

**LENHOS FÓSSEIS DO CRETÁCIO DA ILHA JAMES ROSS, PENÍNSULA
ANTÁRTICA: modos de preservação e identificação**

Luciana Witovisk Gussella

Tese de Doutorado
Luciana Witovisk Gussella

V. 1

PPGL
IGEO
UFRJ

2012



UFRJ

**LENHOS FÓSSEIS DO CRETÁCEO DA ILHA JAMES ROSS, PENÍNSULA
ANTÁRTICA: modos de preservação e identificação**

Luciana Witovisk Gussella

Tese de Doutorado submetida ao Programa de Pós-graduação em Geologia, Instituto de Geociências, da Universidade Federal do Rio de Janeiro – UFRJ, como requisito necessário à obtenção do grau de Doutor em Ciências (Geologia).

Orientadores:

Prof. Dr. Marcelo de Araujo Carvalho

Prof^a. Dr^a Rita Scheel-Ybert

Rio de Janeiro
Março de 2012

**LENHOS FÓSSEIS DO CRETÁCEO DA ILHA JAMES ROSS, PENÍNSULA
ANTÁRTICA: modos de preservação e identificação**

Luciana Witovisk Gussella

Orientadores: Prof. Dr. Marcelo de Araujo Carvalho e Prof^a Dr^a Rita Scheel-Ybert

Tese de Doutorado submetida ao Programa de Pós-graduação em Geologia, Instituto de Geociências, da Universidade Federal do Rio de Janeiro - UFRJ, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Doutor em Ciências (Geologia).

Aprovada por:

Presidente: Prof. Dr. Ismar de Souza Carvalho, IGEO/UFRJ

Prof. Dr. Renato Rodriguez Cabral Ramos, MN/UFRJ

Prof. Dr. Leonardo Fonseca Borghi de Almeida, IGEO/UFRJ

Dr^a Joalice de Oliveira Mendonça, LAFO/UFRJ

Dr^a Norma Maria da Costa Cruz, CPRM

Rio de Janeiro
Março de 2012

Witovisk Gussella, Luciana, 1980-

Lenhos fósseis do Cretáceo da Ilha James Ross, Península Antártica: modos de preservação e identificação / Luciana Witovisk Gussella. – 2012. 156 pp.

Orientadores: Marcelo de Araujo Carvalho / Rita Scheel-Ybert.

Trabalho de conclusão de curso (Doutorado), Universidade Federal do Rio de Janeiro, Instituto de Geociências, Curso de Pós-graduação em Geologia, 2012.

1. Paleobotânica. 2. Madeira fóssil. 3. Antártica.

I. Carvalho, Marcelo de Araujo / Scheel-Ybert, Rita.

II. Universidade Federal do Rio de Janeiro. Curso de Pós-graduação em Geologia. III. Lenhos fósseis do Cretáceo da Ilha James Ross, Península Antártica: modos de preservação e identificação.

Dedico a meus pais,
Dino Gussella Filho e Vera Lucia Witovisk Gussella,
pelo amor incondicional e luta de uma vida.

E a meu companheiro, John Vaz,
por todo amor, apoio e incentivo.

AGRADECIMENTOS

Agradeço ao Prof. Dr. Marcelo de Araujo Carvalho, pela confiança, compreensão, apoio incondicional em todos esses anos e orientação exemplar.

Ao Prof. Dr. Renato Rodriguez Cabral Ramos pela incansável ajuda na compreensão da Geologia da Península Antártica, confiança e apoio, um excelente “co-orientador informal”.

Com vocês dois aprendi muito sobre como manter o profissionalismo, a responsabilidade, sem deixar de lado a alegria, a amizade sincera, o respeito e a preocupação humana com todas as pessoas que nos cercam. Ambos merecem toda a minha gratidão, admiração e respeito.

Ao Prof. Dr. João Graciano Mendonça Filho, por permitir a utilização das dependências e equipamentos do Laboratório de Palinofácies e Fácies Orgânica (LAFO, UFRJ) para as análises. Agradeço também a cordialidade e a ajuda na compreensão das possibilidades sobre as medidas de reflectância.

A Dr^a Joalice de Oliveira Mendonça pela inestimável ajuda com o método, que salvou este trabalho do completo fracasso. Agradeço também a paciência e boa vontade para a realização das medidas de reflectância.

A Prof^a. Dr^a Elisabeth Zucolotto pela cordialidade e orientação paciente com as fotos macro e empréstimo do equipamento.

Ao Prof. Dr. Gregório Ceccantini com quem aprendi toda a base do método científico, anatomia da madeira e a ter respeito pelo material. Fundamentos sólidos sem os quais jamais teria conseguido realizar este trabalho. Serei sempre grata.

Ao técnico Thiago Barbosa (LAFO, UFRJ) por me ensinar a fazer os blocos de resina e a ter paciência chinesa para polí-los.

Ao técnico Emeraldó (MN, UFRJ) pela confecção das lâminas petrográficas e amizade.

A Gina Faraco Bianchini pela amizade-irmã, por ser ouvinte incansável das minhas rumações paleobotânicas, pelo apoio incondicional, discussões científico-filosóficas e inestimável ajuda para a conclusão deste trabalho.

A Lucas Balsini pela prontidão em ouvir e ajudar, sempre em momentos nos quais minhas dúvidas geológicas extrapolavam o meu limite de paciência.

A Márcio Kern pela paciência e ajuda-salvadora com o mundo dos carvões.

A Rodrigo Vinagre e André Ribeiro pela ajuda com a identificação dos minerais.

A Taísa Souza pela ajuda com a bibliografia. Adriana Costa, Ana Maria Yoshitake, Mariana Beauclair e Marina Milanello que contribuíram na conferência da tese.

A Christina Barreto Pinto pela eterna paciência em me atender e amizade.

Agradeço às amigas, companheiras de disciplinas e rotina de laboratório: Viviane Trindade, Monika Crud Maciel e Fabiane Feder.

Aos colegas do LAPAV (DGP/ MN-UFRJ) que deixaram mais alegre este período.

Agradeço à CAPES a bolsa concedida.

Só podemos alcançar um grande êxito quando nos mantemos fiéis a nós mesmos.

(Friedrich Nietzsche)

RESUMO

LENHOS FÓSSEIS DO CRETÁCEO DA ILHA JAMES ROSS, PENÍNSULA ANTÁRTICA: modos de preservação e identificação

Luciana Witovisk Gussella

Orientadores: Marcelo de Araujo Carvalho e Rita Scheel-Ybert

Resumo da Tese de Doutorado submetida ao Programa de Pós-graduação em Geologia, Instituto de Geociências, da Universidade Federal do Rio de Janeiro – UFRJ, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Doutor em Ciências (Geologia).

A Península Antártica apresenta as mais espessas sucessões sedimentares do Cretáceo do Hemisfério Sul. Na Ilha James Ross, os afloramentos são ricos em fósseis vegetais e analisá-los pode contribuir na compreensão da evolução florística, ambiental e climática do Gondwana. Além disso, contribuir para o conhecimento do processo de evolução das plantas, já que a Antártica foi uma importante localidade para intercâmbio florístico, pois fazia a conexão entre a Nova Zelândia, Nova Caledônia, Austrália, Índia, América do Sul e África. Este estudo analisa fósseis lenhosos centimétricos, pretos, buscando respostas sobre os processos tafonômicos envolvidos em sua formação e identificação botânica. Descobriu-se que os fósseis, apesar da aparente semelhança, são preservados por processos distintos: permineralização, petrificação, carbonificação e carbonização, seguida ou não de permineralização; para analisá-los utilizou-se o bloco polido e observação sob luz refletida com imersão, em luz branca e ultravioleta, que demonstrou ser eficaz para lenhos com fossilizações distintas e uma ferramenta importante para a Paleobotânica. Ainda, foi produzida uma chave dicotômica para a identificação dos modos de preservação em campo, o que poderá favorecer a melhoria das coletas dos fósseis e as análises tafonômicas, bem como contribuir na compreensão dos ambientes deposicionais. Além disso, os fósseis indicam que a Ilha James Ross apresentava uma flora composta por Gimnospermas e, em menor frequência, Angiospermas lenhosas, compatíveis com as palefloras cretáceas do Hemisfério Sul. Os fósseis descritos e identificados foram: Agathoxylon sp. (Araucariaceae), Cupressinoxylon parenchymatosum e Taxodioxylon sp. (Cupressaceae), Phyllocladoxylon antarcticum e Podocarpoxylon sp. (Podocarpaceae), Paraphyllantoxylon sp. (Lauraceae) e Weinmannioxylon sp. (Cunoniaceae).

Palavras-chave: Paleobotânica, Antártica, madeira fóssil, modos de preservação, Gimnospermas, Angiospermas.

ABSTRACT**WOOD FOSSILS FROM THE CRETACEOUS OF JAMES ROSS ISLAND,
ANTARCTIC PENÍNSULA: ways of preservation and identification.**

Luciana Witovisk Gussella

Orientadores: Marcelo de Araujo Carvalho e Rita Scheel-Ybert

Abstract da Tese de Doutorado submetida ao Programa de Pós-graduação em Geologia, Instituto de Geociências, da Universidade Federal do Rio de Janeiro – UFRJ, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Doutor em Ciências (Geologia).

The Antarctic Peninsula shows the thickest Cretaceous sedimentary succession of the Southern Hemisphere. The outcrops of James Ross Island are rich in plant fossils and analyzing them can help us to understand the floristic evolution, environment and climate of Gondwana. In addition, can contribute to the knowledge of the plants evolution, since Antarctica was an important locality for floristic exchanges, because it was the terrestrial connection between New Zealand, New Caledonia, Australia, India, South America and Africa. This study analyzes small blackened wood fossils, looking for answers about taphonomic processes and botanical identifications. It was found that the fossils, despite the apparent similarity, are preserved by different processes: permineralization, petrification, coalification and charcoalification, followed or not by the permineralization; the analysis are made with polished blocks under oil and fluorescent mode, which proved to be effective for wood fossils and it is an important tool for Paleobotany. Still, is presented here, a dichotomous key to identify the ways of preservation in field, which may facilitate the improvement of the fossils collections and taphonomic analyses, as well as contribute to the understanding of depositional environments. Moreover, the fossils indicate that James Ross Island had a paleoflora composed of Gymnosperms and less frequently, woody Angiosperms, consistent with the Southern Hemisphere paleofloras from the Cretaceous. The fossils described and identified here are: Agathoxylon sp. (Araucariaceae), Cupressinoxylon parenchymatosum and Taxodioxylon sp. (Cupressaceae), Phyllocladoxylon antarcticum and Podocarpoxyylon sp. (Podocarpaceae), Paraphyllantoxylon sp. (Lauraceae) and Weinmannioxylon sp. (Cunoniaceae).

Key-Words: Paleobotany, Antarctic, fossil wood, fossilization, Gymnosperms, Angiosperms.

SUMÁRIO

AGRADECIMENTOS	iv
RESUMO	vi
<i>ABSTRACT</i>	vii
LISTA DE FIGURAS	viii
LISTA DE TABELAS	xi
1 INTRODUÇÃO	1
1.1 Os estudos de fósseis lenhosos da Península Antártica	6
1.2 Objetivos	14
1.3 Localização e Contexto Geológico	14
1.4 Revisão de Conceitos	27
1.4.1 Anatomia da Madeira	27
1.4.2 Tafonomia - Modos de Preservação da Madeira	35
2 MATERIAL E MÉTODOS	49
2.1 Material	49
2.3 Métodos	51
2.3.1 Análise Macroscópica	51
2.3.2 Análises Microscópicas	52
2.3.3 Análise Estatística	55
3 RESULTADOS	56
3.1 Análise Macroscópica	56
3.2 Análises Microscópicas	59
3.2.1 Microscopia de luz refletida sem óleo de imersão	59
3.2.1.1 Gimnospermas	61
3.2.1.2 Angiosperma	63
3.2.2 Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV)	64
3.2.3 Microscopia de luz branca transmitida – lâminas petrográficas	65
3.2.4 Microscopia de luz branca transmitida - película de esmalte de unha	67
3.2.5 Microscopia de luz refletida com óleo de imersão e luz UV	67

3.2.5.1 Gimnospermas	69
3.2.5.2 Angiospermas	71
3.2.5.3 Medidas de reflectância	72
3.3 Tafonomia - Modos de Preservação	74
3.3.1 Chave dicotômica	86
3.3.2 Frequências e ocorrências	88
3.4 Taxonomia	89
3.4.1 Gimnospermas	89
3.4.2 Angiospermas	115
4 DISCUSSÃO	126
5 CONCLUSÕES	143
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	146

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Mapa parcial da Península Antártica, norte da Ilha James Ross e os pontos de coleta.....	15
Figura 2 – Formação Whisky Bay, perfil estratigráfico nº 1.....	16
Figura 3 – Formação Whisky Bay, perfil estratigráfico nº 1 (Continuação).....	17
Figura 4 – Formação Whisky Bay, perfil estratigráfico nº 2.....	18
Figura 5 – Formação Hidden Lake, perfil estratigráfico nº 1.....	19
Figura 6 – Formação Hidden Lake, perfil estratigráfico nº 2.....	20
Figura 7 – Formação Santa Marta, perfil estratigráfico Membro Lachman Crag.....	21
Figura 8 – Formação Santa Marta, perfil estratigráfico Membro Lachman Crag (Continuação).....	22
Figura 9 – Modelo ideal para a formação da Península Antártica e Mapa parcial da Península Antártica, regiões de ante-arco e retro-arco.....	23
Figura 10 – Evolução dos ambientes de sedimentação ao longo do tempo.....	26
Figura 11 – Desenho esquemático da célula do xilema secundário e organização das paredes celulares.....	27
Figura 12 – Desenho esquemático de um tronco, indicando a localização de seus tecidos e os planos da madeira: transversal, tangencial e radial.....	28
Figura 13 – Características anatômicas que devem ser observadas no plano transversal.....	31
Figura 14 – Características anatômicas que devem ser observadas no plano tangencial.....	32
Figura 15 – Características anatômicas que devem ser observadas no plano radial.....	33
Figura 16 – Desenho esquemático dos tipos de pontoações das paredes radiais das traqueídes em lenhos gimnospermas.....	34
Figura 17 – Desenho esquemático dos tipos de pontoações de campos de cruzamento em lenhos gimnospermas.....	35
Figura 18 – Modos de preservação da madeira.....	37
Figura 19 – Evolução da turfa ao antracito.....	41
Figura 20 – Diagrama indicando o <i>rank</i> do carvão e os valores de reflectância da vitrinita para cada estágio.....	45
Figura 21 – Gráfico a partir de carvões experimentais, mostrando o aumento da reflectância diretamente relacionado ao aumento da temperatura.....	48
Figura 22 – Fósseis nos afloramentos.....	49

Figura 23 – Ilustração da adaptação à técnica de MENDONÇA-FILHO <i>et al.</i> (2010).....	54
Figura 24 – Gráficos das frequências das características macroscópicas observadas em 170 fósseis.....	58
Figura 25 – Gráfico das frequências das amostras e suas condições de preservação.....	60
Figura 26 – Lenho gimnospérmico e angiospérmico sob microscopia de luz refletida sem óleo de imersão.....	60
Figura 27 – Lenho gimnospérmico: Anéis de crescimento sob microscopia de luz refletida sem óleo de imersão.....	61
Figura 28 – Lenho gimnospérmico: Parênquima axial sob microscopia de luz refletida sem óleo de imersão.....	62
Figura 29 – Lenho gimnospérmico: Pontoações nas paredes radiais das traqueídes sob microscopia de luz refletida sem óleo de imersão.....	62
Figura 30 – Lenho gimnospérmico: Raios, plano tangencial sob microscopia de luz refletida sem óleo de imersão.....	63
Figura 31 – Lenho gimnospérmico: Raios, plano radial sob microscopia de luz refletida sem óleo de imersão.....	63
Figura 32 – Lenho angiospérmico Amostra 500 Pbe C sob microscopia de luz refletida sem óleo de imersão.....	64
Figura 33 – Amostra 480 Pbe B sob microscopia eletrônica de varredura.....	65
Figura 34 – Minerais – Lâminas petrográficas.....	66
Figura 35 – Película de esmalte.....	67
Figura 36 – Fósseis sob microscopia refletida com óleo de imersão e luz branca/ultravioleta.....	68
Figura 37 – Características anatômicas de lenhos gimnospérmicos sob microscopia refletida com óleo de imersão e luz ultravioleta.....	70
Figura 38 – Angiospermas sob microscopia de luz refletida com óleo de imersão e luz branca/ultravioleta.....	71
Figura 39 – Características anatômicas de lenhos angiospérmicos sob microscopia de luz refletida com óleo de imersão e luz branca/ultravioleta.....	72
Figura 40 – Medidas de reflectância da vitrinita.....	73
Figura 41 – Tipo 1: Fusênio rígido.....	75
Figura 42 – Tipo 2: Fusênio rígido.....	76
Figura 43 – Tipo 3: Madeira permineralizada.....	77
Figura 44 – Tipo 4: Vitrênio.....	78

Figura 45 – Tipo 5: Madeira petrificada.....	80
Figura 46 – Tipo 6: Fusênio leve.....	82
Figura 47 – Tipo 7: Fusênio rígido.....	83
Figura 48 – Tipo 8: Madeira permineralizada e petrificada.....	84
Figura 49 – Dendrograma dos modos de preservação.....	86
Figura 50 – Gráfico das frequências dos tipos de preservação.....	89
Figura 51 – <i>Agathoxylon</i> sp.....	91
Figura 52 – <i>Cupressinoxylon parenchymatosum</i>	95
Figura 53 – <i>Taxodioxylon</i> sp.1.....	99
Figura 54 – <i>Taxodioxylon</i> sp.2.....	102
Figura 55 – <i>Phyllocladoxylon antarcticum</i>	104
Figura 56 – <i>Podocarpoxyton</i> sp.1.....	107
Figura 57 – <i>Podocarpoxyton</i> sp.2.....	110
Figura 58 – <i>Paraphyllanthoxylon</i> sp.....	117
Figura 59 – <i>Weinmannioxylon</i> sp.....	120
Figura 60 – Angiosperma <i>Incertae sedis</i>	125
Figura 61 – Modos e processos de preservação observados neste estudo.....	140

1 INTRODUÇÃO

Os eventos tectônicos são os maiores responsáveis por processos de mudanças climáticas durante o passado geológico. Têm-se aumento de temperatura e maior disponibilidade hídrica com a maior concentração de gás carbônico atmosférico proveniente de atividade vulcânica, assim como há queda de temperatura com a abertura de oceanos e mudanças de correntes marítimas. Também são os responsáveis pelo isolamento ou reunião de massas continentais. Assim, pode-se afirmar que são um dos maiores responsáveis pela especiação e padrão de distribuição dos organismos. (KENRICK & CRANE, 1997).

Os seres vivos mais sensíveis às mudanças ambientais são as plantas e preservam, em sua morfologia e anatomia, a história do local no qual viveram. Esse fato as transforma numa importante fonte de dados sobre o clima, principalmente para regiões de altas latitudes, que são as mais suscetíveis às mudanças (FRANCIS *et al.*, 2006). É possível acessar dados como temperatura, pluviosidade e concentração de gás carbônico atmosférico através da própria composição florística de um bioma e de medidas das células dos órgãos vegetais (WHEELER & BAAS, 1993; CHALONER & McELWAIN, 1997; WIEMANN *et al.*, 2001).

