 862 (2), 865, 868, 870, 874, 878, 880 (A, B), 884 (A,B), 886 (E), 891, 894, 906 (A, B - 1.1, 1.2; C, D - 2.1, 2.2; C, E - 3.1, 3.2), 908, 914, 918 (A, B), 919 (1,2), 920, 921, 922, 936, 937, 968 (2, 3), 939, 940 (1, 2), 941, 942, 945.

Repository: Museu Nacional, Rio de Janeiro, Brazil

Geographic occurrence: Seymour Island, Antarctica

Stratigraphic occurrence: Bahia Pinguino Allomember, Cross Valley – Wiman

Formation, Larsen Basin

Age: Selandian - Thanetian

Description: Frond - sterile, tripinnate. Pinnae - approximately 95.68 mm long and 29.89 mm wide, usually without apex and base preserved. Pinnules - approximately 16.97 mm long and 5.21 mm wide, alternate, lanceolate shape. Margin - repand to entire. Venation - preserved, being bifurcated in the first 3 to 4 sets of lobes and just after that are single veins of medium size. Rarely, a trifurcation may occur in one of the first sets of lobes.

Comparisons and comments: In morphotype 1, it is possible to compare some of its characters with those designated for *Sphenopteris angustiloba*, such as the

similarity in the approximate size of the pinnae, arrangement of the pinnules and the single middle vein venation, presenting a dichotomy. It was also observed that, like the *S. angustiloba* material, the specimens of this morphotype are those with the best preservation and the highest quantity, at both stratigraphic levels, in relation to all the material that was collected. Some characters of morphotype 1 present a highlight relevant to its definition that are not present in the definition of *S. angustiloba*. A standardization of venation is clearly observed, with a slight expansion of the ovate shape of the terminal venations and the dichotomy of the middle veins in the first three to four pairs of lobes, after which they become single middle veins. The margins present a very consistent variation, being slightly wavy basally and in the terminal region they have an entire shape. A character that morphotype 1 diverges from *S. angustiloba* is the non-occurrence of secondary veins.

Morphotype 2 (Figure 4D, 4E)

Material examined: PB 577, 779, 780, 783, 786, 802, 807, 809, 810, 814, 817, 826, 827, 830, 831, 833 (A - 1), 834, 839, 841, 843 (2), 847 (1, 2), 849, 853 (C), 862 (1), 867, 869, 876, 877, 881, 882 (A, B), 887 (1), 889, 895, 896, 901, 904, 905 (A, B), 909, 923 (1), 924, 925, 926, 944, 946.

Repository: Museu Nacional, Rio de Janeiro, Brazil

Geographic occurrence: Seymour Island, Antarctica

Stratigraphic occurrence: Bahia Pinguino Allomember, Cross Valley – Wiman

Formation, Larsen Basin

Age: Selandian - Thanetian

Description: Frond - sterile, at least once pinnated. Pinnules - approximately 16.85 mm long by 9.05 mm wide, alternate, ovate to lanceolate shape. Margin - entire.

Venation - middle vein preserved, secondary veins can be seen in some cases, starting from the middle vein towards the margin forming an acute angle.

Comparisons and comments: This morphotype presents secondary venation with an acute angle towards the margin, different from the type of venation observed in morphotype 1. Cantrill *et al.* (2011) report that there may be the presence of a single middle vein and secondary veins in *Sphenopteris angustiloba* even though the majority of the venation is of the middle vein type with dichotomy. The rhachis can usually be seen, but without preserved characters. Thus, morphotype 2 resembles the terminal portion of the *S. angustiloba* pinna, as Cantrill *et al.* (2011) indicated in their work.

Morphotype 3 (Figure 5A, 5B)

Material examined: PB 788, 789, 803, 822(1), 873, 888, 928 (A, B), 934, 938 (1).

Repository: Museu Nacional, Rio de Janeiro, Brazil

Geographic occurrence: Seymour Island, Antarctica

Stratigraphic occurrence: Bahia Pinguino Allomember, Cross Valley – Wiman

Formation, Larsen Basin

Age: Selandian - Thanetian

Description: Frond - sterile, at least once pinnated. Pinnules - approximately 38.12mm long by 13.81mm wide, alternate, ovate to lanceolate shape. Margin - serrated. Venation - preserved, it is possible to visualize the midrib. Secondary veins, when present, form an acute angle from the point of insertion into the middle vein towards the margin.

Comparisons and comments: The margins are markedly serrated with an acute angle. The rhachis in this morphotype is generally quite evident, but without

preserved characters. Morphotype 3 also shows similarities with the apical portion of the *S. angustiloba* pinna, having the same acute secondary venation presented in morphotype 2, which Cantrill *et al.* (2011) point out that this can occur, as well as a pattern of pinnules reduction towards the apex. The point that may be discordant with the previous morphotypes described is the fact that the type of margin presented here is serrated, but Cantrill *et al.* (2011) do not highlight types of margins the *S. angustiloba* species could present.

Morphotype 4 (Figure 5C, 5D)

Material examined: PB 804, 828, 852, 858, 872 (A, B), 899 (A, B), 915, 932, 933.

Repository: Museu Nacional, Rio de Janeiro, Brazil

Geographic occurrence: Seymour Island, Antarctica

Stratigraphic occurrence: Bahia Pinguino Allomember, Cross Valley – Wiman Formation, Larsen Basin

Age: Selandian - Thanetian

Description: Frond - sterile, at least once pinnated. Pinnules - approximately 22.60 mm long and 13.18 mm wide, alternate, ovate to lanceolate in shape. Margin - undulate. Venation - preserved, with at least the midrib visible. Secondary veins when present, starting from the middle vein towards the margin.