Os primeiros modelos de reconstruções paleoclimáticas baseavam-se exclusivamente em dados físicos e demonstram fragilidade quando se tratam das regiões polares, pois os modelos não são corroborados pelos dados paleobotânicos (REES & CLEAL, 2004). Um exemplo é o modelo climático para o Permiano da Antártica, no qual os dados físicos apontam para um clima glacial (temperaturas seriam de -30 a -40°C), que possibilitaria o desenvolvimento de tundra. Porém, a ocorrência de *Glossopteris*, o grande porte dos troncos fósseis e os dados de anéis de crescimento indicam que durante este período as temperaturas eram raramente baixas (TAYLOR *et al.*, 1992, POOLE *et al.* 2005). Além disso, as concentrações de gás carbônico atmosférico excediam em oito vezes os valores atuais (FRANCIS *et al.*, 2006). A partir de fatos como esse, os modelos passaram a ser compostos por dados físicos e biológicos combinados, trazendo à Paleobotânica uma nova gama de análises e possibilidades (POOLE *et al.*, 2005, TAYLOR *et al.*, 2009).

Neste contexto de aperfeiçoamento de modelos paleoclimáticos e desenvolvimento de modelos para estimar as condições para o futuro climático da Terra, o Cretáceo é um período-chave, pois caracteriza-se por apresentar elevados níveis de gás carbônico atmosférico (AXELROD, 1984), clima quente, com um amplo gradiente latitudinal de temperatura e os pólos moderadamente quentes (HALLAM, 1985; FRAKES, 1979). Sendo assim, neste

período as florestas cresciam em altas latitudes (82°N e 75°S), dentro dos círculos polares (FRANCIS & FRAKES, 1993; SPICER *et al.*, 1992 e 2002; FALCON-LANG, *et al.*, 2001). Essas florestas estavam muito bem adaptadas ao regime de luz polar, caracterizado por invernos escuros e verões luminosos (READ & FRANCIS, 1992) e aos elevados níveis de gás carbônico atmosférico (NORDT *et al.*, 2002), condições inexistentes no presente, sendo um bioma completamente extinto (SPICER & CHAPMAN, 1990).

Embora a descoberta das florestas polares seja uma das mais importantes para a paleontologia no século XIX (POOLE *et al.*, 2003), o interesse pelo estudo dessas floras renasceu durante a década de 1980 (CÉSARI *et al.*, 2001; FALCON-LANG *et al.*, 2001). As pesquisas concentraram-se inicialmente no Hemisfério Norte (Sibéria, Spitzbergen (Noruega) e Alasca), mas nas últimas três décadas intensificaram-se na América do Sul, Nova Zelândia, Austrália e Antártica (NISHIDA *et al.*, 1989; CRAME, 1992; DUTRA & BATTEN, 2000).

Como resultado deste esforço, tem-se que a história geológica do Gondwana marcou o estabelecimento dos atuais padrões de distribuição, fortemente disjuntos, dos grupos vegetais no Hemisfério Sul. A Antártica demonstra que foi uma importante região de intercâmbio florístico entre leste e oeste do supercontinente ao longo do tempo, pois unia-se a leste ao que é hoje a Nova Zelândia, Austrália e Nova Caledônia, e a oeste à África e América do Sul (POOLE & CANTRILL, 2001).

O Gondwana passou por uma transição climática de *icehouse* a *greenhouse* desde o Permiano ao Triássico (TAYLOR & RYBERG, 2007). O surgimento e a composição florística das florestas do supercontinente são o reflexo dos eventos geológicos e climáticos. Assim, com o aquecimento contínuo desde o Permiano, surgiram as florestas polares na região da Antártica (TAYLOR *et al.*, 1992). Durante o Jurássico, estabeleceram-se formações vegetacionais dominadas por Gimnospermas e Pteridófitas. No Cretáceo, do Aptiano ao Albiano, as Gimnospermas continuaram dominantes, com populações de Araucariaceae, Podocarpaceae e menores concentrações de Cupressaceae e Taxodiaceae, típicas de florestas temperadas austrais (CANTRILL & POOLE, 2005). Porém, no Albiano tardio houve o ápice do efeito *greenhouse* (CRAME, 1992), o que favoreceu a diversificação das plantas e o surgimento de um novo grupo, a partir do Cenomaniano até o Turoniano: as primeiras Angiospermas, as plantas com flores. A origem deste grupo deu-se pela diferenciação das

Magnoliídeas e Monocotiledôneas, seguidas pela diferenciação das Eudicotiledôneas¹ durante o Albiano e Cenomiano (ANDERSON *et al.*, 1999).

Em um ambiente extremamente favorável, entre o Coniaciano ao Santoniano, as Angiospermas dominaram a flora, com 75% de representatividade e alta diversidade, incluindo famílias de floras tropicais como Gunneraceae, Monimiaceae e Sterculiaceae (POOLE *et al.*, 2001, POOLE *et al.*, 2003, CANTRILL & POOLE, 2005). Este surgimento e radiação explosiva das Angiospermas é um dos maiores quebra-cabeças na evolução das plantas com sementes (DOYLE & DONOGHUE, 1993).

No Santoniano, a temperatura das águas oceânicas chegava a 13,6°C, durante o Campaniano esta média caiu para 11,7°C e para 9°C no Maastrichtiano tardio (CRAME, 1992). Com este resfriamento houve a extinção de muitas famílias e o surgimento e consolidação das Nothofagaceae, Angiospermas típicas de florestas temperadas do Hemisfério Sul (CANTRILL & POOLE, 2005; ASHWORTH & CANTRILL, 2004). Ao final do Cretáceo, o clima era ameno e úmido, com temperaturas médias de 8 – 15°C, sem ocorrência de geadas. Mas este resfriamento contínuo global durante o Terciário foi o responsável pela extinção progressiva da vegetação (FRANCIS & POOLE, 2002, FRANCIS *et al.*, 2008). Os últimos registros de florestas estão preservados em sedimentos glaciais na região das Montanhas Transantárticas e datam do Neógeno (12 Ma) (FRANCIS & HILL, 1996; ASHWORTH & CANTRILL, 2004).

Esta história evolutiva permanece preservada nos sedimentos da Antártica, principalmente na região da Península Antártica, que é considerada uma importante localidade fossilífera. Nela há, provavelmente, a mais completa seqüência de rochas do Cretáceo no Hemisfério Sul, sendo que os sedimentos vindos do norte da Península têm uma rica assembléia de fósseis vegetais bem preservados (POOLE & CANTRILL, 2001).

Apesar da importância do estudo das florestas da Antártica, ainda são escassos os trabalhos que enfocam esses biomas (POOLE *et al.*, 2000). A reconstituição da paleoflora está baseada principalmente no estudo dos registros de polens, folhas, flores e madeira

¹ O termo Dicotiledônea deve ser abandonado, pois não se trata de um clado fortemente suportado em análises filogenéticas atuais. Em seu lugar, deve-se usar o termo Eudicotiledônea, que engloba 75% das Angiospermas e é fortemente suportado por dados moleculares e por uma única sinapomorfia morfológica: pólen triaperturado (SOLTIS & SOLTIS, 2004).

permineralizada preservadas na Península Antártica e na região das Montanhas Transantárticas (TAYLOR & RYBERG, 2007).

Os estudos baseados em caracteres anatômicos de madeira fóssil permitem compreender a diversidade florística, as relações ecológicas (CANTRILL & POOLE, 2005), as variações nas condições físicas ambientais (WHEELER & BASS, 1993; FALCON-LANG & CANTRILL, 2001), sendo uma importante ferramenta na reconstrução de paleoambientes e paleoclimas (CHALONER & McELWAIN, 1997; WIEMANN *et al.*, 2001), uma vez que é a melhor fonte de dados paleoclimáticos que resiste através do tempo geológico (POOLE & VAN BERGEN, 2006). Além disso, a análise dos caracteres anatômicos é a ferramenta primordial para a compreensão da evolução das plantas e de sua distribuição geográfica (CARLQUIST, 1985).

A madeira fóssil também é uma importante fonte de dados para a compreensão da geologia local, e de detalhamento dos ambientes deposicionais, uma vez que pode ser preservada por condições bastante variáveis². A análise tafonômica dos fósseis traz dados importantes neste sentido (JEFFERSON, 1987).

Em Paleobotânica, os estudos de lenhos fósseis concentram-se em sua maioria na análise de lenhos permineralizados e petrificados (TAYLOR *et al.* 2009). Já os lenhos convertidos em carvão³, tanto por carbonização quanto por carbonificação, são menos explorados (SCOTT & DAMBLON, 2010). Os restos carbonizados ou carbonificados não incluem apenas madeira, compõem-se tanto de estruturas vegetativas quanto reprodutivas, inclusive de vegetais herbáceos e são uma importante fonte de informações, assim como a madeira permineralizada (STACH *et al.*, 1975; FRANCIS & COFFIN, 1992; SCOTT, 2009; EKLUND *et al.* 2004).

Os estágios dos processos formadores de carvão originam tipos de carvões diferentes. Cada tipo de carvão pode ser analisado por grupos de pesquisadores com formações, metodologias e objetivos distintos. Isso ocorre na prática e, infelizmente, os grupos de pesquisa isolam-se de acordo com suas afinidades metodológicas. O resultado é uma grande gama de terminologias ainda não padronizadas e esforços repetidos de pesquisa em grupos distintos. No entanto, a atual recomendação aos pesquisadores de carvões é que interajam e

² Em contexto paleontológico, a madeira preserva-se por permineralização, petrificação, carbonização e carbonificação. Os processos são abordados na página 35.

³ Material vegetal que tenha sua composição química convertida em carbono é carvão (HUNT, 1995).

cooperem entre si, para a diminuição dos problemas terminológicos e metodológicos desta área, visando avanços e evitando repetições das pesquisas (SCOTT & DAMBLON, 2010).

Tradicionalmente, os depósitos de carvões originados por carbonificação, *coal* em inglês, são amplamente estudados em uma área denominada Petrologia do Carvão, onde são abordados todos os seus aspectos físicos e químicos, todos os processos biogeoquímicos geradores de carvão, petróleo e gás (STACH, 1975).

Os estudos dos componentes florísticos destes carvões (*coal*) remontam em grande parte a história da evolução das plantas sobre a Terra. Uma síntese deste histórico foi realizada por TEICHMÜLLER & TEICHMÜLLER (1975):

“O carvão mais antigo data do Pré Cambriano, Huroniano de Michigan (EUA), trata-se de um antracito composto por algas e fungos. A partir do Devoniano inicial, as Psilophyta dominavam os pântanos e deixaram uma fina camada de carvão, por exemplo, na Alemanha. As plantas se espalharam sobre a Terra entre o Devoniano médio e final e deram origem a espessas camadas de carvão (p. ex.: Rússia e Ilha Bear, Noruega). O Carbonífero tardio é conhecido como “o Período do carvão betuminoso”, devido aos registros bastante espessos, espalhados pelo mundo, das florestas luxuriantes que habitavam os pântanos, cuja flora era dominada pelos Lepidodendron e Sigillaria, que alcançavam mais de 30 metros de altura, e, entre elas, as Calamites. A partir do Permiano os carvões apresentam componentes de Gimnospermas e Cordaites. Durante o Mesozóico, entre o Jurássico e o Cretáceo inicial, as floras pantanosas eram dominadas pelas ginkgoáceas, cicadáceas e coníferas. Durante o Cretáceo médio e tardio houve a explosão das angiospermas e deixaram seu registro nos carvões da América do Norte, Austrália, Europa e Japão. As floras pantanosas do Mesozóico (especialmente Terciário) são muito mais diversificadas e especializadas, quando comparadas às do Carbonífero e deixaram depósitos espessos em vários tipos de fácies⁴.”

Os carvões originados pela queima, *charcoal* em inglês, ocorrem tipicamente como registros de paleoincêndios, porém também podem ocorrer como pequenas frações nos registros carbonificados (TAYLOR *et al.*, 2009). Os estudos baseados neste tipo de carvão se proliferam ao longo do Paleozóico, principalmente a partir do Devoniano médio, (GLASSPOOL *et al.*, 2004). No entanto, a partir do Permiano o cenário muda, os trabalhos sobre fósseis carbonizados tornam-se mais raros no mundo, pois o material é frequentemente

⁴ Fácies. é o aspecto, o conjunto de todas as características de uma unidade de rocha, que reflete as condições de sua origem (TAYLOR *et al.*, 2009).

degradado na sua origem no fogo (JONES *et al.*, 2002). Um exemplo brasileiro é o trabalho de JASPER *et al.* (2011) que analisam pequenos carvões do Permiano inicial, provenientes das camadas de carvões (*coal*) da Bacia do Paraná. Para o Mesozóico, os estudos paleobotânicos são escassos. Destacam-se os trabalhos de SÜSS E SCHULTKA (2001), que fizeram a descrição anatômica de madeiras carbonizadas do Jurássico da Tanzânia; as flores do Cretáceo descritas por TIFFNEY (1977) e FRIIS & SKARBY (1981).

1.1 Os estudos de fósseis lenhosos da Península Antártica

Dentre os estudos de fósseis lenhosos, os formados por permineralização e petrificação são os mais frequentes em Paleobotânica (TAYLOR *et al.*, 2009). Para a paleoflora lenhosa da Antártica o primeiro estudo é o de GOTHAN (1908 *apud* NISHIDA *et al.*, 1989), que descreve lenhos petrificados, datados do Cretáceo, de *Dadoxylon pseudoparenchymatosum*, *Laurinoxylon uniseriatum*, *Laurinoxylon* sp., *Nothofagoxylon scalariforme*, *Phyllocladoxylon antarcticum* e *Podocarpoxylon aparenchymatosum*, coletados na Ilha Seymour durante a Expedição Antártica Sueca, entre 1901 e 1903 (NISHIDA *et al.*, 1989).

Após mais de 70 anos, o segundo trabalho abordando a identificação de fósseis permineralizados para o Cretáceo da Península Antártica é o de TORRES *et al.* (1982), que analisa lenhos provenientes da Ilha Livingston.

A partir da década de 1980, aumentou o número de trabalhos baseados em lenhos fósseis para o Cretáceo da Península Antártica, embora ainda sejam escassos, contabilizam 36 publicações (Tabela 1). A maioria é descritiva e trata exclusivamente de taxonomia, sendo importantes para o conhecimento da flora. A relação de todos os fósseis lenhosos descritos para o Cretáceo da Península Antártica está apresentada na Tabela 2. No total são 12 gêneros de Angiospermas Eudicotiledôneas descritos na literatura (*Antarctoxylon*, *Atherospermoxylon*, *Eucryphiaceoxylon*, *Hedycaryoxylon*, *Illicioxylon*, *Laurelites*, *Myrceugenelloxylon*, *Nothofagoxylon*, *Sahnioxylon*, *Sassafrasoxylon*, *Weinmannioxylon*, *Winteroxylon*) e 13 gêneros de Gimnospermas (*Agathoxylon*, *Araucaria*, *Araucariopitys*, *Araucarioxylon*, *Brachyoxylon*, *Cetricycas*, *Circoporoxylon*, *Cupressinoxylon*, *Phyllocladoxylon*, *Podocarpoxylon*, *Protocircoporoxylon*, *Protopodocarpoxylon*, *Taxodioxylon*).

Nestes 32 anos de intensificação das pesquisas na Península Antártica, muitos dados foram coletados, além dos necessários à identificação dos fósseis e há alguns trabalhos que

discutem dados tafonômicos (JEFFERSON, 1982 e 1987), paleoecológicos (PHILIPPE *et al.*, 1993; FALCON-LANG & CANTRILL, 2001 e 2002; CANTRILL & POOLE, 2005; POOLE & CANTRILL, 2006), paleoambientais (FRANCIS, 1986; PHILIPPE *et al.*, 1995; POOLE, 2000; FALCON-LANG *et al.*, 2001; FRANCIS & POOLE, 2002), paleoclimatológicos (JEFFERSON, 1982; FRANCIS, 1986; FRANCIS & POOLE, 2002; POOLE *et al.*, 2005) e paleobiogeográficos (PHILIPPE *et al.*, 1999; PANTI *et al.*, 2012) (Tabela 1).

Para a Ilha James Ross, no entanto, há apenas sete estudos: OTTONE & MEDINA (1998), POOLE & FRANCIS (1999), CANTRILL (2000), POOLE & FRANCIS (2000), POOLE *et al.* (2000a), POOLE *et al.* (2000b), POOLE *et al.* (2000c), todos de abordagem exclusivamente taxonômica e descrevem a ocorrência dos lenhos: *Agathoxylon* sp., *Cetricycas antarcticus* Cantrill, *Illicioxylon antarcticum* Poole, Gottwald et Francis, *Illicioxylon tenuiradiatum* Poole, Gottwald et Francis, *Laurelites jamesrossii* Poole et Francis, *Sassafrasoxylon gottwaldii* Poole, Richter et Francis, *Weinmannioxylon nordenskjoeldii* Poole, Cantrill, Hayes et Francis, *Winteroxylon jamesrossii* Poole et Francis (Tabela 2). Comparando-se com os estudos realizados em toda a Península (Tabela 2), a ocorrência de apenas uma conífera (*Agathoxylon* sp.) e uma cicadácea (*Cetricycas antarcticus*) entre as gimnospermas, revela a situação dramática da carência de estudos abordando as assembleias fósseis da Ilha James Ross.

Os estudos que analisam fósseis lenhosos carbonizados ou carbonificados para o Cretáceo da Península Antártica são mais raros ainda, há apenas os trabalhos de FALCON-LANG & CANTRILL (2001, 2002) que descrevem poucas amostras de *Araucariopitys* sp., *Podocarpoxyylon* sp., e *Sahnioxylon* sp., para o Aptiano médio da Ilha Livingston e para o Aptiano das Ilhas Shetland do Sul. E o trabalho de EKLUND *et al.* (2004), onde os autores descrevem dois mesofósseis⁵ de *Phyllocladoxylon* sp. e *Podocarpoxyylon* sp. para o Santoniano de Table Nunatak. Há ainda, o estudo de FRANCIS & COFFIN (1992) que analisa numerosos fósseis pequenos carbonizados e carbonificados do Albiano da Bacia Ragatt, localizada no Oceano Índico há 1000 km da Antártica, sob a perspectiva taxonômica e paleoambiental, as autoras identificaram os fósseis apenas como *Podocarpoxyylon* sp., pela má preservação das características. Não há publicações que analisem os fósseis formados por carbonização ou carbonificação para o Cretáceo da Ilha James Ross.

⁵ Mesofósseis: fósseis vegetais de tamanho intermediário que requerem análise microscópica (dimensões variam entre 0,25 mm a alguns milímetros). Exemplos: megásporos, pequenas sementes, flores (TAYLOR et al. 2009).

Este estudo insere-se neste contexto. Trata da análise de fragmentos de lenhos fósseis enegrecidos externamente, coletados como “carvões”, durante o verão austral de 2006-2007, na região norte da Ilha James Ross, como parte da expedição coordenada por Alexander Kellner e Marcelo de Araujo Carvalho, inserida no projeto “Prospecção de fósseis do Cretáceo da Bacia de James Ross, Antártica Oriental” (PROANTAR-CNPq).