Comparisons and comments: Morphotype 4 presents some characters that approximate the morphology of the terminal pinnae of *Cladophlebis seymourensis*. Cantrill *et al.* (2011) highlights that the final portion of the pinnae may have a lobed margin, as well as the type of margin present in this morphotype that differentiates it in relation to the others presented in this work. This margin appears more prominent towards the apex of the pinnule. The major divergence of this morphotype from the

species *C. seymourensis* is in the type of venation seen. Here the venation is of the single middle vein type with the possibility of secondary venation, but in none of the specimens from this group was the presence of a dichotomy of secondary venation observed, as described by Cantrill *et al.* (2011) for the species.

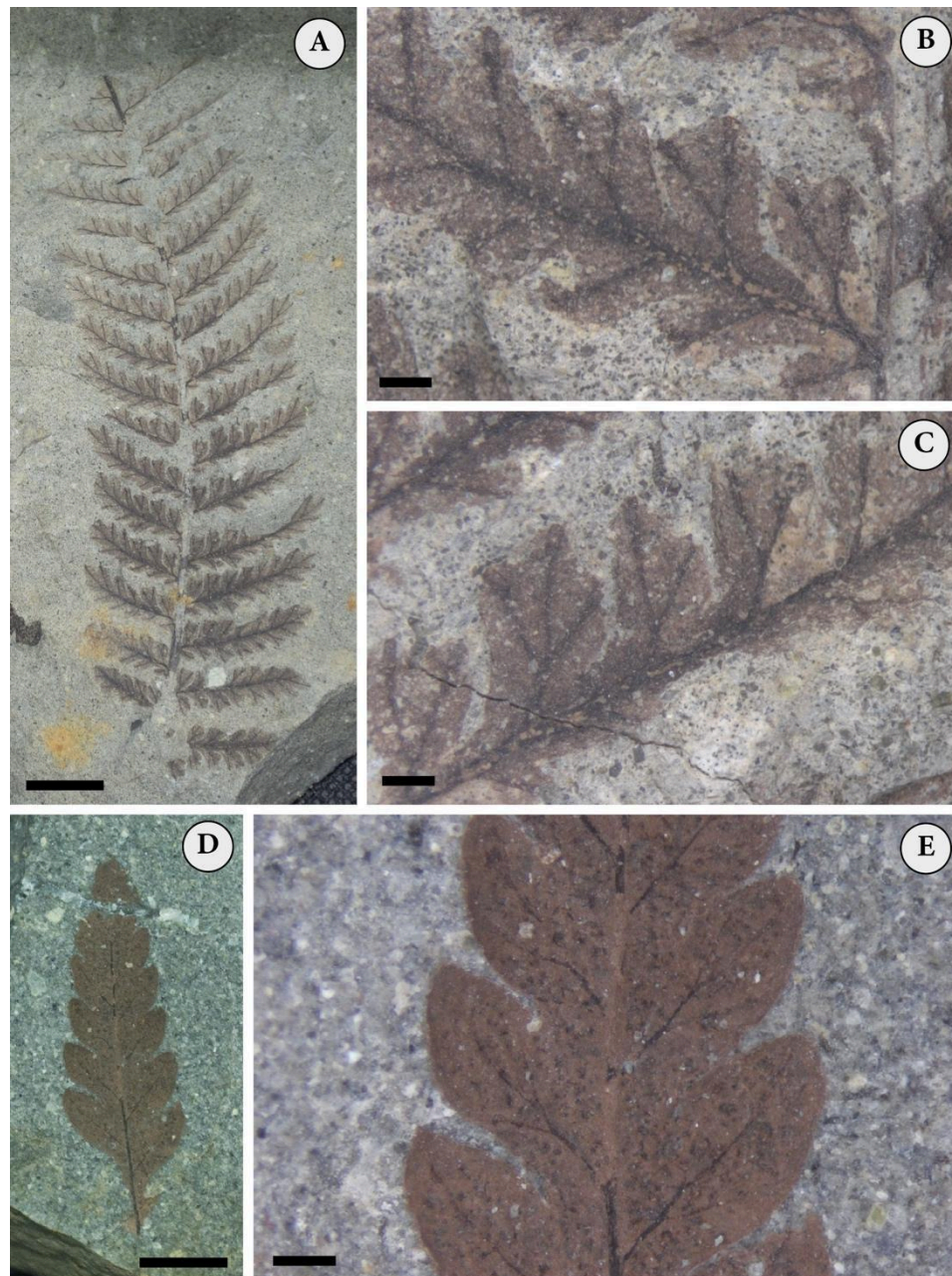


Figure 4. Morphotypes 1 and 2 (PB918, A, B, C; PB853, D, E). A-C), specimen belonging to morphotype 1; A) macroscopic photo of pinna fragment, without preserved apex and base; B-C) detail of the venation in the pinnules, where it is

possible to observe the dichotomy pattern in the first lobes (rare trichotomies may occur) and the circular expansion at the end of each vein; D-E) specimen belonging to morphotype 2, D) macroscopic photo of the terminal portion of a pinna; E) emphasis on venation, with medium and secondary veins. Scale = 1 cm in A; 1 mm in B, C, E; and 5 mm in D.

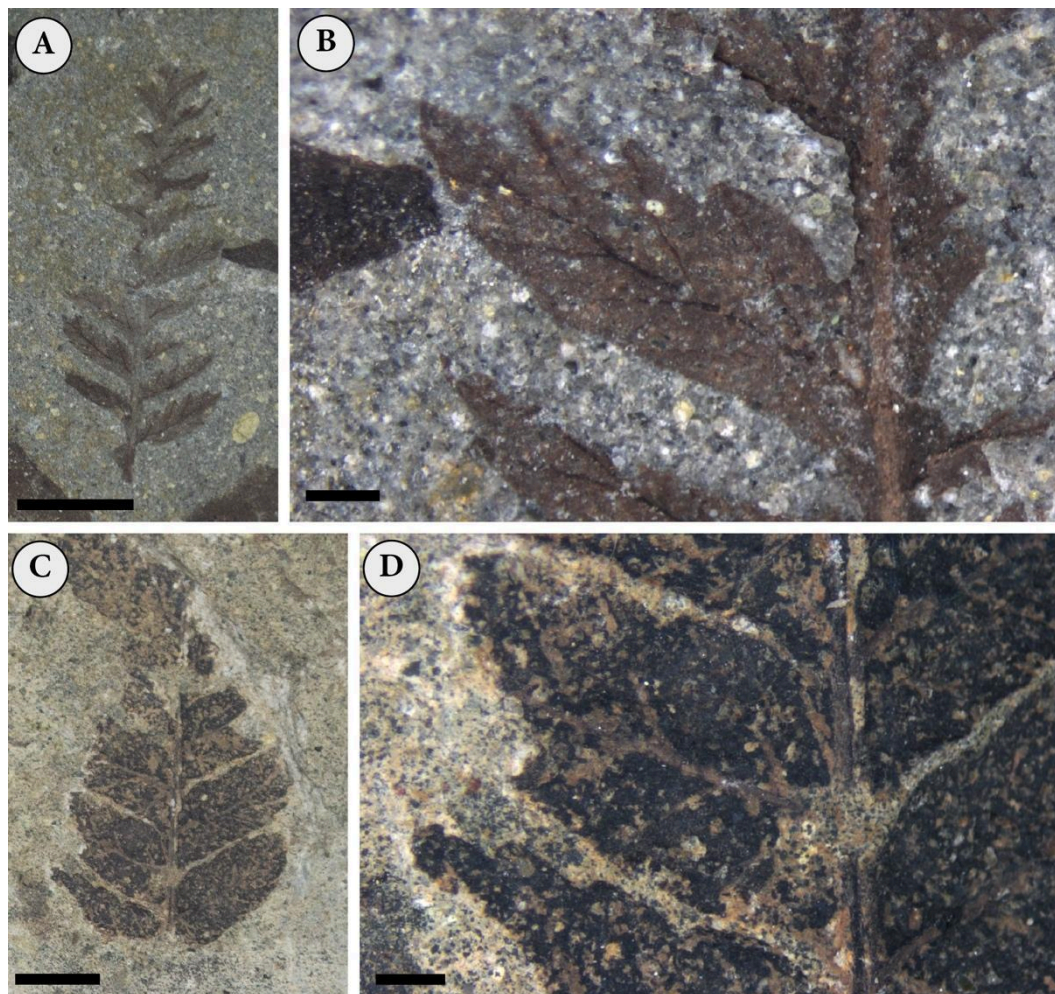


Figure 5. Morphotypes 3 and 4 (PB928, A, B; PB932, C, D). A-B) specimen belonging to morphotype 3; A) macroscopic photo of the apical portion of a pinna; B) emphasis on venation, with medium and secondary veins and serrated margin; C-D) specimen belonging to morphotype 4; C) macroscopic photo of the partially

preserved pinnule; D) detail of the slightly undulate margin and venation, with medium and secondary veins. Scale = 1 cm in A; 0.5 mm in B, D; and 5 mm in C.

Morphotype 5 (Figure 6A, 6B)

Material examined: PB 778, 785, 798, 811 (A - 1), 818, 821, 850, 851, 855 (A, B - 2), 861, 879 (A, B), 903, 910 (2), 911, 913, 927, 929, 930, 931.

Repository: Museu Nacional, Rio de Janeiro, Brazil

Geographic occurrence: Seymour Island, Antarctica

Stratigraphic occurrence: Bahia Pinguino Allomember, Cross Valley – Wiman Formation, Larsen Basin

Age: Selandian - Thanetian

Description: Frond - sterile, at least once pinnated. Pinnules - approximately 30.20 mm long by 20.05 mm wide, alternate, ovate to lanceolate in shape. Margin - entire to serrated. Venation - preserved, with at least the midrib visible. In some specimens, secondary veins can be visualized.

Comparisons and comments: Morphotype 5 also presents similarities with *Cladophlebis seymourensis*, such as the alternation and shape of the pinnules, the variation of the margin between entire and serrated and the projection of the baseoscopic margin below the rachis. However, as with morphotype 4, there is also divergence in the type of venation in relation to this species. The presence of dichotomy of secondary venation, which is pointed out by Cantrill *et al.* (2011) for *C. seymourensis*, does not occur in any of the specimens that belong to morphotype 5. In comparison to the other morphotypes, this is the one with the largest specimens in relation to width and length.

Morphotype 6 (Figure 6C, 6D)

Material examined: PB 811 (B - 3), 819, 943, 947.

Repository: Museu Nacional, Rio de Janeiro, Brazil

Geographic occurrence: Seymour Island, Antarctica

Stratigraphic occurrence: Bahia Pinguino Allomember, Cross Valley – Wiman

Formation, Larsen Basin

Age: Selandian - Thanetian

Description: Frond - sterile, at least once pinnated. Pinnules - approximately 22.64

mm long by 6.70 mm wide, alternate, lanceolate to oval shape. Margin - entire.

Venation - preserved, with a single vein dichotomized three or more times.

Comparisons and comments: Morphotype 6 is one that does not show similarity to any of the three species described by Cantrill *et al.* (2011). With a slightly lanceolate oval shape, venation that forks three or more times and projects towards the base of the side, this morphotype presents characteristics that resemble the pattern of ferns from two Triassic genera, *Parsorophyllum* (Anisian-Carnian) and *Elantodites* (Carnian) (Anderson & Anderson 2008).