Este é o primeiro estudo brasileiro abordando estes fragmentos de lenhos fósseis e também é o primeiro para a Ilha James Ross.

Tabela 1 – Estudos paleobotânicos realizados a partir da década de 1980, com base em análise de fósseis lenhosos para a paleoflora antártica do Cretáceo. Indicando os autores, localidade, idade, modo de preservação da madeira e abordagem dos trabalhos. Legenda: P.: Península, I.: Ilha, Perm.: permineralização, Carboniz.: carbonização, Carbonif.: carbonificação, Petr.: petrificação.

Autores (Ano)	Localidade	Período - Idade	Preservação	Abordagem
CANTRILL & POOLE (2005)	P. Antártica	Cretáceo a Terciário	Perm.	Paleoecológica
CANTRILL (2000)	I. James Ross	Cretáceo - Coniaciano a Campaniano	Perm.	Taxonômica
CESARI <i>et al.</i> (2001)	I. Vega	Cretáceo - Maastrichtiano	Perm.	Taxonômica
CHAPMAN & SMELLIE (1992)	I. Livingston	Cretáceo – Cenomaniano a Campaniano	Perm.	Taxonômica
EKLUND <i>et al.</i> (2004)	Table Nunatak – P. Antártica	Cretáceo - Santoniano	Carboniz.	taxonômica
FALCON-LANG & CANTRILL (2000)	I. Alexander	Cretáceo - Albiano tardio	Perm.	Taxonômica, dados quantitativos
FALCON-LANG & CANTRILL (2001)	I. Livingston	Cretáceo - Aptiano médio	Perm.; carboniz. e perm.	Taxonômica
FALCON-LANG & CANTRILL (2002)	I.s Shetland do Sul	Cretáceo - Aptiano	Perm., carboniz.	Paleoecológica
FALCON-LANG <i>et al.</i> (2001)	I. Alexander	Cretáceo – Albiano tardio	Perm.	Paleoecológica, paleoambiental (anéis de crescimento)
FRANCIS & COFFIN (1992)	Bacia Ragatt	Cretáceo - Albiano	Carboniz., carbonif.	Taxonômica – paleoambiental
FRANCIS & POOLE (2002)	P. Antártica	Cretáceo a Terciário	Perm.	Paleoambiental - Paleoclimática
FRANCIS (1986)	P. Antártica	Cretáceo a Terciário	Perm.	Paleoambiental - Paleoclimática
JEFFERSON (1982)	I. Alexander	Cretáceo – Albiano a Aptiano	Perm., Petr.	Paleoclimática (anéis), tafonômica
JEFFERSON (1987)	I. Alexander	Cretáceo – Albiano a Aptiano	Perm., Petr.	Tafonômica
NISHIDA <i>et al.</i> (1989)	Antártica	Cretáceo	Perm.	Taxonômica
PANTI <i>et al.</i> (2012)	Is. Seymour e Rei George	Cretáceo a Terciário	Perm.	Paleobiogeografia
OTTONE E MEDINA (1998)	I. James Ross	Albiano	Perm.	Taxonômica
PHILIPPE <i>et al.</i> (1993)	I. Livingston	Cretáceo – Cenomaniano a Campaniano	Perm.	Paleoecológica
PHILIPPE <i>et al.</i> (1995)	I. Snow	Cretáceo – Valangiano a Hauteriviano	Perm.	Taxonômica, paleoambiental
PHILIPPE <i>et al.</i> (1999)	Antártica	Mesozóico	Perm.	Paleobiogeográfica

Autores (Ano)	Localidade	Período - Idade	Preservação	Abordagem
POOLE & CANTRILL (2001)	I. Livingston	Cretáceo – Cenomaniano a Campaniano	Perm.	Taxonômica
POOLE & FRANCIS (1999)	I. James Ross	Cretáceo – Campaniano	Perm.	Taxonômica
POOLE & FRANCIS (2000)	I. James Ross	Cretáceo – Santoniano a Campaniano	Petr.	Taxonômica
POOLE (2000)	P. Antártica	Cretáceo a Terciário	Perm.	Taxonômica, Anatômica (paleoambiental)
POOLE <i>et al.</i> (2000a)	I.s James Ross, Vega e Seymour	Cretáceo a Terciário	Perm.	Taxonômica
POOLE & GOTTWALD (2001)	P. Antártica	Cretáceo tardio a Terciário	Perm.	Taxonômica
POOLE <i>et al.</i> (2000b)	I.s James Ross e Seymour	Cretáceo – Santoniano a Maastrichtiano	Perm.	Taxonômica
POOLE <i>et al.</i> (2000c)	I.s James Ross e Livingston	Cretáceo – Cenomaniano a Campaniano	Perm.	Taxonômica
POOLE <i>et al.</i> (2003)	I. Seymour	Cretáceo a Terciário	Perm.	Taxonômica
POOLE <i>et al.</i> (2005)	I.s Livingston, Alexander, e Bacia James Ross	Cretáceo tardio a Eoceno médio	Petr.	Paleoclimática, Paleocológica
POOLE & CANTRILL (2006)	Bacia James Ross	Cretáceo	Perm., Petr.	Paleoecológica
SIUREK <i>et al.</i> (2004)	I.Rei George	?	Petr.	Tafonômica
TORRES & LEMOIGNE (1989)	I. Livingston	Cretáceo tardio	Perm.	Taxonômica
TORRES <i>et al.</i> (1982)	I. Livingston	Cretáceo inicial	Perm.	Taxonômica
TORRES <i>et al.</i> (1993)	I. Livingston	Mesozóico	Perm.	Taxonômica
TORRES <i>et al.</i> (1995)	I. Snow	Cretáceo – Valangiano a Hauteriviano	Perm.	Taxonômica
TORRES <i>et al.</i> (1997)	I. Snow	Cretáceo - Valangiano a Hauteriviano	Perm.	Taxonômica

(Tabela 1 – Continuação)

Tabela 2 – Fósseis lenhosos descritos para a paleoflora antártica do Cretáceo. Indicando as fontes, a localidade e a idade. Legenda: P.: Península, I.: Ilha.

Fósseis descritos (fonte)	Localidade	Período – Idade
Angiospermas – Eudicotiledóneas:		
<i>Antarctoxylon heteroporosum</i> Poole et Cantrill (POOLE & CANTRILL, 2001)	I. Livingston	Cretáceo – Cenomaniano a Campaniano
<i>Antarctoxylon juglandoides</i> Poole, Menega et Cantrill (POOLE <i>et al.</i> , 2003)	I. Seymour	Cretáceo a Terciário
<i>Antarctoxylon livingstonensis</i> Poole et Cantrill (POOLE & CANTRILL, 2001)	I. Livingston	Cretáceo – Cenomaniano a Campaniano
<i>Antarctoxylon multiseriatum</i> Poole et Cantrill (POOLE & CANTRILL, 2001)	I. Livingston	Cretáceo – Cenomaniano a Campaniano
<i>Antarctoxylon uniperforatum</i> Poole et Cantrill (POOLE & CANTRILL, 2001)	I. Livingston	Cretáceo – Cenomaniano a Campaniano
<i>Atherospermoxylon</i> sp. (POOLE & GOTTWALD, 2001)	P. Antártica	Cretáceo tardio a Terciário
<i>Eucryphiaceoxylon eucryphioides</i> Poole, Menega et Cantrill (POOLE <i>et al.</i> , 2003)	I. Seymour	Cretáceo a Terciário
<i>Hedycaryoxylon</i> sp. (POOLE & GOTTWALD, 2001)	P. Antártica	Cretáceo tardio a Terciário
<i>Hedycaryoxylon tambourissoides</i> Poole et Gottwald (POOLE & CANTRILL, 2001)	I. Livingston	Cretáceo – Cenomaniano a Campaniano
<i>Illicioxylon antarcticum</i> Poole, Gottwald et Francis (POOLE <i>et al.</i> , 2000a)	I.s James Ross, Vega e Seymour	Cretáceo a Terciário
<i>Illicioxylon temuiradiatum</i> Poole, Gottwald et Francis (POOLE <i>et al.</i> , 2000a)	I.s James Ross, Vega e Seymour	Cretáceo a Terciário
<i>Laurelites jamesrossii</i> Poole et Francis (POOLE & FRANCIS, 1999)	I. James Ross	Cretáceo – Campaniano
<i>Myrceugenelloxylon antarcticus</i> , Poole, Hunt et Cantrill (POOLE <i>et al.</i> , 2003)	I. Seymour	Cretáceo a Terciário
<i>Nothofagoxylon antarcticum</i> Torres (NISHIDA <i>et al.</i> , 1989)	Antártica	Cretáceo
<i>Nothofagoxylon scalariforme</i> Gothan (NISHIDA <i>et al.</i> , 1989)	Antártica	Cretáceo
<i>Sahnioxylon antarcticum</i> Lemoigne et Torres (POOLE & CANTRILL, 2001)	I. Livingston	Cretáceo – Cenomaniano a Campaniano
<i>Sahnioxylon antarcticum</i> Lemoigne et Torres (TORRES & LEMOIGNE, 1989)	I. Livingston	Cretáceo tardio
<i>Sahnioxylon</i> sp. (FALCON-LANG & CANTRILL, 2001)	I. Livingston	Cretáceo - Aptiano médio
<i>Sahnioxylon</i> sp. (TORRES <i>et al.</i> , 1997)	I. Snow	Cretáceo - Valangiano a Hauteriviano
<i>Sassafrasoxylon gottwaldii</i> Poole, Richter et Francis (POOLE <i>et al.</i> , 2000b)	I.s James Ross e Seymour	Cretáceo – Santoniano a Maastrichtiano
<i>Weinmannioxylon ackamoides</i> Poole et Cantrill (POOLE & CANTRILL, 2001)	I. Livingston	Cretáceo – Cenomaniano a Campaniano
<i>Weinmannioxylon nordenskjoldii</i> Poole, Cantrill, Hayes et Francis (POOLE <i>et al.</i> , 2000c)	I.s James Ross e Livingston	Cretáceo – Cenomaniano a Campaniano

Fósseis descritos (fonte)		Localidade	Período - Idade
<i>Winteroxylon jamesrossi</i> Poole et Francis (POOLE & FRANCIS, 2000)		I. James Ross	Cretáceo – Santoniano a Campaniano
	Gimnospermas:		
<i>Agathoxylon</i> sp. (OTTONE E MEDINA, 1998)		I. James Ross	Albiano
<i>Agathoxylon</i> sp. (PHILIPPE <i>et al.</i> , 1995)		I. Snow	Cretáceo – Valangiano a Hauteriviano
<i>Araucaria antarctica</i> Cesari, Marenssi et Santillana (CESARI <i>et al.</i> , 2001)		I. Vega	Cretáceo - Maastrichtiano
<i>Araucarioxylon antarcticus</i> Poole et Cantrill (POOLE & CANTRILL, 2001)		I. Livingston	Cretáceo – Cenomaniano a Campaniano
<i>Araucarioxylon</i> sp. (FALCON-LANG & CANTRILL, 2000)		I. Alexander	Cretáceo - Albiano tardio
<i>Araucarioxylon arayai</i> Torres (TORRES <i>et al.</i> , 1982)		I. Livingston	Cretáceo inicial
<i>Araucarioxylon arayai</i> Torres (TORRES <i>et al.</i> , 1997)		I. Snow	Cretáceo - Valangiano a Hauteriviano
<i>Araucarioxylon chapmanae</i> Poole et Cantrill (POOLE & CANTRILL, 2001)		I. Livingston	Cretáceo – Cenomaniano a Campaniano
<i>Araucarioxylon floresii</i> Lemoigne et Torres (TORRES & LEMOIGNE, 1989)		I. Livingston	Cretáceo tardio
<i>Araucarioxylon novaezelandae</i> Stopes (TORRES <i>et al.</i> , 1995)		I. Snow	Cretáceo – Valangiano a Hauteriviano
<i>Araucarioxylon</i> sp. (FALCON-LANG & CANTRILL, 2000)		I. Alexander	Cretáceo - Albiano tardio
<i>Araucarioxylon</i> sp. (TORRES, 1993)		I. Livingston	Mesozóico
<i>Araucarioxylon</i> sp. (TORRES <i>et al.</i> , 1997)		I. Snow	Cretáceo - Valangiano a Hauteriviano
<i>Araucarioxylon</i> sp.1 (FALCON-LANG & CANTRILL, 2001)		I. Livingston	Cretáceo - Aptiano médio
<i>Araucarioxylon</i> sp.2 (FALCON-LANG & CANTRILL, 2001)		I. Livingston	Cretáceo - Aptiano médio
<i>Brachyoxylon</i> sp. (TORRES <i>et al.</i> , 1997)		I. Snow	Cretáceo - Valangiano a Hauteriviano
<i>Cetricycas antarcticus</i> Cantrill (CANTRILL, 2000)		I. James Ross	Cretáceo - Coniaciano a Campaniano
<i>Circoporoxylon</i> sp. (TORRES <i>et al.</i> , 1997)		I. Snow	Cretáceo - Valangiano a Hauteriviano
<i>Cupressinoxylon</i> Torres, (TORRES <i>et al.</i> , 1995)		I. Snow	Cretáceo - Valangiano a Hauteriviano
<i>Phyllocladoxylon antarcticum</i> Gothan (TORRES <i>et al.</i> , 1995)		I. Snow	Cretáceo – Valangiano a Hauteriviano
<i>Phyllocladoxylon</i> sp. (EKLUND <i>et al.</i> , 2004)		I. Snow	Cretáceo – Valangiano a Hauteriviano
<i>Podocarpoxylon chapmanae</i> Poole et Cantrill (POOLE & CANTRILL, 2001)		Table Nunatak – P. Antártica	Cretáceo - Santoniano
<i>Podocarpoxylon communis</i> Poole et Cantrill (POOLE & CANTRILL, 2001)		I. Livingston	Cretáceo – Cenomaniano a Campaniano
<i>Podocarpoxylon</i> sp. (CESARI <i>et al.</i> , 2001)		I. Livingston	Cretáceo – Cenomaniano a Campaniano
		I. Vega	Cretáceo - Maastrichtiano

Fósseis descritos (fonte)	Localidade	Período - Idade
Gimnospermas:		
<i>Podocarpoxylon</i> sp. (EKLUND <i>et al.</i> , 2004)	Table Nunatak – P. Antártica	Cretáceo - Santoniano
<i>Podocarpoxylon</i> sp. (FRANCIS & COFFIN, 1992)	Bacia Ragatt	Cretáceo - Albiano
<i>Podocarpoxylon</i> sp. (TORRES & LEMOIGNE, 1989)	I. Livingston	Cretáceo tardio
<i>Podocarpoxylon</i> sp.1 (FALCON-LANG & CANTRILL, 2000)	I. Alexander	Cretáceo - Albiano tardio
<i>Podocarpoxylon</i> sp.1 (FALCON-LANG & CANTRILL, 2001)	I. Livingston	Cretáceo - Aptiano médio
<i>Podocarpoxylon</i> sp.2 (FALCON-LANG & CANTRILL, 2000)	I. Alexander	Cretáceo - Albiano tardio
<i>Podocarpoxylon</i> sp.2 (FALCON-LANG & CANTRILL, 2001)	I. Livingston	Cretáceo - Aptiano médio
<i>Podocarpoxylon verticalis</i> Poole et Cantrill (POOLE & CANTRILL, 2001)	I. Livingston	Cretáceo – Cenomaniano a Campaniano
<i>Protocircoporoxylon</i> sp. (PHILIPPE <i>et al.</i> , 1995)	I. Snow	Cretáceo – Valangiano a Hauteriviano
<i>Protocircoporoxylon</i> sp. (TORRES <i>et al.</i> , 1997)	I. Snow	Cretáceo - Valangiano a Hauteriviano
<i>Protopodocarpoxylon</i> sp. (TORRES <i>et al.</i> , 1997)	I. Snow	Cretáceo - Valangiano a Hauteriviano
<i>Taxodioxylon</i> sp. (FALCON-LANG & CANTRILL, 2000)	I. Alexander	Cretáceo - Albiano tardio
Apenas como Coníferas e Eudicotiledóneas (CHAPMAN & SMELLIE, 1992)	I. Livingston	Cretáceo – Cenomaniano a Campaniano

(Tabela 2: continuação)

1.2 Objetivos

Este trabalho pretende fornecer dados sobre a composição florística e possíveis inferências paleoambientais do Cretáceo na Antártica. Além disso, busca-se também contribuir para o entendimento dos processos formadores destes fósseis e sua relação com os ambientes deposicionais.

Os objetivos específicos são:

- 1) A busca de uma metodologia alternativa para a análise destes lenhos, caso as metodologias usuais em Paleobotânica não se mostrem eficazes.
- 2) Caracterização anatômica das amostras baseadas em caracteres qualitativos e quantitativos.
- 3) Identificação taxonômica das amostras.
- 4) Resgatar dados sobre os processos tafonômicos e diagenéticos pelos quais os fósseis foram formados.

As hipóteses de trabalho são:

H: todos os fósseis são carvões.

H': a flora da Ilha James Ross para o Cretáceo era dominada por Angiospermas.

H'': os estudos destes fragmentos fósseis são importantes para a compreensão da evolução geológica das suas Formações de origem.

1.3 Localização e Contexto Geológico

As coletas foram realizadas por Marcelo de Araujo Carvalho e Renato Rodriguez Cabral Ramos, no verão austral de 2006-2007, durante expedição à região norte da Ilha James Ross no quadro do projeto “Prospecção de fósseis do Cretáceo da Bacia de James Ross, Antártica Oriental” (PROANTAR-CNPq), coordenado por Alexander Kellner e Marcelo de Araujo Carvalho, do DGP/MN.

Esta região compreende a região norte da Bacia Larsen, denominada sub-bacia James Ross e seus depósitos remontam parte da história geológica da formação da Península Antártica (DEL VALLE & FOURCADE, 1992) (Figura 1: a).

Os pontos de coleta localizam-se nas Formações Whisky Bay ($63^{\circ}45'30,7''S$ / $57^{\circ}53,2'16,6''O$), Hidden Lake ($63^{\circ}48'50,8''S$ / $57^{\circ}54'48,3''O$ e $63^{\circ}48'30''S$ / $57^{\circ}52'59''O$) e Santa Marta ($63^{\circ}52'05,2''S$ / $57^{\circ}54'18,9''O$) (Figura 1). Os perfis estratigráficos foram elaborados em campo por Renato Rodriguez Cabral Ramos e Marcelo de Araujo Carvalho, a partir da descrição detalhada dos afloramentos, com base nas fácies sedimentares, na escala de 1:50 (Figuras 2 a 8).