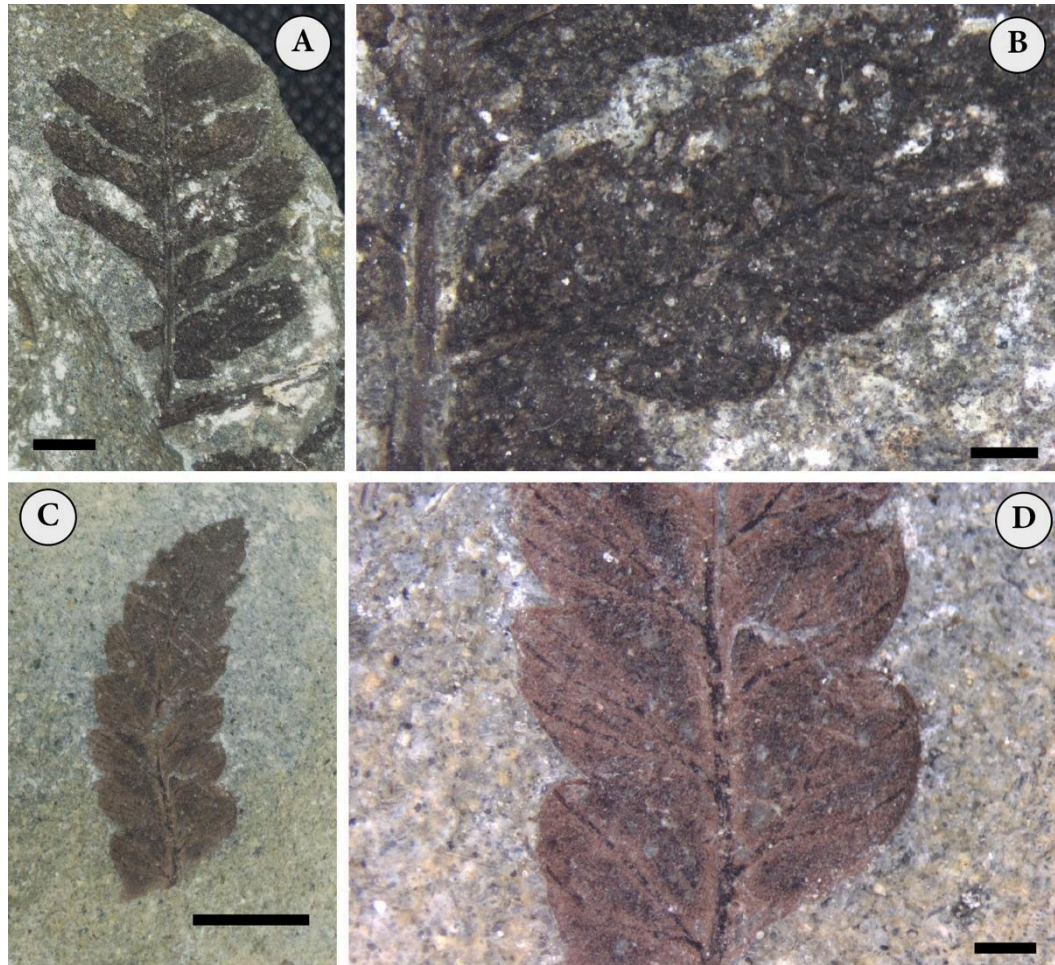


Figure 6. Morphotypes 5 and 6 (PB930, A, B; PB943, C, D). A-B) specimen belonging to morphotype 5; A) macroscopic photo of the basal portion of a pinnule; B) highlighting the serrated margin; C-D), specimen belonging to morphotype 6; C) macroscopic photo of the apical portion of a pinna; D) details of venation, with veins that dichotomize 3 or more times. Scale = 1 cm in A e C; and 0.5 mm in B e D

DISCUSSION

In 1908, Dusén presented for the first time a taxonomic study of the paleoflora of Seymour Island. Describing 37 taxa for ferns, he only presents the formal description for just 8 taxa, these being: *Dryopteris seymourensis*, *Dryopteris antarctica*, *Polypodium aemulans*, *Polypodium nathorstii*, *Taeniopteris blechnoides*, *Taeniopteris crispissima*, *Alsophilia antarctica*, *Asplenium antarcticum*. The description made has

characters exemplified in a very simple way and sometimes presents uncertainties. The other 29 taxa were assigned to morphogenera or informal species of extant genera.

In the subsequent century, Cantrill *et al.* (2011) observed that the species designated by Dusén were determined from very fragmented material, sometimes from single specimens or that the morphological variation existing in a single frond was not considered. For this reason, they reviewed these species based on the original collection studied by Dusén, deposited at the Swedish Museum of Natural History. However, they reported that the collection is incomplete, which resulted in difficulties in evaluating the morphological variation of the morphotypes described in 1908. Therefore, they analyzed other collections: one deposited at the Geological Collections of the British Antarctic Survey; another collected by Imogen Poole in 1998-1999; and the last coming from fieldwork carried out in the first quarter of 2001. After the analysis carried out, the previously described species were reassigned into just 3 new species: *Cladophlebis aemulans*, *Cladophlebis seymourensis*, and *Sphenopteris angustiloba*.

Sphenopteris (Brongn.) Sternberg, 1825 is a genus of the order Osmundales, which has sterile fronds; tripinnatifid to tripinnate; with pinnules that present a varied contraction at the base and variation from entire to shallowly lobed or deeply lobed margins; and venation with a single prominent middle vein and alternating secondary veins, being single or bifurcated (Anderson & Anderson 2008). Morphotypes 1, 2 and 3 present a foliage pattern of the *Sphenopteris* type, with morphotype 1 presenting the basal characters of the pinnules and the type of venation and morphotypes 2 and 3 the apical characters in the terminal pinnules.

When comparing the morphotypes highlighted previously with the species *Sphenopteris angustiloba*, it is possible to observe that there is agreement between the characters highlighted for the species. However, when considering the age of the Cross Valley-Wiman Formation, there is a problem with the gender used.

Sphenopteris is a predominant genus of the Late Paleozoic (Devonian-Permian), being very common in the Carboniferous, and has rare representatives until the Mesozoic (Taylor *et al.* 2009). Therefore, this genus is generally not used for Cenozoic age groups, making it necessary to reclassify it into a genus belonging to this Era.

Cladophlebis (Dunker 1846) Brongn., 1849 is a genus of the order ?Osmundales, which refers to sterile, bipinnate fronds of different sizes; with pinnules sectioned and attached to rhachis; margins entire to slightly lobed or serrated, with the possibility of the base having a basecopic or acroscopic lobed margin; and well-marked single middle vein venation, generally persistent towards the apical region, and secondary venation being single (rare) or with the presence of bifurcation (1, 2 and rarely 3) (Anderson & Anderson 2008).

Morphotypes 4 and 5 present a venation pattern that differs from the standard type of *Cladophlebis*, as they do not necessarily present secondary veins and, when visible, they do not present any bifurcation, a pattern that is rare for the genus. In addition to these characteristics, *Cladophlebis* is a morphogenus that is described as restricted to the Mesozoic (common in the Jurassic), having as equivalent the genus *Pecopteris* in the Paleozoic and the genus *Dryopteris* in the present day (Zimmermann 1969; Anderson & Anderson 2008; Bodor & Barbaka 2008). Thus, this genus could not be used for the age of formation from which the specimens studied here were collected

and the definition given for the species *Cladophlebis seymourensis* differs in one of the important points for determining a fern species, which is venation.

Of all the specimens that were analyzed in this work, those belonging to morphotype 6 do not show similarity with the morphology of any of the species described by Cantrill *et al.* (2011). Its morphology is close to the description of foliage from the genera *Parsorophyllum* and *Elantodites*. These two genera can be described as bipinnate to tripinnate fronds, with acroscopic wing-shaped basal pinnules and the others oval and with venation of the single medium vein type and secondary ones presenting a three-fold dichotomy, where the difference is due to the fact that fronds only sterile fronds are assigned to *Parsorophyllum* and fertile fronds are assigned to *Elantodites* (Anderson & Anderson 2008). The problem with these two genera is that, like *Sphenopteris* and *Cladophlebis*, they are not used for Cenozoic species, making it necessary to determine a Cenozoic genus that presents an equivalence.

CONCLUSIONS

Considering the morphological variation that can exist in a single fern, it is possible that morphotypes 1, 2 and 3 correspond to the same species and, according to all the characteristics analyzed, they point to a correlation with the genus *Sphenopteris*. However, an impasse exists in determining this genus in relation to the Era to which the individual belongs, as *Sphenopteris* is a genus generally determined for ferns of Paleozoic and Mesozoic ages, and is not a genus commonly used for the Cenozoic (Anderson & Anderson 2008). Therefore, it is necessary to relocate this species to a genus of Cenozoic age.

Even with some similar characters, morphotypes 4 and 5 cannot correspond to the species *Cladophlebis seymourensis*. The type of venation is a determining character for the taxonomy of ferns, and this type differs between the two morphotypes analyzed and the species in question. Furthermore, *Cladophlebis* (Brongniart 1849) is a morphogen designated for fossil ferns from the Mesozoic, which have venation of the simple vein type, or double bifurcation, or may even have dichotomously arched veins (Bodor & Barbacka 2008). Therefore, morphotypes 4 and 5 need to be placed in a genus present in the Cenozoic and that corresponds to the characters they present.

Morphotype 6 presents similarities with *Elantodites stuartii*, however, this species is designated for sterile fronds that can prove a connection to a fertile frond. When there is no proof of such a connection, the specimens are assigned to the genus *Parsorophyllum* (Anderson & Anderson 2008). However, the same problem as before occurs again, as this genus is restricted to a short period at the beginning of the Mesozoic (Middle-Upper Triassic), thus presenting the need to determine a Cenozoic genus.

REFERENCES

- Anderson H. M., Anderson J. M. 2008. Molteno ferns: Late Triassic biodiversity in southern Africa. *Strelitzia* 21. South African National Biodiversity Institute. p 259.
- Askin R. A. 1990. Campanian to Paleocene spore and pollen assemblages of Seymour Island. *Review of Palaeobotany and Palynology*. 65: 105–113.

- Bodor E., Barbacka M. 2008. Taxonomic implications of Liassic ferns *Cladophlebis* Brongniart and *Todites* Seward from Hungary. *Palaeoworld*. 17(3-4): 201- 214.
DOI:10.1016/j.palwor.2008.04.001.
- Brongniart A. 1849. Tableau des genres de végétaux fossiles considérés sous le point de vue de leur classification botanique et leur distribution géologique. *Dictionnaire Université Histoire Naturelle* 13: 1-127.
- Cantrill D. J., Poole I. 2012. *The Vegetation of Antarctica Through Geological Time*. Cambridge University Press. p 440.
- Cantrill D. J., Tosolini, A-M. P., Francis J. E. 2011. Paleocene flora from Seymour Island, Antarctica: Revision of Dusén's (1908) pteridophyte and conifer taxa. *Alcheringa: An Australasian Journal of Palaeontology*. 35 (2): 309–328.
- Carvalho I. S. 2010. *Tafonomia: Processos e Ambientes de Fossilização*. *Paleontologia: conceito e métodos*, volume 1. ed 3.
- Case J. A. 1988. Paleogene floras from Seymour Island, Antarctic Peninsula. In: Feldmann R. M., Woodburne M. O., editors. *Geology and Paleontology of Seymour Island, Antarctic Peninsula*. Geological Society of America Memoir. 169: 523–530.
- Cranwell L. M. 1959. Fossil pollen from Seymour Island, Antarctica. *Nature*. 184: 1782–1785.
- Dusén P. 1908. Über Die Tertiäre Flora der Seymour Insel. In: Nordenskjöld, O, editor. *Wissenschaftliche Ergebnisse der Schwedischen Südpolar – Expedition 1901–1903*. *Geologie und Paläontologie*, 3(3): 1 –27.
- Elliot D. H. 1988. Tectonic setting and evolution of the James Ross Basin, Northern Antarctic Peninsula. *Geological Society of America*. 169: 541–555.