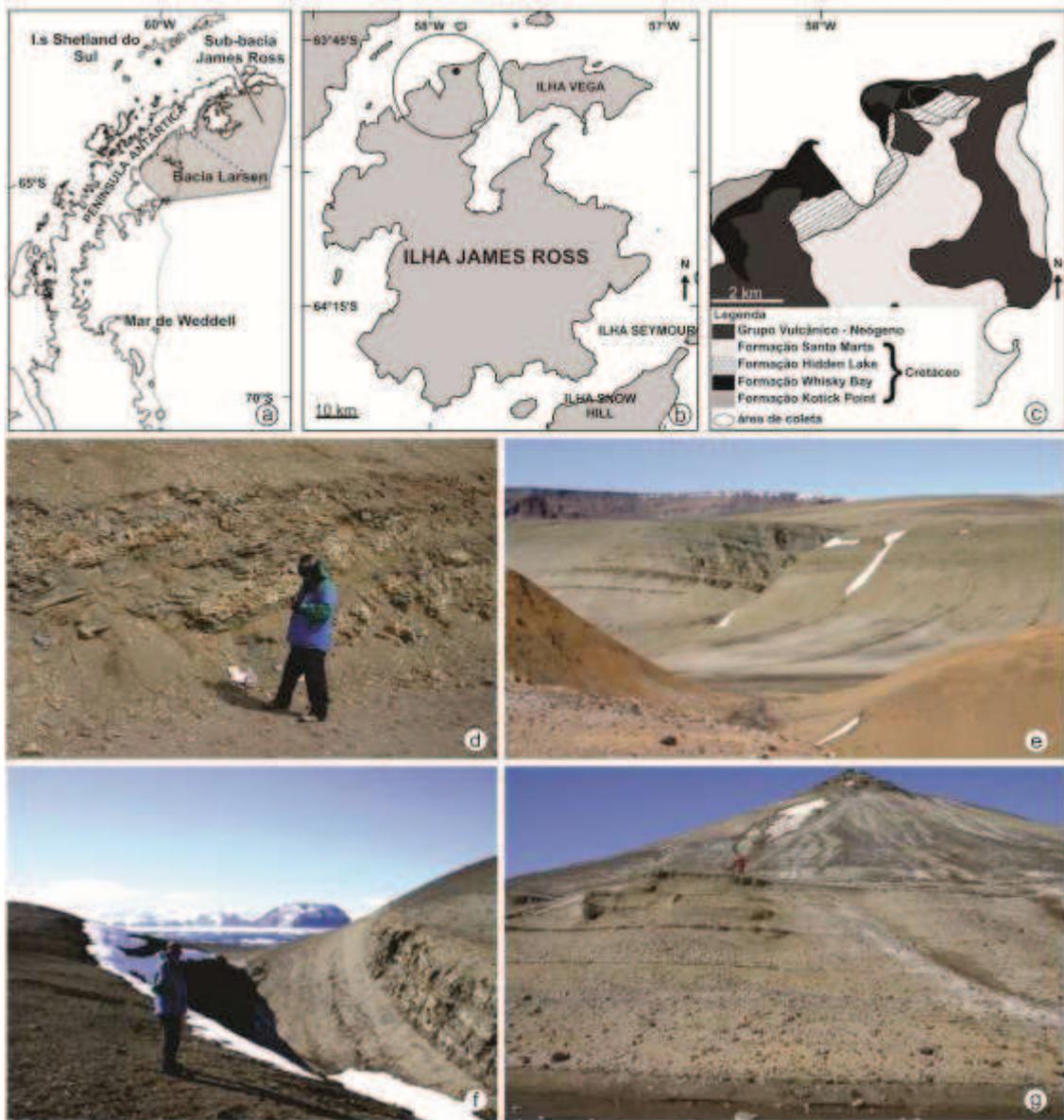


Figura 1: a) Mapa parcial da Península Antártica, evidenciando a localização da sub-bacia James Ross, b) região norte da Ilha James Ross, c) área de coleta (desenhos adaptados de Keating, 1992 e Whithan & Marshall, 1998). Afloramentos documentados, d) Fm. Whisky Bay, e) ravina, Fm. Hidden Lake, perfil n° 1, f) ravina Fm. Hidden Lake, perfil n° 2, g) Fm. Santa Marta. Escalas humanas: 1,80m.

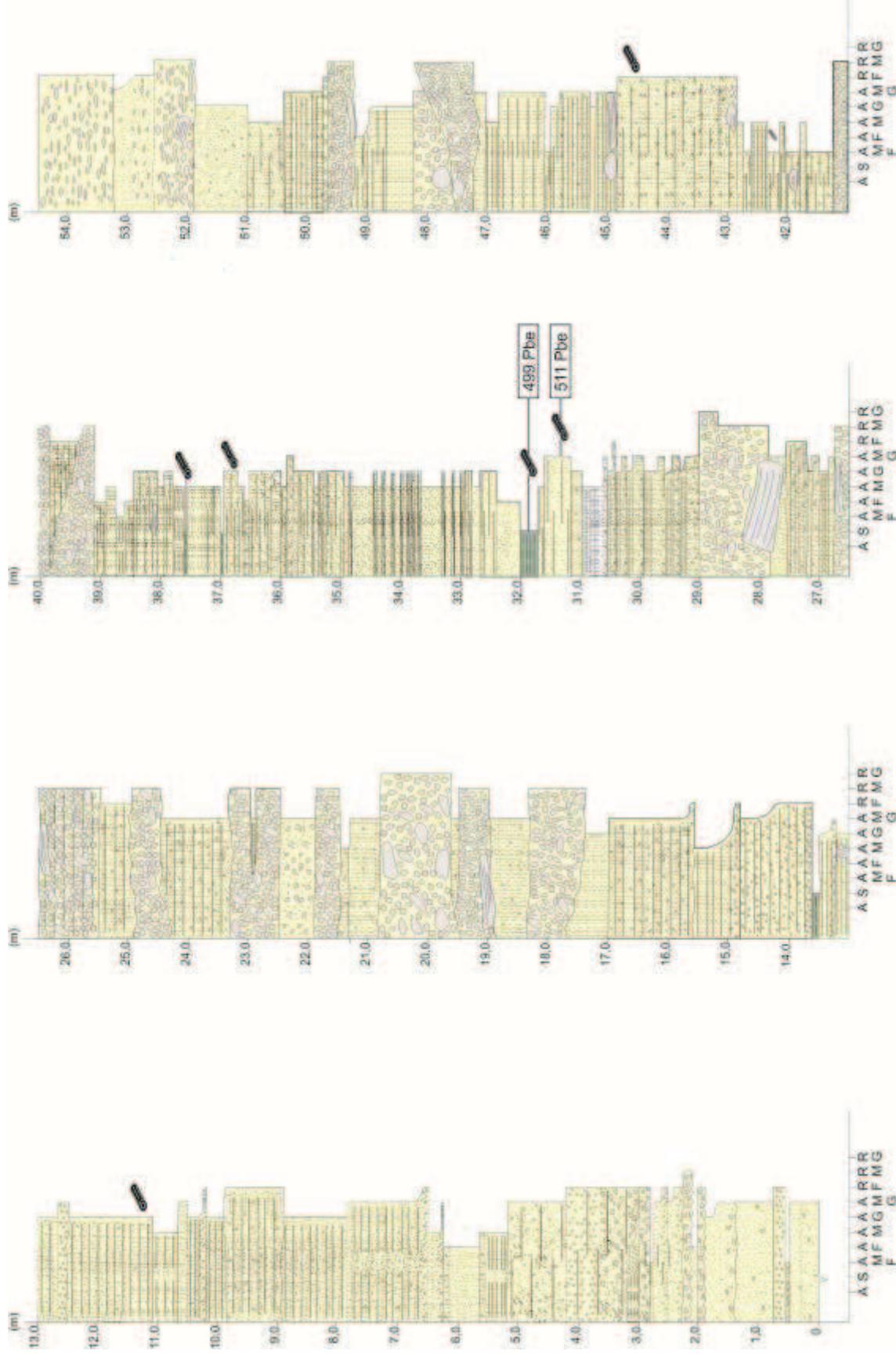


Figura 2 – Formação Whisky Bay, perfil estratigráfico nº 1. Indicando os números das amostras coletadas e a localização dos “carvões”. Digitalização do perfil: Gina F. Bianchini.

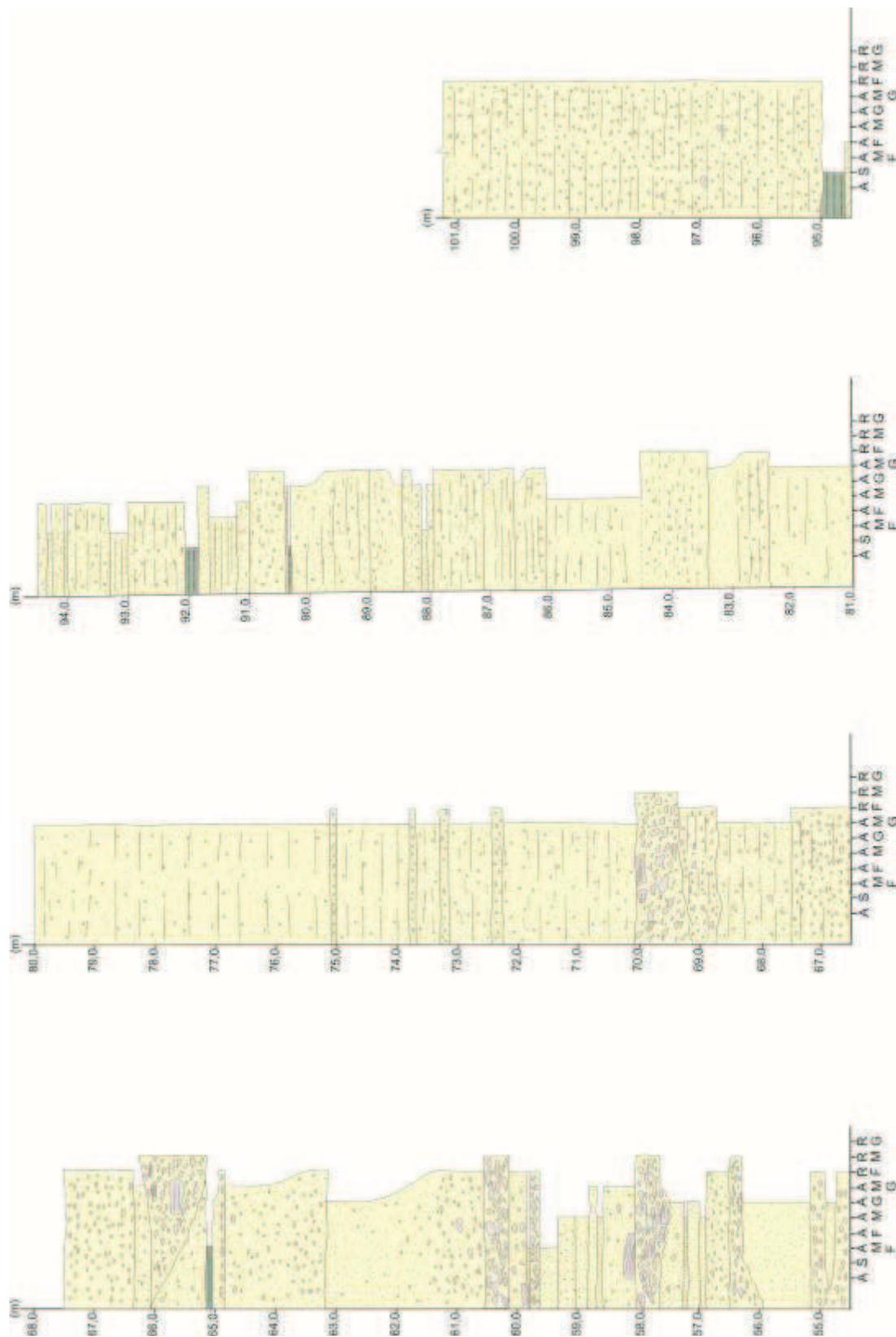


Figura 3 – Formação Whisky Bay, perfil estratigráfico n° 1. Digitalização do perfil: Gina F. Bianchini (Continuação).

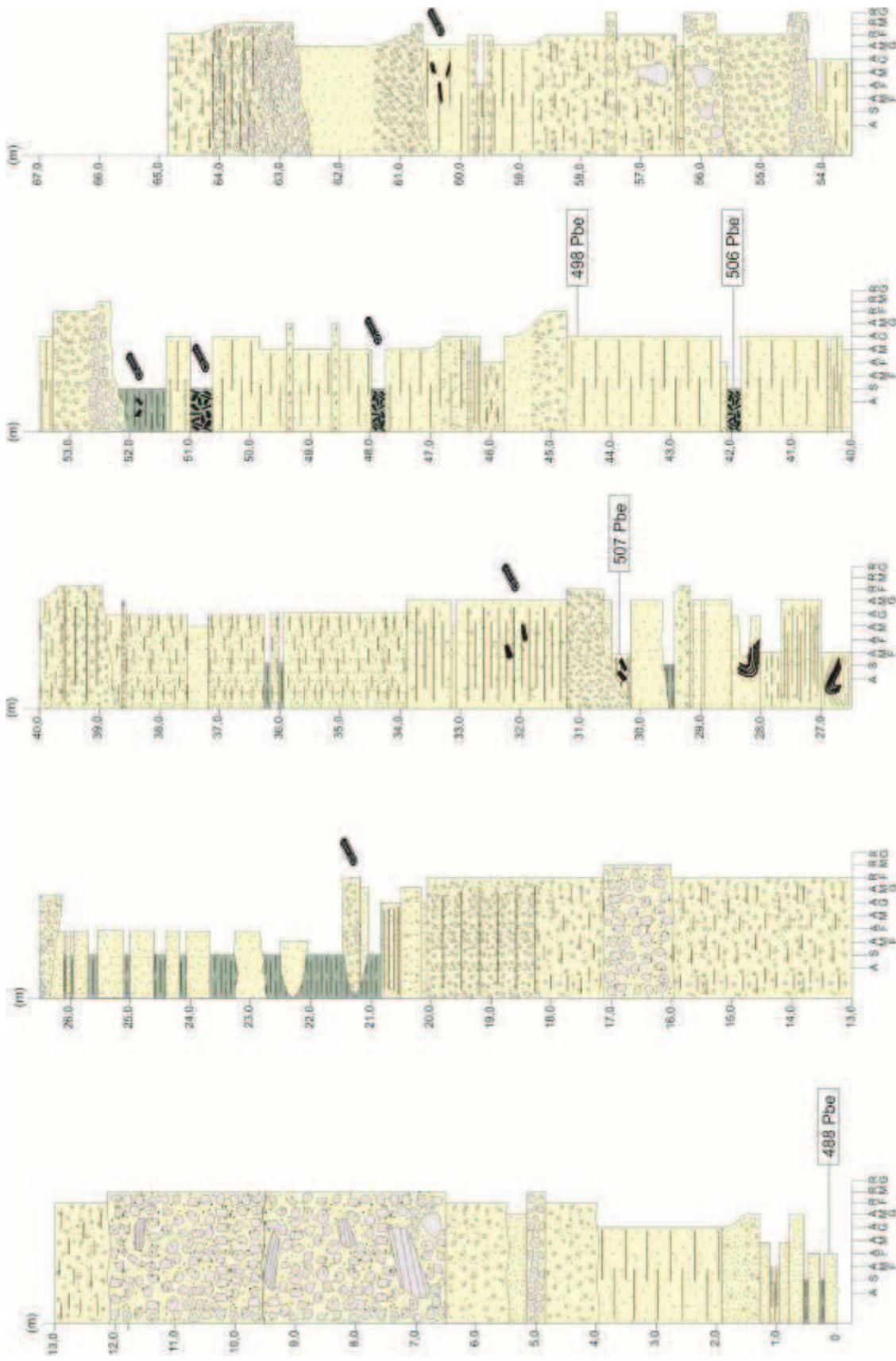


Figura 4 – Formação Whisky Bay, perfil estratigráfico n° 2. Indicando os números das amostras coletadas e a localização dos “carvões”. Digitalização do perfil: Gina F. Bianchini.

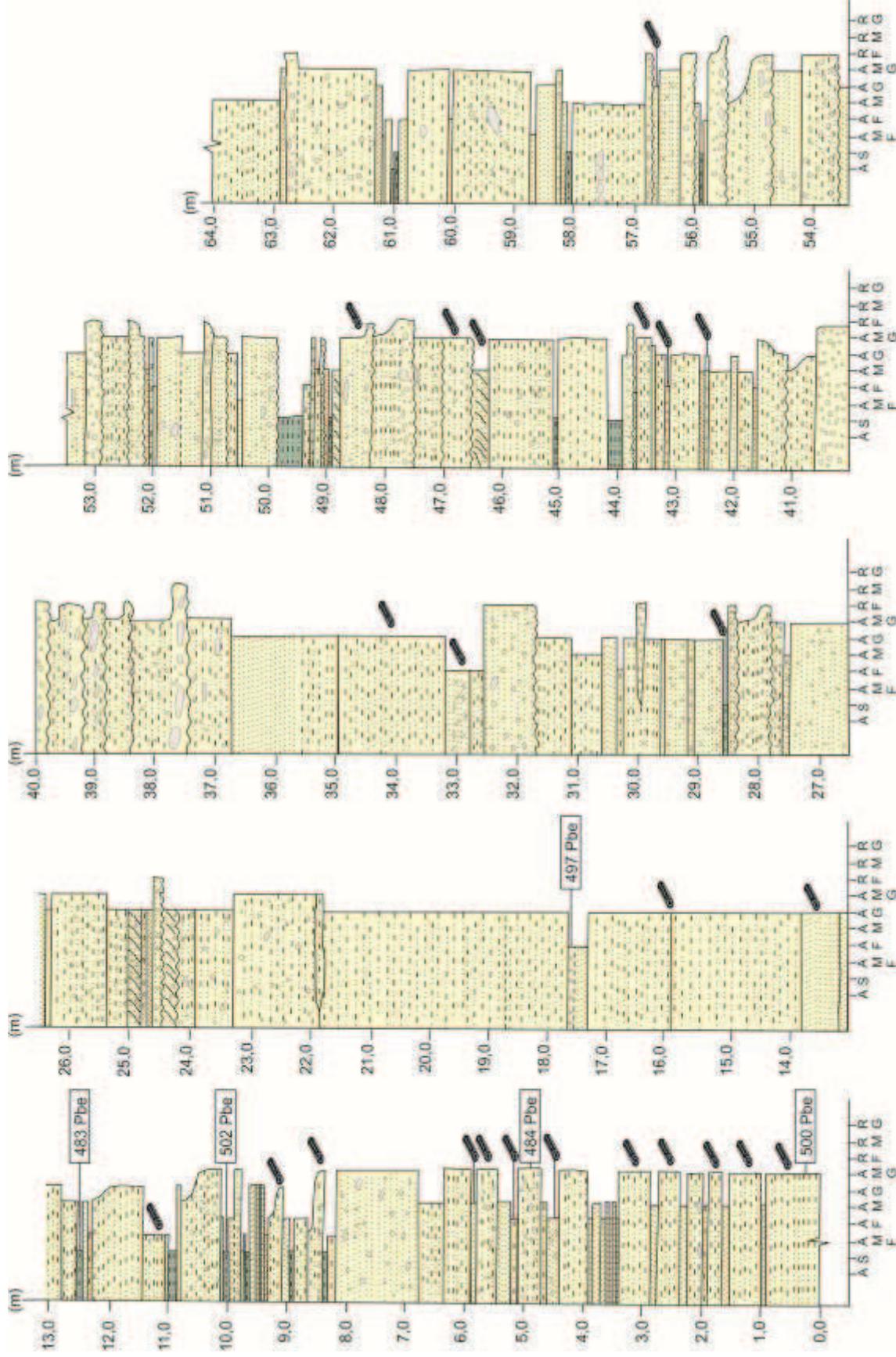


Figura 5 – Formação Hidden Lake, perfil estratigráfico n° 1. Indicando os números das amostras coletadas e a localização dos “carvões”. Digitalização da autora.