- Francis J. E., Ashworth A., Cantrill D. J., Crame J. A., Howe J., Stephens R., Tosolini A.-M., Thorn V. 2008. 100 Million Years of Antarctic Climate Evolution: evidence from fossil plants. In: Cooper A. K., Barrett P., Stagg H., Storey B., Stump E., Wise W., 10th ISAES editorial team, editor. Antarctica: a keystone in a changing world. 1:19-28.
- Hathway B. 2000. Continental rift to back-arc basin: Jurassic-Cretaceous stratigraphical and structural evolution of the Larsen Basin, Antarctic Peninsula. *Journal of the Geological Society of London*. 157: 417-432.
- Holz M., Simões M. G. 2002. Aquisição, descrição e interpretação de dados em tafonomia. *Elementos fundamentais de Tafonomia*. Editora da UFRGS. 91-108.
- Iannuzzi R., Vieira C. E. L. 2005. Plantas fósseis: modos de preservação. *Paleobotânica*. Editora da Universidade Federal do Rio Grande do Sul. 11-26.
- Macdonald D. I. M., Barker P. F., Garrett S. W., Ineson J. R., Pirrie D., Storey B. C., Whitham A. G., Kinghorn R. R. F., Marshall J. E. A. 1988. A preliminary assessment of the hydrocarbon potential of the Larsen Basin, Antarctica. *Marine and Petroleum Geology*. 5(1): 34-53.
- Marenssi S. A., Net L. I., Santillana S. N. 2002. Provenance, environmental and paleogeographic controls on sandstone composition in an incised-valley system: the Eocene La Meseta Formation, Seymour Island, Antarctica. *Sediment. Geol.* 150: 301-321.
- Marenssi S. A., Santillana S. N., Bauer M. 2012. Estratigrafía, petrografía sedimentaria y procedencia de las Formaciones Sobral y Cross Valley (Paleoceno), Isla Marambio (Seymour), Antártica. *Andean Geol.* 39: 67-91.

- Montes M., Beamud E., Nozal F., Santillana S. 2019. Late Maastrichtian-Paleocene chronostratigraphy from Seymour Island, James Ross Basin, Antarctic Peninsula: eustatic controls on sedimentation. *Advances In Polar Science*. 30(3): 303-327.
- Raven P. H., Eichhorn S. E., Evert R. F. 2014. *Biologia Vegetal*. 8ª Edição.
- Reguero M., Goin F., Hospitaleche C. A., Dutra T., Marensi S. 2013. Late Cretaceous/ Paleogene West Antarctica Terrestrial Biota and its Intercontinental Affinities. Springer. DOI 10.1007/978-94-007-5491-1.
- Sadler P. 1988. Geometry and stratification of uppermost Cretaceous and Paleogene units on Seymour Island, northern Antarctic Peninsula. In: Feldmann R. M., Woodburne M. O., editors. *Geology and paleontology of Seymour Island, Antarctic Peninsula*. Memoir of the Geological Society of America. 169: 303–320.
- Sternberg C. V. 1825. Versuch einer geognostischen-botanischen Darstellung der Flora der Vorwelt. 4: 48.
- Stewart W. N., Rothwell G. W. 1993. Plant fossils: preservation, preparation, and age determination. *Paleobotany and the Evolution of Plants*. Cambridge University Press. ed 2:7-23.
- Taylor T. N., Taylor E. L., Krings M. 2009. *Paleobotany: the biology and evolution of fossil plants*. ed 2.
- Tosolini A-M. P., Cantrill D. J., Francis J. E. 2013. Paleocene flora from Seymour Island, Antarctica: Revision of Dusén's (1908) angiosperm taxa. *Alcheringa: An Australasian Journal of Palaeontology*. 37: 366–391. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.revpalbo.2020.104317>.

- Tosolini A-M. P., Cantrill D. J., Francis J. E. 2021. Paleocene high-latitude leaf flora of Antarctica Part 1: entire-margined angiosperms. *Review of Palaeobotany and Palynology*. 285: 1–16. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.revpalbo.2020.104317>.
- Tosolini A-M. P., Cantrill D. J., Korasidis V. A., Francis J. E. 2023. Paleocene high-latitude leaf flora of Antarctica: Part 2 – tooth-margined angiosperms. *Rev. Palaeobot. Palynol.* 314: 1–20. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.revpalbo.2023.104895>.
- Tryon R. M. 1960. A glossary of some terms relating to the fern leaf. *Taxon*. 9: 104–109. DOI: 10.2307/1216244.
- Valle R. A., Elliot D. H., Macdonald D. I. M. 1992. Sedimentary basins on the east flank of the Antarctic Peninsula: proposed nomenclature. *Antarctic Science*. 4(4): 477-478.
- Wrenn J. H., Hart G. F. 1988. Paleogene dinoflagellate cyst biostratigraphy of Seymour Island, Antarctica. In: Feldmann R. M., Woodburne M. O., editors. *Geology and Paleontology of Seymour Island*. Geological Society of America Memoir. v. 169: 321–447.
- Zimmermann W. 1969. About Mesozoic Pteridophylls. *American Journal of Botany*, 56(7): 814–819. DOI: 10.1002/j.1537-2197.1969.tb09731.x.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Ao concluir todas as análises, foi observado que a Formação Cross Valley-Wiman contém fitofósseis que apresentam bom estado de preservação fossilífera. Foram analisados e identificados 148 espécimes, com predominância de preservação como compressões carbonificadas.

Após as análises morfológicas foram identificados 6 morfotipos que foram comparados com as espécies já descritas para a Formação Cross Valley-Wiman (*Cladophlebis aemulans*, *C. seymourensis* e *Sphenopteris angustiloba*). Apenas 3 morfotipos descritos no presente trabalho apresentaram similaridades, quando considerada a variação morfológica existente em uma única samambaia, com a espécie *S. angustiloba*. Os morfotipos 4 e 5 podem apresentar correlação com o gênero *Cladophlebis*, mas não com a espécie *C. seymourensis*, uma vez que a venação dos dois morfotipos descritos aqui não correspondem com a venação descrita para essa espécie. O morfotipo 6 apresenta características que ainda não foram registradas para a Formação Cross Valley-Wiman até agora, podendo ser correlacionado morfológicamente com folhagens do tipo *Parsorophyllum* ou *Elantodites*, mas com nenhuma espécie registrada para essa unidade. Já o padrão da espécie *C. aemulans* não foi reconhecida em nenhum dos indivíduos observados neste trabalho.

A maior problemática encontrada durante o estudo foi com relação a taxonomia das samambaias já descritas para a Formação Cross Valley-Wiman. *Sphenopteris* e *Cladophlebis*, gêneros das espécies descritas para a formação, são comumente determinados para o Mesozoico, sendo raramente utilizados para o Cenozóico. Já os gêneros *Parsorophyllum* e *Elantodites*, que foram correlacionados com a morfologia descrita para o morfotipo 6, são descritos somente no Triássico. Em vista desse fato, se faz necessária a redesignação dos gêneros para equivalentes ou novos, que correspondam corretamente à utilização no Cenozóico, optou-se neste trabalho utilizar táxons artificiais como morfotipos.

REFERÊNCIAS

ANDERSON H. M., Anderson J. M. **Molteno ferns**: Late Triassic biodiversity in southern Africa. *Strelitzia* 21. South African National Biodiversity Institute. p 259. 2008.

ASKIN, R. A. Campanian to Paleocene palynological succession of Seymour Island and adjacent islands, northeastern Antarctic Peninsula. In: FELDMANN, R.M., WOODBURN, M.O. (Eds.), **Geology and Paleontology of Seymour Island, Antarctic Peninsula**. Geological Society of America Memoir Vol. 169, 131–153, 1988.

ASKIN, R. A. Campanian to Paleocene spore and pollen assemblages of Seymour Island. **Review of Palaeobotany and Palynology**, v. 65, p. 105–113, 1990.

CANTRILL, D.J., TOSOLINI, A.-M.P., FRANCIS, J.E., 2011. Paleocene flora from Seymour Island, Antarctica: Revision of Dusén's (1908) pteridophyte and conifer taxa. **Alcheringa**: An Australasian Journal of Palaeontology, Melbourne, v. 35, n. 2, p. 309–328, 2011.

CANTRILL, D.J.; POOLE, I. **The Vegetation of Antarctica Through Geological Time**. Melbourne: Cambridge University Press, 2012.

CARVALHO, I. S. **Paleontologia**: paleovertebrados, paleobotânica, volume 3. 3ª edição. Rio de Janeiro: Interciência, 2011.

CASE, J.A. Paleogene floras from Seymour Island, Antarctic Peninsula. In: FELDMANN, R.M., WOODBURN, M.O. (Eds.), **Geology and Paleontology of Seymour Island, Antarctic Peninsula**. Geological Society of America Memoir, v. 169, p. 523–530, 1988.

CRANWELL, L.M. Fossil pollen from Seymour Island, Antarctica. **Nature**, v. 184, p. 1782–1785, 1959.

DUSÉN, P. Über Die Tertiäre Flora der Seymour Insel. In: Nordenskjöld, O. (Ed.). **Wissenschaftliche Ergebnisse der Schwedischen Südpolar – Expedition 1901–1903**. p. 1–27. 1908.

ELLIOT, D.H. Tectonic setting and evolution of the James Ross Basin, Northern Antarctic Peninsula. **Geological Society of America**, v. 169, p. 541–555, 1988.

ELLIS, B.; DALY, D.C.; HICKEY, L.J.; JOHNSON, K.R.; MITCHELL, J.D.; WILF, P.; WING, S.L. **Manual of leaf architecture**. Cornell University Press, Ithaca. 2009

FRANCIS, J. E. *et al.* 100 Million Years of Antarctic Climate Evolution: evidence from fossil plants. In: COOPER, Alan K. *et al* (ed.). **Antarctica**: a keystone in a changing world. Washington: The National Academies Press, Cap. 3. p. 19-28. 2008.

HATHWAY, B. Continental rift to back–arc basin: Jurassic–Cretaceous stratigraphical and structural evolution of the Larsen Basin, Antarctic Peninsula. **Journal of the Geological Society of London**, v. 157, p. 417–432, 2000.

IANNUZZI, R.; VIEIRA, C. E. L. **Paleobotânica**. 1ª edição. Porto Alegre: Editora da UFRGS, 2005.