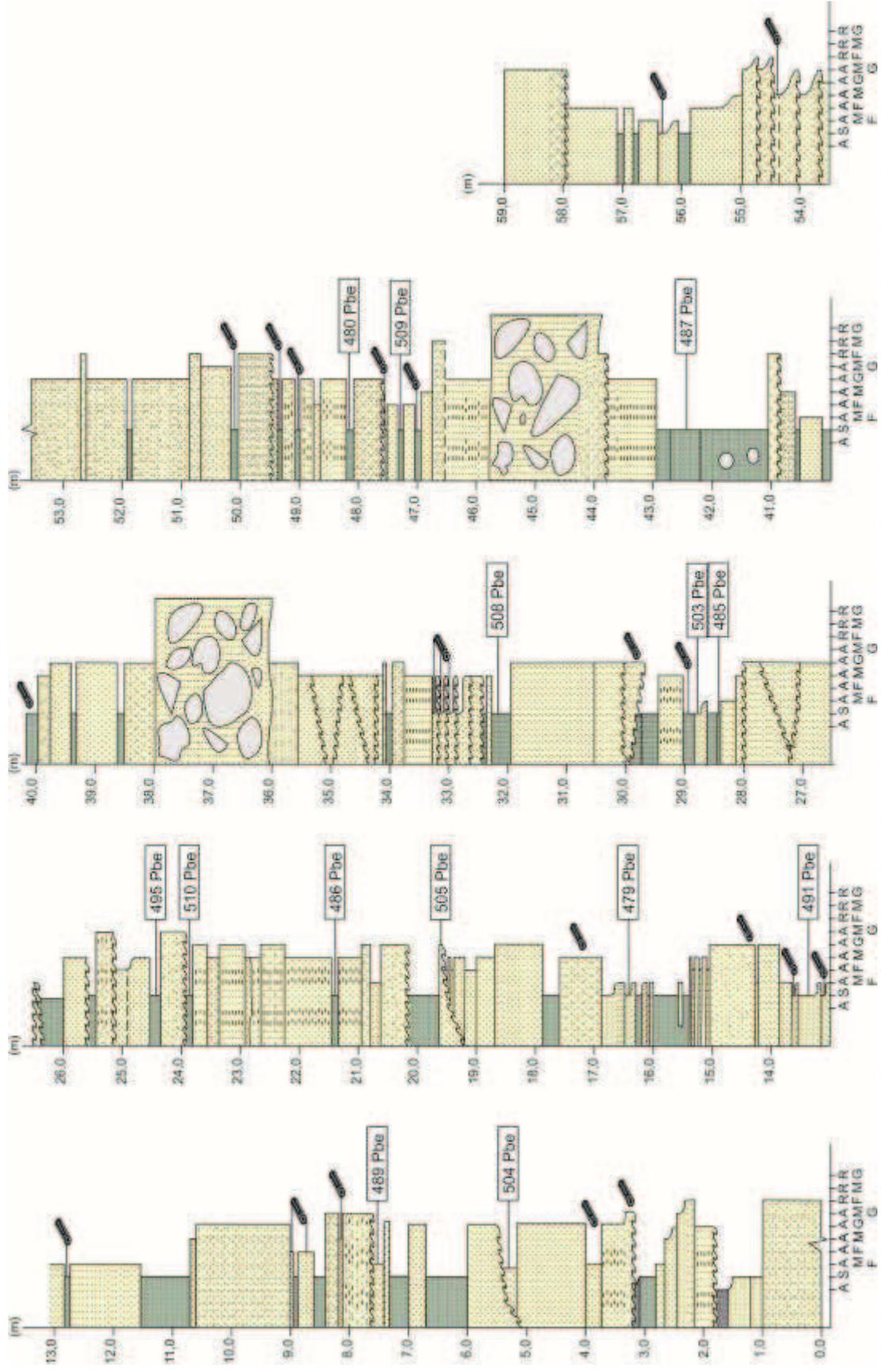


Figura 6 – Formação Hidden Lake, perfil estratigráfico n° 2. Indicando os números das amostras coletadas e a localização dos “carvões”. Digitalização do perfil: a autora e Gina F. Bianchini.

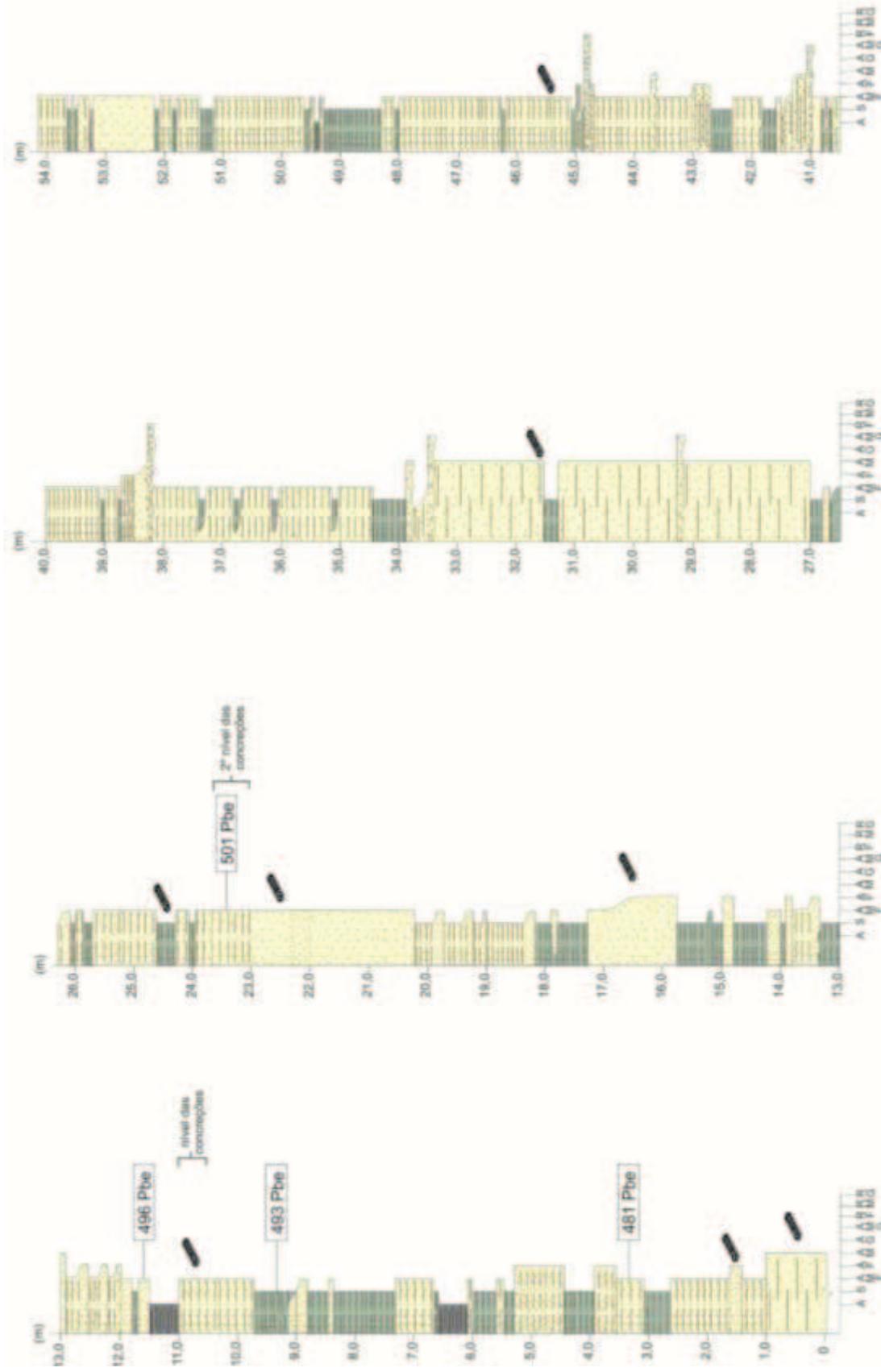


Figura 7 – Formação Santa Marta, Membro Lachman Crags. Indicando os números das amostras coletadas e a localização dos “carvões”. Digitalização do perfil: André P. Negrão e Gina F. Bianchini.

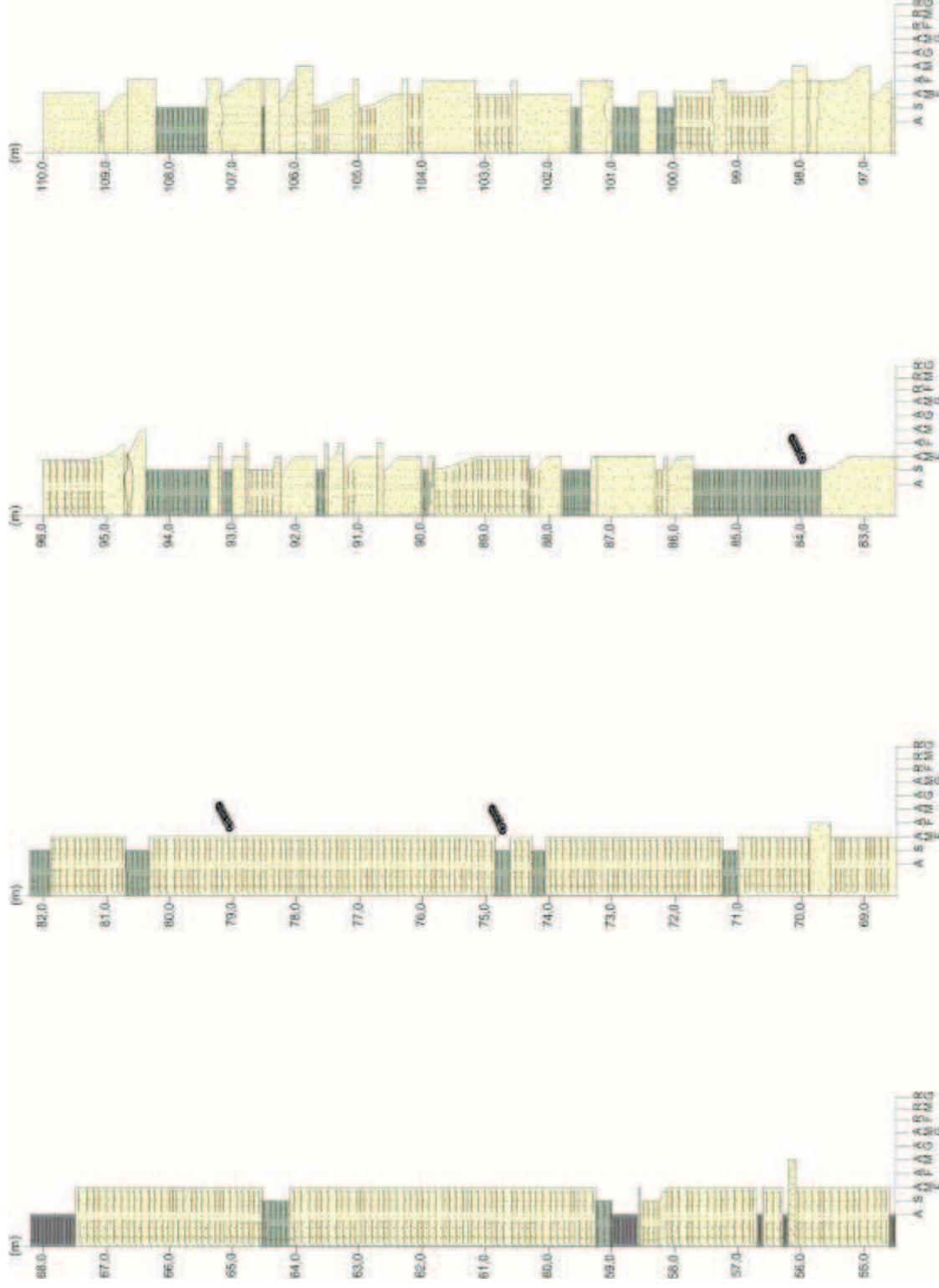


Figura 8 – Formação Santa Marta, Membro Lachman Crags. Indicando os números das amostras coletadas e a localização dos “cavões”. Digitalização do perfil: André P. Negrão e Gina F. Bianchini (Continuação).

A fragmentação do Gondwana e a formação do Mar de Weddell tiveram como um de seus resultados a formação da Península Antártica, que ocorreu a partir da subducção da Placa do Pacífico sob a Placa Antártica e o subsequente soerguimento de um arco magmático ativo (WHITHAM *et al.*, 2006) (Figura 9: a).

A oeste do arco magmático formaram-se pequenas bacias de antearco (*fore-arc*), as quais foram preenchidas por sedimentos continentais, constituindo grupos como o Fossil Bluff (FALCON-LANG *et al.*, 2001; CANTRILL & POOLE, 2005), Botany Bay (FARQHARSON, 1984; REES, 1993) e os pacotes cretáceos expostos no arquipélago das Shetland do Sul (DUTRA & BATTEN, 2000) (Figura 9: b).

A leste deste arco, a partir do Jurássico, deu-se a formação das bacias de retroarco (*backarc*), preenchidas por sedimentação marinha. Neste contexto destacam-se as bacias Larsen e Ladany (HATHWAY, 2000) (Figura 9: b).

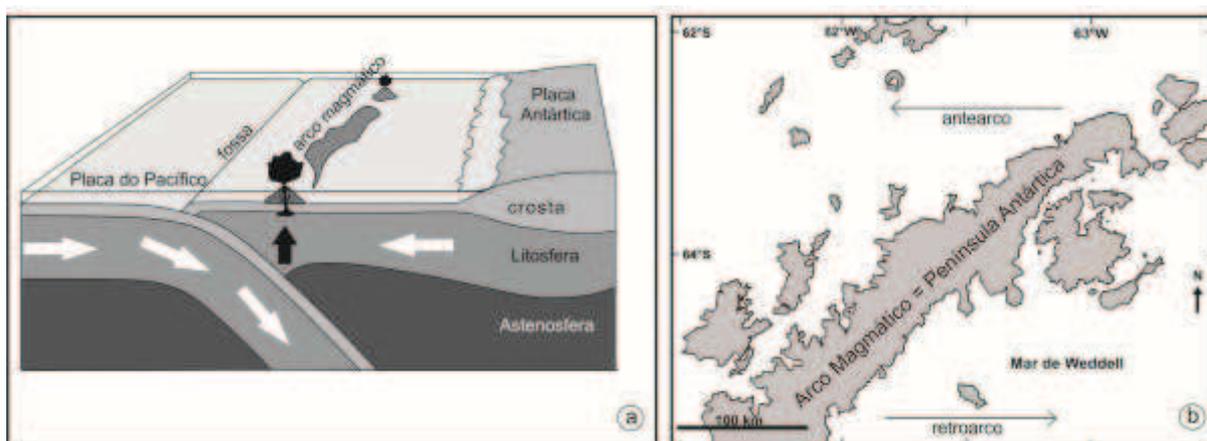


Figura 9: a) modelo para ilustrar, de maneira ideal, a formação da Península Antártica; as setas brancas indicam o movimento das placas e a seta preta indica a atividade magmática, proveniente da área de subducção. b) Mapa parcial da Península Antártica, evidenciando as regiões de ante-arco e retro-arco.

A Bacia Larsen, cujo preenchimento sedimentar abrangeu o Cretáceo e o Paleógeno, contém as sequências sedimentares mais espessas e completas destes períodos no Hemisfério Sul (CRAME *et al.*, 1996). A região norte da Bacia Larsen, denominada Sub-bacia James Ross, apresenta depósitos que remontam parte da história geológica da formação da Península Antártica (DEL VALLE & FOURCADE, 1992). Esta sub-bacia é adjacente a Bacia Larsen, cujo preenchimento sedimentar abrangeu o Cretáceo e o Paleógeno, contém as sequências sedimentares mais espessas e completas destes períodos no Hemisfério Sul (CRAME *et al.*, 1996). Seus depósitos vulcano-sedimentares foram divididos em três unidades litoestratigráficas: a Formação Nordenskjöld, o Grupo Gustav e o Grupo Marambio. A Formação Nordenskjöld é basal, de idade tithoniana-berriasiana, apresenta espessura de 200m

(FARQUHARSON, 1982); o Grupo Gustav, de idade aptiana-coniaciana (112 a 90 Ma), tem espessura de 2,6 km e é subdividido em cinco formações: *Pedersen*, *Lagrelius Point*, *Kotick Point*, *Whisky Bay* e *Hidden Lake* (RIDING & CRAME, 2002); e o Grupo Marambio, com 2,5 km de espessura, datado do Coniaciano ao Daniano (DETTMANN & THOMSON, 1987) e subdividido nas formações *Santa Marta*, *Snow Hill Island*, *Lopez de Bertodano* e *Sobral* (PIRRIE *et al.*, 1997).

O arco magmático em elevação e sua margem ocidental é representada por uma importante falha ativa na direção NE-SW, o que favoreceu a deposição de mais de 5 km de sedimentos marinhos clásticos e vulcanoclásticos em águas profundas a rasas, do Jurássico Inferior ao Eoceno Superior (FRANCIS *et al.*, 2006; INESON *et al.*, 1986). As sucessões cretáceas estão distribuídas ao longo da margem oriental da Península Antártica, nas ilhas Dundee, Vega, James Ross, Snow Hill, Seymour e Cockburn, além de outras menores.

As unidades litoestratigráficas da sub-bacia James Ross amostradas para este trabalho pertencem aos grupos Gustav (formações Whisky Bay e Hidden Lake) e Marambio (Formação Santa Marta) (Figuras: 1-c, 10).

Os depósitos do Grupo Gustav são caracterizados por litologias de granulometria grossa como conglomerados e brechas, com clastos tamanho seixo até matacão e arenitos seixosos, com ocorrência subordinada de arenitos mais finos, siltitos e lamitos. A Formação Whisky Bay (Albiano a Coniaciano) apresenta espessura entre 700 e 950 m e forte variação lateral de fácies, com depósitos dominados por conglomerados e brechas sustentados por clastos tamanho seixo até matacão, bem como arenitos grossos seixosos, sendo observadas geometrias de canal, gradações e imbricação dos clastos. Escassas intercalações finas de lamitos ocorrem no topo da unidade (FRANCIS *et al.*, 2006).

A Formação Hidden Lake, de idade coniaciana, tem aproximadamente 400m de espessura e é constituída por uma sucessão de conglomerados marinhos vulcanoclásticos, arenitos e pelitos (WHITHAM *et al.*, 2006; CRAME *et al.*, 2006). A unidade mostra, de modo geral, uma granodecrescência ascendente, sendo dominada pelos arenitos e conglomerados em sua metade inferior, gradando para uma sucessão de arenitos e lamitos intercalados na parte superior. Uma feição comum é a presença de fragmentos de pedra pome achatados e bombas vulcânicas retrabalhadas, indicando atividade vulcânica explosiva contemporânea. A presença de clastos de rochas plutônicas ácidas sugere o início da exposição das intrusões plutônicas do arco, ocorrida no Coniaciano (WHITHAM *et al.*, 2006).

As litologias mais representativas dos depósitos do Grupo Marambio constituem siltitos e arenitos lamosos intensamente bioturbados, originários de uma deposição marinha rasa. Este grupo aflora ao norte das Ilhas James Ross, Vega e Humps e ao sul das Ilhas Cockburn, Snow Hill e Seymour (PIRRIE *et al.*, 1989, 1991; FRANCIS *et al.*, 2006). A Formação Santa Marta, unidade basal deste Grupo, datada desde o Coniaciano tardio até o Campaniano, apresenta deposição de sedimentos com granulometria fina, em ambiente marinho raso de baixa energia. É formada por siltitos e lamitos cinza claro e arenitos finos (PIRRIE *et al.*, 1989). Seus depósitos são intensamente bioturbados e ricos em fósseis de invertebrados (WHITHAM *et al.*, 2006).

A evolução dos ambientes deposicionais representados pelas formações Whisky Bay, Hidden Lake e Santa Marta durante o Cretáceo está apresentada na Figura 10.

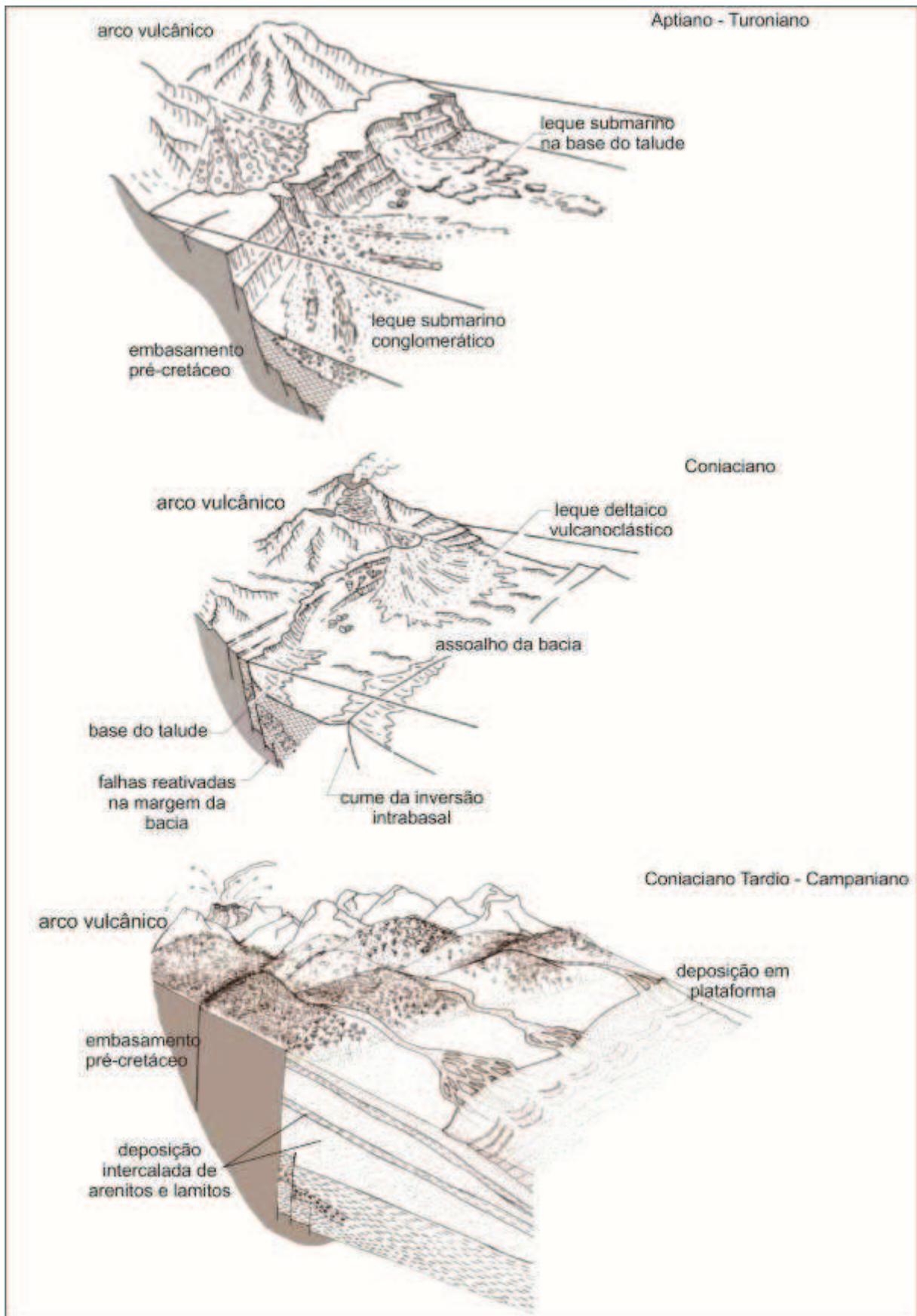


Figura 10 – Evolução dos ambientes de sedimentação ao longo do tempo. De cima para baixo, ambiente deposicional (Aptiano – Turoniano) análogo à Fm. Whisky Bay, Fm. Hidden Lake (Coniaciano), adaptados de WHITHAM et al., 2006. Fm. Santa Marta (Coniaciano tardio a Campaniano), ilustrado pela autora.

1.4 Revisão de Conceitos

Os estudos paleobotânicos reúnem, em essência, conceitos, métodos e abordagens originadas em disciplinas distintas (TAYLOR *et al.*, 2009). Neste estudo, basicamente, tratam-se de conceitos originados na Anatomia vegetal e Geologia. Visando facilitar ao máximo a compreensão deste material, por leitores de formações variadas, apresenta-se aqui uma revisão dos principais conceitos que embasam este estudo.

1.4.1 Anatomia da Madeira

A madeira é o resultado do crescimento secundário de uma planta, ou seja, seu crescimento em espessura. Este crescimento é induzido por hormônios em plantas predispostas geneticamente e favorece a sustentação e a resistência do vegetal às intempéries físicas e à herbivoria. Além disso, o surgimento da madeira possibilitou que as raízes se tornassem mais fortes e pudessem atingir o lençol freático, ampliando a distribuição geográfica das plantas (SCHWEINGRUBER, 2007).

O crescimento secundário ocorre por adição de tecidos ao corpo do vegetal, os responsáveis por este processo são o câmbio vascular e o felogênio. O câmbio vascular origina as células do xilema e floema secundários, enquanto o felogênio origina os tecidos da casca (RAVEN *et al.*, 1999). As células do xilema secundário apresentam a deposição da parede secundária, interior à parede primária, o que confere maior resistência e rigidez ao tecido. A parede secundária é composta por celulose (40-80%), hemicelulose (10-40%) e lignina (5-25%), arranjadas de maneiras diferentes, em três camadas distintas, S1, S2 e S3. A compactação e rigidez aumentam pela perda de água da parede primária, anterior à deposição da parede secundária, aliada à lignificação da lamela média, parede primária, e camadas S1 e S2, da parede secundária (Figura 11) (BIDLACK *et al.*, 1992).

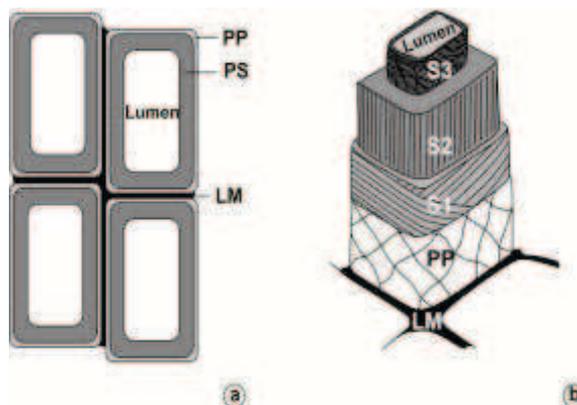


Figura 11: Desenho esquemático da célula do xilema secundário e organização das paredes; a) PP: parede primária, PS: parede secundária, LM: lamela média; b) Detalhamento da organização das paredes primária e secundária, com a direção diferencial das nanofibrilas de celulose em cada uma; LM: lamela média, PP: parede primária, S1, S2 e S3: lamelas que constituem a parede secundária (adaptado de SJOSTROM, 1993).

Com o passar do tempo e o aumento em espessura, a madeira divide-se em duas regiões, o cerne e o alburno. O cerne é a região mais antiga da madeira, onde há o maior acúmulo de lignina nas paredes celulares e de resinas, gomas e óleos no interior das células, tornando esta região não funcional para o transporte. O alburno é a região mais jovem da madeira, onde há atividade (Figura 12). Desta maneira, a condução da água e sais minerais da raiz às folhas é realizada pelas células do alburno e a condução da seiva, açúcares, hormônios e demais resultados da fotossíntese, das folhas a todo o corpo da planta, no sentido axial, é realizada pelo floema secundário (RAVEN, 1999).

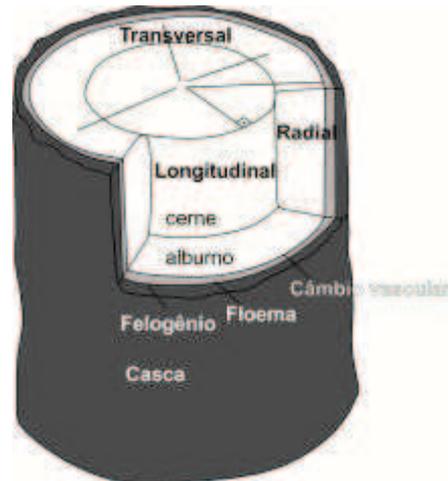


Figura 12: Desenho esquemático de um tronco, indicando a localização de seus tecidos e os planos da madeira: transversal, tangencial e radial.

O xilema secundário difere em sua estrutura básica entre as Gimnospermas e Angiospermas. Nas primeiras, o lenho é composto por traqueídes, células de parênquima axial e radial. As Angiospermas apresentam lenho, geralmente⁶, formado por fibras, elementos de vaso, células de parênquima axial e radial. As traqueídes são células responsáveis tanto pela condução de água e sais minerais da raiz às folhas, como pela sustentação da planta. Já as fibras são células especializadas em sustentação e os elementos de vaso, apenas em condução. O parênquima axial é responsável pelo preenchimento de espaços e auxilia na condução e na reserva de substâncias. O parênquima radial é o responsável pelo transporte dos fluidos resultados da fotossíntese, no sentido radial, do floema ao centro da planta (CARLQUIST, 1985).

O arranjo dos tecidos na madeira varia entre os grupos, as famílias, gêneros e espécies, funcionando como uma impressão digital. Por ser possível identificar o vegetal pela análise do lenho, a anatomia da madeira é uma ferramenta importante em muitas áreas tecnológicas e biológicas. A padronização dos conceitos e da forma como as descrições das madeiras atuais devem ser elaboradas foi realizada pela Associação Internacional de Anatomistas da Madeira

⁶ Condição do xilema secundário da maioria das Angiospermas atuais. Porém há exceções em Angiospermas basais, cuja madeira é formada por traqueídes (Ex: gêneros de Winteraceae) ou madeiras que não apresentam elementos de vaso como elementos condutores (Ex: gêneros de Winteraceae) e, ainda, madeiras que apresentam traqueídes e elementos de vaso (Ex: *Myrica*, *Ephedra*) (CARLQUIST, 2001).

(IAWA) e renderam duas importantes publicações que funcionam como guias para os pesquisadores: “*IAWA list of microscopic features for hardwood identification*” (IAWA Comitee, 1989), para a identificação de Angiospermas, e “*IAWA list of microscopic features for softwood identification*” (IAWA Comitee, 2004), para a identificação de Gimnospermas.

Atualmente, para as descrições dos órgãos fósseis lenhosos também utiliza-se as publicações da IAWA Comitee (1989 e 2004). Porém, há muita discrepância nas descrições dos lenhos fósseis gimnospérmicos e características não documentadas adequadamente são frequentemente citadas, dificultando muito as comparações. Neste contexto, os paleobotânicos Marion Bamford e Marc Phillippe dedicaram-se a minimizar os problemas da terminologia e das descrições de fósseis de coníferas do Mesozóico e publicaram dois artigos importantes: “*Jurassic – Early Cretaceous Gondwanan homoxylous woods: a nomenclatural revision of the genera with taxonomic notes*” (BAMFORD & PHILIPPE, 2001) e “*A key to morphogenera used for Mesozoic conifer-like woods*” (PHILIPPE & BAMFORD, 2008). A análise dos termos e conceitos, visando minimizar os entraves conceituais e terminológicos, em português, foi realizada por MERLOTTI (2011) em “Método de estudo paleoanatômico aplicado à taxonomia de lenhos gimnospérmicos gondvânicos (Paleozóico Superior)”. A mesma confusão na definição de características anatômicas não se aplica com a mesma intensidade às descrições de lenhos angiospérmicos, sendo o guia da IAWA Comitee (1989) e o sítio *Inside Wood* (2004), um banco de dados *online* com descrições de lenhos atuais e fósseis, boas fontes para a descrição e identificação.

Apresentam-se aqui as características anatômicas para a descrição e identificação de lenhos gimnospérmicos⁷ utilizadas neste estudo, baseadas em IAWA Comitee (2004), BAMFORD & PHILIPPE (2001) e MERLOTTI (2011).

A estrutura da madeira é tridimensional e, como tal, deve ser observada sob três planos distintos, o transversal e os longitudinais tangencial e radial. O transversal é o plano perpendicular ao maior eixo da planta. Os longitudinais são paralelos ao maior eixo, o tangencial é o plano perpendicular aos raios e o radial, o plano paralelo aos raios (Figura 12) (IAWA Comitee, 1989).

No plano transversal, as características a serem observadas são (Figura 13):

⁷ São tratadas aqui apenas as características da porção lenhosa, pois nenhum fóssil analisado neste estudo apresenta medula ou casca. As características medulares, além das lenhosas são discutidas, em detalhe, por MERLOTTI (2011).

- Anéis de crescimento: se são distintos ou indistintos; se a transição entre os lenhos inicial e tardio⁸ é abrupta ou gradual; observar se as paredes das traqueídes, do lenho tardio, são espessas ou finas.

- Parênquima axial: sua presença/ausência e seu arranjo, que pode ser difuso, tangencialmente zonado e marginal. Difuso: as células de parênquima ocorrem solitárias ou dispersas aos pares. Tangencialmente zonado: as células estão organizadas em pequenas linhas tangenciais ou oblíquas, mais ou menos paralelas aos anéis e mais frequentes na transição entre lenho inicial e tardio ou apenas no lenho tardio. Marginal: as células apresentam-se solitárias ao longo dos anéis, na primeira linha de células do lenho inicial ou na última linha de células do lenho tardio.

- Canais resiníferos axiais: presença ou ausência, os tipos e distribuição. Os canais podem ser axiais com ocorrência normal ou podem ser de origem traumática, as principais diferenças são que os últimos apresentam diâmetro maior, tem os limites irregulares e são frequentemente fundidos tangencialmente.

- Tórus: presença ou ausência. O tórus é um espessamento da região central da membrana da pontoação. Em lenhos fósseis é difícil a preservação desta característica e, mesmo em lenhos atuais, a madeira deve estar fresca e ser preparada especialmente para a preservação desta característica na lâmina.

⁸ Lenho inicial: é a madeira formada quando as condições ambientais (disponibilidade hídrica e temperatura) são boas, coincidentes com a primavera e verão do Hemisfério Norte ou com estações chuvosas no Hemisfério Sul.

Lenho tardio: é formado quando as condições ambientais (disponibilidade hídrica e temperatura) são desfavoráveis, coincidentes com o outono e inverno do Hemisfério Norte ou com estações secas no Hemisfério Sul. As dimensões celulares diminuem até a parada no crescimento, quando o vegetal entra em dormência.

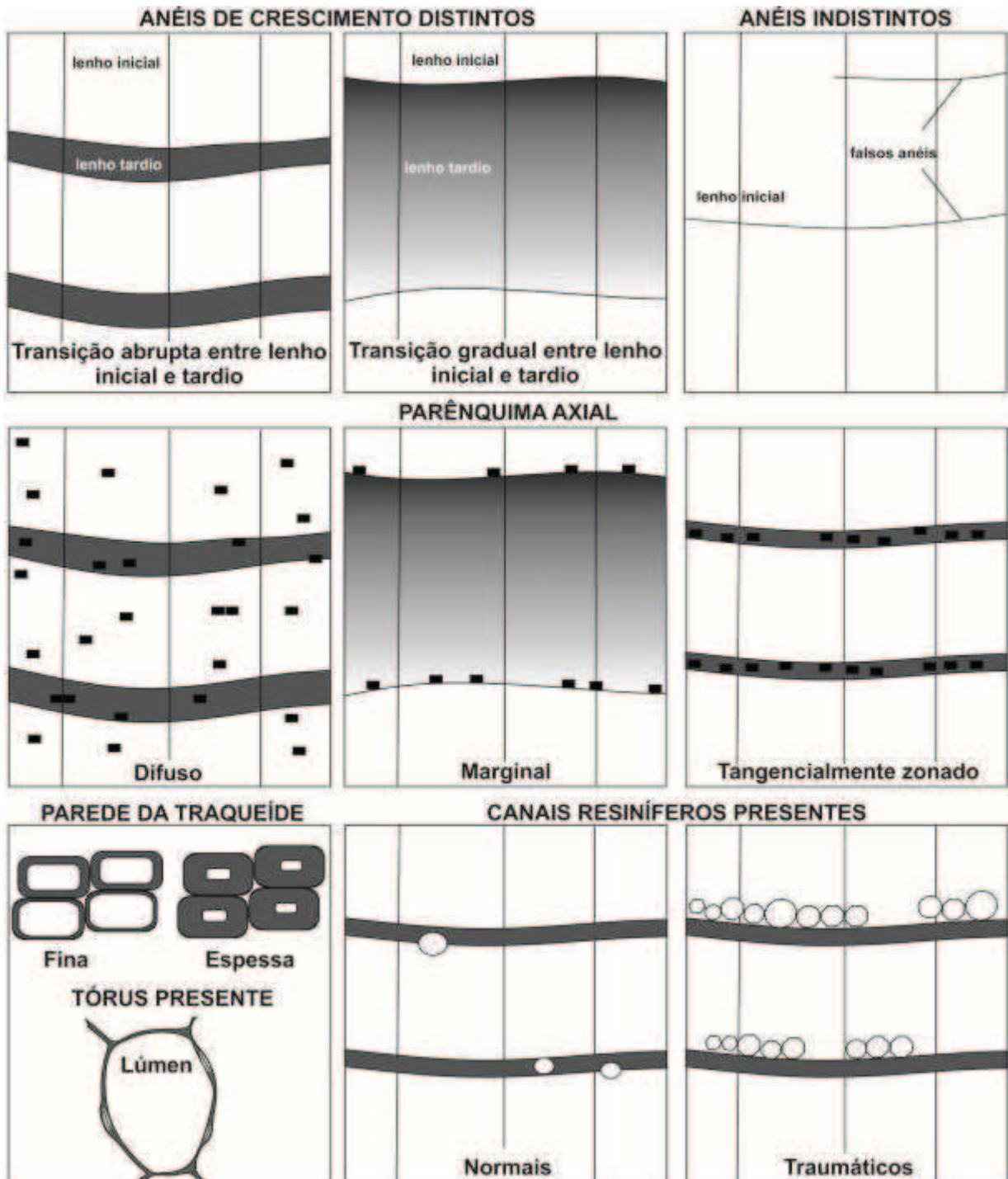


Figura 13: Características anatômicas que devem ser observadas no plano transversal.