MACDONALD, D.I.M. *et al.* A preliminary assessment of the hydrocarbon potential of the Larsen Basin, Antarctica. **Marine and Petroleum Geology**, v. 5, n. 1, p. 34–53, fev. 1988.

MARENSSI, S.A.; NET, L.I.; SANTILLANA, S.N. Provenance, environmental and paleogeographic controls on sandstone composition in an incised-valley system: the Eocene La Meseta Formation, Seymour Island, Antarctica. **Sediment. Geol.**, v. 150, p. 301–321, 2002.

MARENSSI, S.A.; SANTILLANA, S.N.; BAUER, M. Estratigrafía, petrografía sedimentaria y procedencia de las Formaciones Sobral y Cross Valley (Paleoceno), Isla Marambio (Seymour), Antártica. **Andean Geol.**, v. 39, p. 67–91, 2012

MIRABELLI S. L.; PUJANA R. R.; MARENSSI S. A.; SANTILLANA S. N. Conifer Fossil Woods from the Sobral Formation (Lower Paleocene, Western Antarctica). **Ameghiniana**, v. 55, n.1, p. 91–108, 2018. DOI:10.5710/AMGH.27.07.2017.3095

MONTES, Manuel *et al.* Late Maastrichtian-Paleocene chronostratigraphy from Seymour Island, James Ross Basin, Antarctic Peninsula: eustatic controls on sedimentation. **Advances In Polar Science**, v. 30, n. 3, p. 303–327, set. 2019.

PUJANA, R. R.; SANTILLANA S. N.; MARENSSI S. A. Conifer fossil woods from the La Meseta Formation (Eocene of Western Antarctica): Evidence of Podocarpaceae-dominated forests. **Review of Palaeobotany and Palynology**, v. 200, pp122–137, 2014. DOI:10.1016/j.revpalbo.2013.09.001

PUJANA, R.R., MARENSSI, S.A., SANTILLANA, S.N. Fossil woods from the Cross Valley Formation (Paleocene of Western Antarctica): Araucariaceae-dominated forests. **Review of Palaeobotany and Palynology**, v. 222, p. 56–66, 2015.

RAVEN, P.H.; EICHHORN, S.E.; EVERT, R.F. **Biologia Vegetal**. 8ª Edição. Guanabara Koogan, 867p, 2014.

REGUERO, Marcelo *et al.* **Late Cretaceous/ Paleogene West Antarctica Terrestrial Biota and its Intercontinental Affinities**. New York: Springer, 2013.

SADLER, P. Geometry and stratification of uppermost Cretaceous and Paleogene units on Seymour Island, northern Antarctic Peninsula. In: Feldmann, R.M., Woodburne, M.O. (Eds.). **Geology and paleontology of Seymour Island, Antarctic Peninsula**. Memoir of the Geological Society of America, v. 169, p. 303–320, 1988.

SCHULTE, Peter, *et al.* The Chicxulub Asteroid Impact and Mass Extinction at the Cretaceous-Paleogene Boundary. **Science**, v. 327, n. 5970, p. 1214–18, 2010.

SPICER, R.A. Reconstructing High-Latitude Cretaceous Vegetation and Climate: arctic and antarctic compared. In: TAYLOR, Thomas N.; TAYLOR, Edith L. (ed.). **Antarctic Paleobiology**: its role in the reconstruction of gondwana. New York: Springer-Verlag, Cap. 3. p. 27-36, 1990.

TAYLOR, T.N.; TAYLOR, E.L.; KRINGS, M. **Paleobotany**: the biology and evolution of fossil plants. 2a edição. Boston: Academic Press, Elsevier, 2009.

TOSOLINI, A.-M.P.; CANTRILL, D.J.; FRANCIS, J.E. Paleocene flora from Seymour Island, Antarctica: Revision of Dusén's (1908) angiosperm taxa. **Alcheringa**: An Australasian Journal of Palaeontology, Melbourne, v. 37, p. 366–391, 2013.

TOSOLINI, A.-M.P.; CANTRILL, D.J., FRANCIS, J.E. Paleocene high-latitude leaf flora of Antarctica Part 1: entire-margined angiosperms. **Review of Palaeobotany and Palynology**, v. 285, fev. 2021. DOI: 10.1016/j.revpalbo.2020.104317.

TOSOLINI A-M. P., CANTRILL D. J., KORASIDIS V. A., FRANCIS J. E. Paleocene high-latitude leaf flora of Antarctica: Part 2 – tooth-margined angiosperms. **Rev. Palaeobot. Palynol.** v. 314, p. 1–20. 2023. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.revpalbo.2023.104895>.

TRYON, R.M. A glossary of some terms relating to the fern leaf. **International Association for Plant Taxonomy (IAPT)**, v. 9, n. 4, pp. 104–109, 1960.

VALLE, R.A. del; ELLLOT, D.H.; MACDONALD, D.I.M. Sedimentary basins on the east flank of the Antarctic Peninsula: proposed nomenclature. **Antarctic Science**, v. 4, n. 4, p. 477-478, dez. 1992.

VASCO, A; MORAN, R.C.; AMBROSE, B.A. The evolution, morphology, and development of fern leaves. **Front. Plant Sci**, v. 4, n. 345, 2013.

WILLIS, K.; MCELWAIN, J. **The Evolution of Plants**. 2. ed. United Kingdom: Oup Oxford, 2014.

WRENN, J. H.; HART, G. F. Paleogene dinoflagellate cyst biostratigraphy of Seymour Island, Antarctica. In: Feldmann, R.M., Woodburne, M.O. (Eds.). **Geology and paleontology of Seymour Island, Antarctic Peninsula**. Memoir of the Geological Society of America, v. 169, 1988.