No plano tangencial, observam-se (apenas no lenho inicial) (Figura 14):

- Raios: altura em número de células (muito baixo: até 4 células; médio: 5 a 15 células; alto: 16 a 30 células e muito alto: mais de 30 células) e medidos em micrometros. Largura: em número de células (exclusivamente unisseriados, parcialmente bi- ou trisseriados). Medida da frequência dos raios por mm². Presença ou ausência de canais resiníferos radiais.

- Parênquima axial: localização, o aspecto das paredes transversais das células (lisas, irregularmente espessadas ou nodulares) e o preenchimento das células por compostos orgânicos.

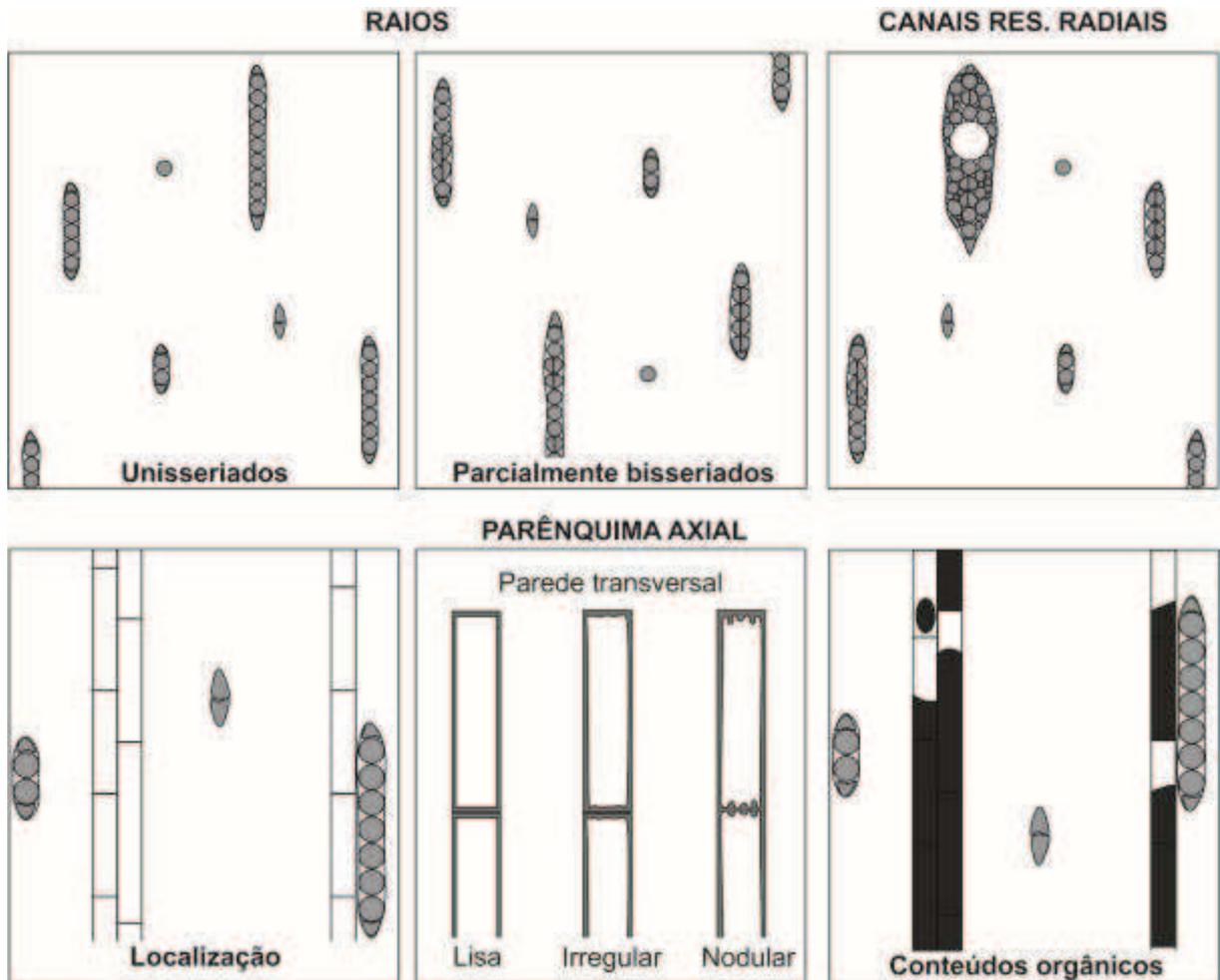


Figura 14: Características anatômicas que devem ser observadas no plano tangencial.

No plano radial, as características são observadas apenas no lenho inicial (Figura 15):

- Pontoações das traqueídes: apenas do lenho inicial, observam-se o tipo (unisseriadas, bi- ou multisseriadas), o arranjo (alternas ou opostas) e a distância entre elas (abietianas, araucarianas, mistas ou xenoxileanas).

- Raios: composição (apenas células parenquimáticas ou presença de traqueídes nos raios); paredes transversais e horizontais das células do parênquima radial (lisas ou com pontoações distintas); paredes celulares das traqueídes dos raios (lisa, dentada, reticulada); quantidade e tipo das pontoações dos campos de cruzamento.



Figura 15: Características anatômicas que devem ser observadas no plano radial.

A anatomia de lenhos gimnospérmicos é bastante uniforme e a distinção entre os tipos é bastante tênue e difícil (FALCON-LANG & CANTRILL, 2001). Das características citadas acima, as mais significativas são as pontuações⁹ das paredes das traqueídes e dos campos de cruzamento e é exatamente onde reside boa parte do problema das definições. Por isso, apresentam-se em maior detalhe as definições para as pontuações utilizadas neste estudo.

Tipos das pontuações das paredes radiais das traqueídes (PHILIPPE & BAMFORD, 2008):

- a) Abietiano: as pontuações são em sua maioria separadas, ou no máximo 10% delas são contíguas com uma das duas pontuações adjacentes; quando são mais agrupadas são separadas por barras de Sanio, neste caso, as pontuações são geralmente arredondadas. Quando são bi- ou plurisseriadas, as pontuações são opostas e as barras de Sanio nem sempre estão presentes.
- b) Araucariano: 90% das pontuações são contíguas com as pontuações vizinhas, neste estado as pontuações são geralmente achatadas e, quando são multisseriadas, são alternas. Ausência das barras de Sanio.
- c) Mistas: estado de transição entre as duas opções acima, lenhos com pontuações tanto abietiano quanto araucariano.
- d) Xenoxileano: as pontuações são muito achatadas, a largura é duas vezes maior que a altura, são contíguas com as pontuações vizinhas.

⁹ Pontuação: depressão na parede primária da célula, ocasionada por uma menor deposição de fibrilas de celulose. Sobre esta região não há o desenvolvimento da parede secundária, mantendo a comunicação entre as células vizinhas (RAVEN, 1999).

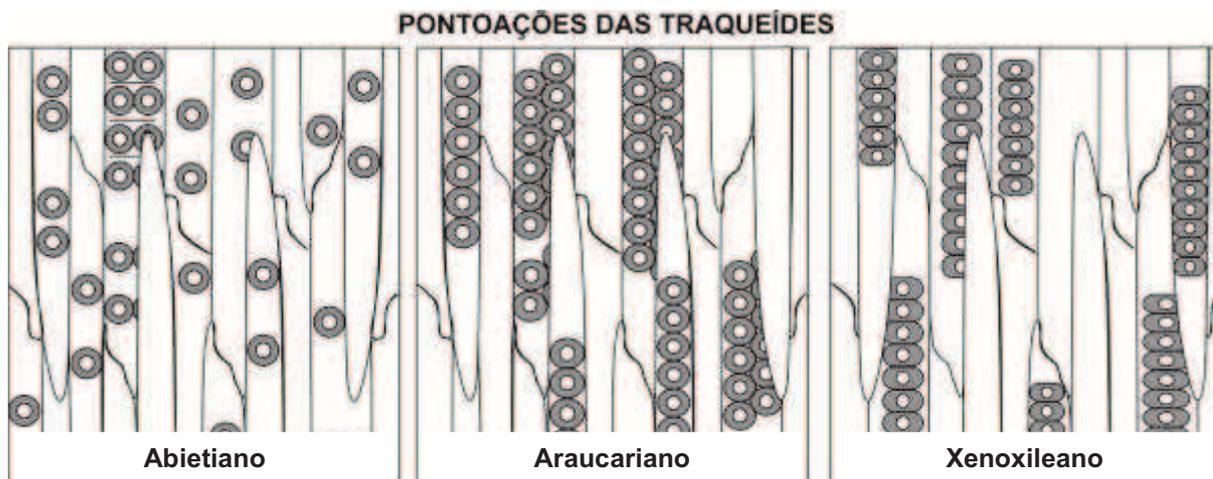


Figura 16: Desenho esquemático dos tipos de pontoações das paredes radiais das traqueídes em lenhos gimnospermiados.

Pontoações dos campos de cruzamento (Figura 17):

- a) Fenestriforme: usualmente 1-2 grandes pontoações simples ou aparentemente simples, são retangulares e ocupam toda a área do campo de cruzamento (IAWA Comitee, 2004). MERLOTTI (2011) sugere fenestróide.
- b) Pinóide: ocorrem em números de 1 a 6 pontoações, o mais comum são mais de 3. Podem ser pequenas ou grandes pontoações, depende do número por campo de cruzamento, podem ser simples ou com bordas reduzidas, frequentemente apresentam formas irregulares, mais ou menos retangulares (IAWA Comitee, 2004).
- c) Piceóide: apresentam pontoações com bordas muito amplas e as aberturas são estreitas, como uma fenda, cujos limites muitas vezes se estendem (IAWA Comitee, 2004).
- d) Cupressóide: apresentam aberturas elípticas, bem mais estreitas que a aréola com os limites internos à borda, ao contrário das piceóides. O eixo maior da abertura varia em posição de vertical a horizontal num mesmo espécime (IAWA Comitee, 2004).
- e) Taxodióide: apresentam aberturas grandes, ovais a circulares, que excedem a largura da borda em seu ponto mais largo (IAWA Comitee, 2004).
- f) Araucarióide: as pontoações individuais são predominantemente cupressóides, mas o arranjo é distinto. Organizam-se em linhas alternas de, geralmente, três ou mais pontoações com tendência a agrupar-se; as pontoações individuais tem o limite poligonal, similares às pontoações alternas das traqueídes (IAWA Comitee, 2004).
- g) Filocladóide: pontoação fenestriforme, usualmente solitária, com tipos pontoados a sub-pontoados, sem aréola (PHILIPPE & BAMFORD, 2008).

- h) Podocarpóide: um oculiporo¹⁰ com uma estreita abertura sub-vertical (PHILIPPE & BAMFORD, 2008).



Figura 17: Desenho esquemático dos tipos de pontoações de campos de cruzamento em lenhos gimnospérmicos.

O termo “pontuação podocarpóide” é amplamente utilizada em Paleobotânica, porém neste estudo concorda-se com a posição do IAWA Comitee (2004) que as consideram como um tipo que está inserido em cupressóide. Desta maneira, o termo podocarpóide não é utilizado aqui. Além disso, não são todos os fósseis denominados *Podocarpoxyton* que apresentam as pontoações podocarpóides, e tampouco as outras características descritas pela primeira vez por Gothan (1905) (PHILIPPE & BAMFORD, 2008).

No que se refere ao tamanho e bordas das pontoações, os termos ooporo e oculiporo, por definição indicam, respectivamente, pontoações grandes com bordas muito reduzidas ou ausentes e pontoações pequenas com a abertura em forma de fenda. Todavia, há na literatura ooporos cupressóides e podocarpóides, o que indica que os autores estão utilizando apenas parte da definição do termo, o que se refere ao tamanho. Assim, para evitar maiores enganos, os termos não são aplicados neste estudo.

1.4.2 Tafonomia – Modos de Preservação da Madeira

A completa formação do fóssil, desde a sua morte até ser encontrado, é o escopo da Tafonomia. Os processos dividem-se em: tafonômicos e diagenéticos; os tafonômicos ocorrem desde a morte ao soterramento do vegetal por sedimentos e os diagenéticos iniciam-se com o soterramento, até a formação da rocha (GASTALDO, 1989). De todo o corpo da planta, os órgãos que apresentam xilema secundário (raízes e caules) são os mais facilmente

¹⁰ Oculiporo: é uma pontuação pequena com abertura em forma de fenda. Seu antônimo é ooporo, pontuação grande, com abertura larga e bordas reduzidas ou ausentes. Esta definição não consta do guia da IAWA (2004), porém é utilizada por muitos paleobotânicos.

preservados no registro fossilífero, devido sua resistência, ficando para trás apenas dos esporos e pólenes (FRANCIS *et al.*, 2006). Geralmente, a região que permanece preservada é a correspondente ao cerne, pois o alburno contém muita água, é mais tenro e facilmente atacado por fungos, bactérias e organismos xilófagos (WHEELER, 1991).

Em contexto paleontológico, os lenhos preservam-se, basicamente, de quatro maneiras distintas, sintetizados na Figura 18:

1) Permineralização (Figura 18):

É o processo pelo qual os minerais preenchem as células e os espaços intercelulares. Inicia-se com a madeira submersa em água contendo alta concentração de minerais dissolvidos, os mais comuns são o dióxido de silício (SiO_2), os carbonatos (como o CaCO_3), óxidos e piritas (TAYLOR *et al.*, 2009).

A água preenche as células, os espaços intercelulares e as rachaduras causadas após a morte do vegetal. O processo inicia-se a partir das paredes celulares (JEFFERSON, 1987):

- a) O ácido silícico diluído permeia e infiltra-se nas paredes celulares, formando pontes de hidrogênio com os grupos hidroxílicos funcionais das moléculas dos constituintes das paredes celulares.
- b) Os monômeros de ácido silícico se unem sobre as nanofibrilas da parede celular, interagem e polimerizam-se, eliminando desta maneira a água.
- c) Desenvolve-se uma película de sílica ao longo das superfícies das paredes celulares e a sílica preenche também os espaços intercelulares.
- d) O filme molecular é convertido, ao longo de centenas de anos, em opalina ou cristobalito (opalina-CT).
- e) A opala é transformada em calcedônia e quartzo após 10 – 100 M.a.
- f) O estágio final pode ser o total preenchimento dos lúmens.

Os principais fatores para que ocorra a permineralização são a temperatura e o pH corretos. Houveram várias tentativas de realizar o processo em laboratório e conseguir “o fóssil instantâneo”. LEO & BORGHOORN (1976) utilizaram pH neutro e temperatura de 70°C, obtendo sílica frágil, amorfa, como o da primeira fase da permineralização. Geralmente, as tentativas em laboratório utilizam produtos não disponíveis na natureza e múltiplas linhas de evidências revelam que a madeira fóssil natural permineralizada com opalina-CT, calcedônia e quartzo microgranular requer milhões de anos para ser formada (VINEY, 2011).

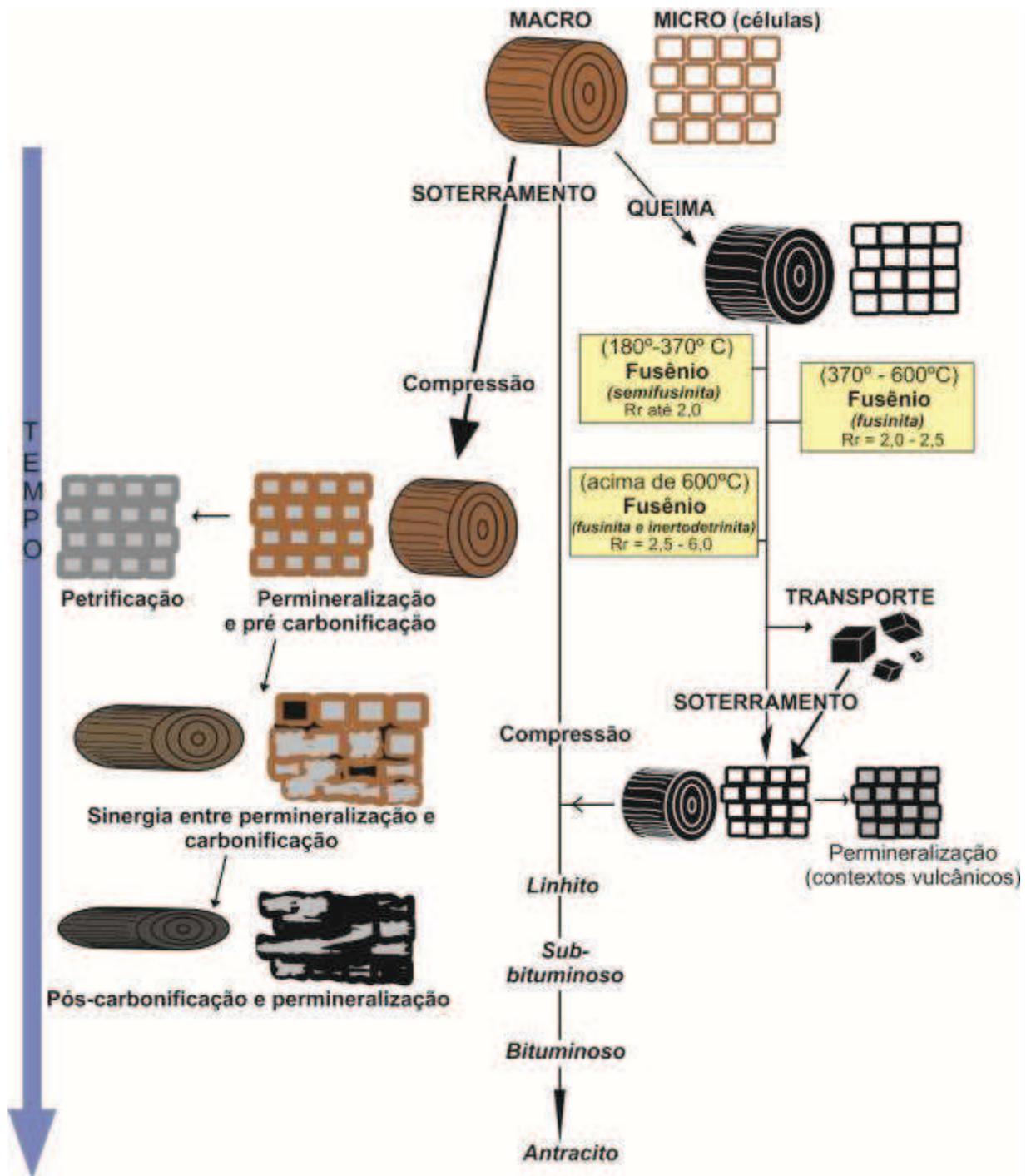


Figura 18 – Modos de preservação da madeira. Adaptado de JONES et al. (1993), SCOTT (2000), SWEENEY et al. (2009) e SCOTT (2010).

A degradação da madeira por atividade de fungos e/ou bactérias é outro fator importante na permineralização por sílica, mas principalmente, por minerais ricos em cálcio e pirita (SCOTT & CONLINSON, 2003). A atividade bacteriana aumenta a porosidade para a infiltração da água e, ainda, libera os grupos hidroxílicos primordiais na polimerização dos minerais (SWEENEY et al., 2009).

A permineralização por sílica é o processo mais estudado e conhecido, porém, a permineralização por calcita está entre os modos de preservação mais comuns e a ampla variação da mineralização carbonática está diretamente relacionada ao ambiente deposicional e diagenético (SCOTT & COLINSON, 2003). Estes autores analisaram madeiras permineralizadas por calcita, sob métodos variados, e obtiveram resultados interessantes. Um deles foi a presença “aparente”, sob luz refletida, de parede celular orgânica preservada em amostras do Plioceno de Dunaroba (Itália). Estas amostras, em luz transmitida e refletida, aparentavam apenas o preenchimento dos lumens celulares por calcita, no entanto, as várias análises empregadas¹¹ demonstram que a calcita, aliada aos minerais ricos em ferro (calcita ferrosa), compõe, a estrutura das paredes celulares, e a preservação real das paredes orgânicas ocorre apenas nas áreas onde não há permineralização. Os autores demonstraram que a simples análise de lâminas em microscopia ótica sob luz branca ou polarizada pode induzir ao erro, nas inferências sobre “permineralizações normais”, o que acarreta em interpretações equivocadas sobre o ambiente deposicional, processos tafonômicos e diagenéticos, ainda, que a diversidade das possibilidades é bastante ampla e merece o empenho da pesquisa.

Os dois modos principais de permineralização por minerais carbonáticos evidenciados em amostras de *Dunaroba* (Plioceno, Itália) e *Swindow* (Jurássico, Reino Unido), analisados por SCOTT & COLLINSON (2003) são importantes na compreensão das condições necessárias a estes modos de permineralização:

“Modelo de Dunaroba:

A permineralização ocorre por minerais ricos em ferro (carbonatos ou óxidos de ferro), incluindo siderita, goethita¹² e calcita ferrosa. Esta deposição dos minerais é afetada pelo Eh – pH, que estão relacionados a fatores como a concentração de íons carbonato, a quantidade de matéria orgânica em decomposição e o sistema deposicional da pirita.

Durante a decomposição da madeira, sabe-se que a celulose é quebrada antes da lignina e forma dióxido de carbono e metano, o que pode promover um ambiente redutor (óxico ou anóxico) e a ausência de enxofre pode ser pós-óxica e metânica. Nestas circunstâncias e presença de ferro, a siderita é comumente precipitada. A precipitação dos óxidos de ferro ocorre na superfície da matéria orgânica em biofilmes, pois são iniciadas

¹¹ Os autores analisaram o material em luz transmitida, luz polarizada, luz refletida com óleo de imersão, catodoluminescência, microscopia eletrônica de varredura e raio-x.

¹² Siderita: mineral composto por carbonato de ferro.
Goethita: mineral composto por óxido de ferro.

pela ação bacteriana, produzindo dióxido de carbono que rapidamente absorvem íons metálicos.

A siderita é propensa a se solubilizar e redepositar, assim os óxidos de ferro podem ser um produto recente do intemperismo da siderita.

A calcita pode precipitar em preferência à siderita onde o pH aumenta de 7 para 8. Se, contudo, houver Fe^{2+} insuficientes em relação aos íons Ca^{2+} , então ocorrerá a precipitação preferencial de siderita.

A calcita ferrosa deposita-se apenas nas células que apresentam uma faixa de minerais ricos em ferro, depositadas adjacentes ao preenchimento do lumen e isso se relaciona ao pH local.

Este exemplo sugere que a precipitação dos minerais é fortemente influenciada por mudanças muito pontuais de Eh e pH e que a quebra das paredes orgânicas pode mudar as condições de Eh e pH da água que preenche os poros, o que encoraja a precipitação mineral.

Modelo de Swindon:

A madeira é preenchida por fosfato de cálcio, parcialmente (como um revestimento) ou totalmente, preenchendo o lúmen e em faixas estreitas entre as células. A decomposição bacteriana da matéria orgânica nos sedimentos produz fosfato e os ossos também são fontes potenciais deste íon. O fosfato também pode substituir a calcita ou ser precipitado o invés da calcita em condições de pH neutros ou levemente acidificados.

A pirita aparece restrita às células de parênquima radial, isso pode refletir condições distintas de Eh – pH, criados pela decomposição do conteúdo celular existente nestas células, pois a pirita forma-se apenas em ambientes parcialmente anóxicos.”

A partir destes exemplos de SCOTT & COLLINSON (2003) é importante perceber que os processos não são direcionados apenas pelas condições de Eh e pH dos ambientes deposicionais, mas também são fortemente influenciados pelas condições criadas microscopicamente, pontualmente, no interior dos fósseis pela atividade bacteriana.

2) Petrificação (Figura 18):

É o processo pelo qual as paredes celulares orgânicas são totalmente substituídas por minerais (TAYLOR *et al.*, 2009). A deposição da sílica no lúmen e espaços intercelulares pode ocorrer algumas vezes, como eventos distintos, porém não se trata de uma regra (SCURFIELD, 1979).

O papel inicial no processo de petrificação foi atribuído, várias vezes, a óxidos de silício e ferro, sulfetos de metais (Fe, Pb, Zn, Cu e Hg) e enxofre. Além dos sulfatos de bário e fluoreto de cálcio, carbonato de fluorapatita, carbonato de cálcio, Fe^{2+} , cálcio, cobre e silicatos complexos. Todavia, de todos estes, a sílica é o mineral para a petrificação, por excelência, tanto por sua abundância natural, quanto pela capacidade de se ligar aos polímeros das paredes celulares. Como na permineralização, o processo inicia-se com a água que preenche as células, os espaços intercelulares e as rachaduras causadas após a morte do vegetal (SCURFIELD & SEGNET, 1984):

- a) Ocorre a entrada de sílica em solução ou como um colóide.
- b) As superfícies das partículas de sílica são convertidas em grupos hidroxílicos.
- c) Pode ocorrer a ligação dos grupos hidroxílicos, via pontes de hidrogênio, aos polímeros das paredes celulares que se tornam cada vez mais hidrofílicos, processo que remove a lignina. A dissolução e substituição da parede são concomitantes e mantêm a estabilidade dimensional da madeira.
- d) A deposição da sílica nos espaços intercelulares e/ou nos espaços, criados após a morte do vegetal, pode ocorrer simultaneamente à substituição das paredes ou posteriormente, como um evento distinto.
- e) O final da petrificação envolve perda de água e, talvez, transformação de uma forma de sílica em outra por recristalização (com nova entrada de solução) ou por substituição pseudomórfica¹³.

A petrificação depende da densidade da madeira, da organização de seus tecidos, dos movimentos de transporte pós-morte e a entrada de água contínua ou episódica (SWEENEY *et al.*, 2009). É tido como um processo de continuação da permineralização (SCOTT, 2010), promovido por temperatura e pH corretos e facilitado pela atividade de microorganismos (SCURFIELD, 1979, SWEENEY *et al.*, 2009).

Este processo ocorre normalmente em contextos de deposição vulcânica e atividade hidrotermal, pela abundância de sílica (SCURFIELD & SEGNET, 1984). Porém, WEIBEL (1996) pesquisou madeiras petrificadas do Mioceno médio de Voervadsbro (Dinamarca), cujas formações não eram de contexto vulcânico e não havia fonte de sílica nos sedimentos. O autor concluiu que, neste caso, a sílica era proveniente dos processos de intemperismo das rochas feldspáticas e formação dos solos.

¹³ Substituição pseudomórfica: ocorre quando um mineral substitui outro, porém, mantém o hábito do mineral original.

3) Carbonificação (Figura 18):

É o processo diagenético que envolve transformações físicas e químicas da turfa em linhito, carvão sub-betuminoso, betuminoso a antracito e meta-antracito a grafite (não necessariamente grafite puro). Também é chamado de metamorfismo do carvão (TEICHMÜLLER & TEICHMÜLLER, 1975; SUAREZ-RUIZ & WARD, 2008) (Figura 19).

As turfas são áreas pantanosas, onde há a deposição de restos de plantas. Os restos vegetais ficam cobertos pela água, protegidos da oxidação, sendo parcialmente decompostos e, posteriormente passando pelos estágios da carbonificação, originam carvões húmicos (LEWANDOWSKI, 2009).

A formação do carvão ocorre por aumento da pressão, que acarreta aumento da temperatura, ao longo do tempo. Por exemplo, são necessárias temperaturas muito baixas para formar um carvão betuminoso, entre 100° - 150° C, o que indica a importância do tempo para o processo (TEICHMÜLLER & TEICHMÜLLER, 1975).

O carvão é um material heterogêneo. Em origem, trata-se de uma rocha sedimentar de origem orgânica, formada por fragmentos de vegetais transformados ao longo do tempo pela ação combinada de bactérias e fungos, pressão e calor (SUAREZ-RUIZ & WARD, 2008).

A Paleobotânica Marie Stopes (1919, 1935) introduziu o termo maceral para definir os constituintes do carvão, uma analogia aos minerais que formam as rochas (TAYLOR *et al.*, 2009). Todos os macerais apresentam o sufixo “-inita” e são classificados em três grupos: vitrinita, exinita (ou liptinita) e inertinita. A classificação do carvão é feita a partir de suas características físicas, químicas, macroscópicas e a partir das características dos macerais

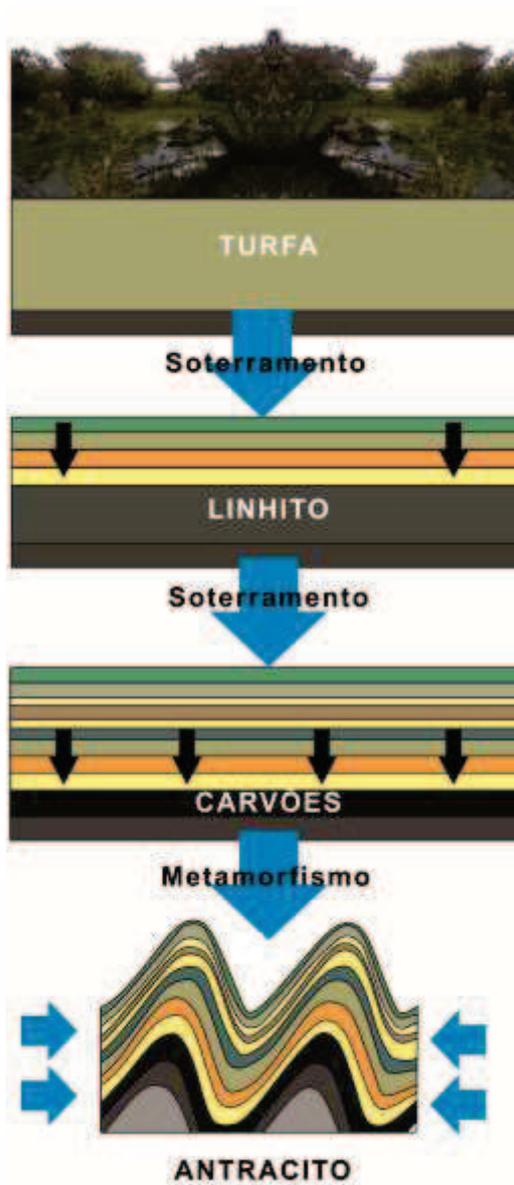


Figura 19 – Evolução da turfa ao antracito (adaptado de CLIMANTICA, 2011)

(TEICHMÜLLER & TEICHMÜLLER, 1975). Além disso, é possível utilizar os macerais para estudos de paleoecologia e para identificação de lenho (POOLE, 2006).

Inicialmente, os carvões húmicos podem ser divididos em litotipos (bandas identificadas no carvão macroscopicamente, maiores que 1cm), seguindo a classificação de Stopes-Heerlen e o sistema da Austrália (ICCP, 1971) (Tabela 3).

Tabela 3 - Classificação dos Litotipos dos carvões húmicos e suas características macroscópicas (adaptado de DIESSEL, 1965 por KALKREUTH, 1997).

Litotipo (ICCP- Stopes - Heerlen)	Sistema da Austrália (Diessel, 1965)	Características Macroscópicas
Vitrênio	Brilhante	Preto, usualmente com fissuras, brilho vítreo a subvítreo, fratura conchoidal, frágil, até 10% bandas de carvão fosco
	Bandado brilhante	Preto, usualmente com fissuras, brilho vítreo a subvítreo, fratura conchoidal, frágil, com bandas de carvão fosco (10-40%)
Clarênio	Carvão bandado	Semi-brilho, preto, apresenta estratificação muito fina. Bandas de carvão brilhante e fosco (40-60%)
	Carvão fosco bandado	Semi-brilho, preto, apresenta estratificação muito fina. Maior parte de carvão fosco com bandas de carvão brilhante (10-40%)
Durênio	Carvão fosco	Preto ou cinza-preto, duro, apresenta superfície áspera. Fosco e não fraturado, até 10% de carvão brilhante.
Fusênio	Carvão fibroso	Preto, brilho sedoso, fibroso, leve, friável.

Abaixo, apresentam-se as definições dos litotipos, segundo STACH (1982):

- Vitrênio: é preto e apresenta um brilho intenso. Frequentemente é frágil e atravessado por rachaduras finas e conseqüentemente, sua fratura é cúbica. Camadas espessas de vitrênio apresentam fraturas conchoidais. Macroscopicamente, observam-se apenas camadas brilhantes com espessura de pelo menos vários milímetros (3 a 10)¹⁵ e é amplamente distribuído nos carvões húmicos.

- Clarênio: o termo designa faixas de carvão muito finas estratificadas com espessura de pelo menos vários milímetros (3 a 10)¹⁵, com o brilho intermediário entre o vitrênio e o durênio. É o constituinte macroscópico mais comum dos carvões húmicos e consiste de faixas finas intercaladas de vitrênio, durênio e, algumas vezes, fusênio também.

- Durênio: pode ser preto ou cinza, é sempre amorfo. Durênio preto pode apresentar brilho levemente oleoso. É sempre muito duro e como consequência da rigidez, quebra em grandes caroços, os planos de fratura são ásperos. Considera-se como durênio, apenas faixas maiores que vários milímetros (3 a 10)¹⁵; camadas amorfas mais finas são classificadas como clarênio. Bandas de durênio são menos frequentes que bandas de vitrênio e clarênio. Camadas de durênio maiores que 10 cm foram identificadas. Algumas vezes este litotipo é confundido com bandas de xisto carbonáceo, os quais também são amorfos e muito duros.

- Fusênio: assemelha-se a carvão (*charcoal*) de madeira, frequentemente é um pouco fibroso e geralmente é leve e friável, suja as mãos se for quebrado manualmente. Com menor frequência, ocorre como fusênio rígido, sob microscópio reconhece-se a composição por fusita dura impregnada com matriz mineral. Fusênio leve consiste de fusita leve com lumens celulares vazios. Usualmente, as lentes de fusênio concentram-se em horizontes, chamados “horizontes de incêndio” (*fire horizons*). Podem ocorrer bandas de fusênio maiores que 20 cm de espessura e vários metros de comprimento. Na maioria dos carvões (*coal*), o fusênio é sempre a menor fração.

Cada litotipo, microscopicamente, é composto por microlitotipos que são associações de macerais. A Tabela 4 apresenta a composição microscópica dos litotipos.

Tabela 4 – Classificação dos litotipos, microlitotipos e macerais dos carvões betuminosos, segundo a classificação de Stopes – Heerlen, após o *International Handbook of Coal Petrography*, 1971 (traduzido de TEICHMÜLLER & TEICHMÜLLER (1979)).

Litotipo	Microlitotipo (principais grupos de maceral que o constituem)	Grupo do Maceral	Maceral
Vitrênio	vitrita (vitrinita)	vitrinita	Telinita
	vitrinertita (vitrinita + liptinita)		Colinita
	clarita (vitrinita + liptinita)		Vitrodetrinita
Clarênio	duroclarita (vitrinita + liptinita + inertinita)	Liptinita (= exinita)	Esporinita
	clarodurita (inertinita + liptinita + vitrinita)		Cutinita
Durênio	liptita (inertinita + liptinita)	inertinita	Resinita
	durita (inertinita + liptinita)		Alginita
Fusênio	fusita (fusinita + semifusinita)	inertinita	Liptodetrinita
			micrinita
			Macrinita
			Esclerotinita
			Inertodetrinita
			Semifusinita
			Fusinita

Os macerais diferem entre si, segundo sua morfologia, estrutura e reflectância (TEICHMÜLLER & TEICHMÜLLER, 1979). Apresentam origem variada, porém os que se

originam a partir da madeira são a telinita, colotelinita, colodetrinita e vitrodetrinita, todos do grupo da Vitrinita. Pertencente ao grupo da Liptinita há apenas a resinita, originada dos conteúdos orgânicos (STACH, 1982). Já, ao grupo da Inertinita pertencem a fusinita, semifusinita e inertodetrinita (ICCP, 2001). As características de cada maceral, segundo STACH (1975) estão relacionadas abaixo:

- Telinita (grupo da Vitrinita): as paredes celulares e tecidos são facilmente reconhecidos. Os lúmens das células estão em sua maior parte preenchidos por minerais ou outros macerais. As paredes celulares apresentam-se geleificadas.

- Colinita (grupo da Vitrinita): faixas de vitrinita mais ou menos homogeneizadas, algumas regiões mostram estruturas celulares pouco definidas.

- Colodetrinita (grupo da Vitrinita): massa vitrinítica que une outros componentes do carvão, macerais ou minerais, fortemente geleificada.

- Vitrodetrinita (grupo da Vitrinita): fragmentos discretos de vitrinita, menores que 10µm.

- Resinita (grupo da Liptinita): preenchimentos celulares individuais, ovóides, globulares ou em formas irregulares; impregnações na vitrinita, apresentam diferentes propriedades de acordo com sua origem.

- Fusinita (grupo da Inertinita): apresenta paredes celulares bem preservadas, lúmen celular vazio, estrutura “*bogen*” ou “*estrela*”¹⁴. Pode apresentar placas de perfuração e pontoações bem preservadas. A reflectância é alta e apresenta coloração branca à amarelada, não fluoresce. Termos relacionados: *fusain*, pirofusinita e degradofusinita (ICCP, 2001).

- Semifusinita (grupo da Inertinita): as células podem estar bem preservadas, preenchidas por outros macerais ou minerais, mas também podem estar fechadas ou deformadas. As paredes celulares não apresentam limites claros e os lumens são sempre parcialmente visíveis e menores que os seus correspondentes na fusinita. A reflectância situa-se entre a vitrinita e a fusinita; a coloração é de cinza a branca. A fluorescência depende da reflectância, quanto maior a reflectância, menor a fluorescência. Também pode ser originada em incêndios florestais. Termos relacionados: vitrofusita, gelifusinita-telinita.

- Inertodetrinita (grupo da Inertinita): fragmentos de vitrinita, menores que 10µm, sem estrutura. Não fluoresce. Termos relacionados: fragmento de fusinita ou semifusinita.

¹⁴ Estrutura “*bogen*” ou estrela é um tipo de quebra, onde as paredes celulares quebram e os pedaços encaixam-se uns aos outros (STACH, 1975).

Os pesquisadores de carvão estabeleceram a existência de uma relação distinta entre a reflectância¹⁵ de um maceral e a sua quantidade de carbono ou matéria volátil. Esta medida determina o *rank* do carvão (Figura 20), ou seja, em que fase da carbonificação se encontra (WARD & SUAREZ-RUIZ, 2008). É importante salientar que o *rank* é determinado por vários aspectos físicos e químicos (incluindo quantificação dos compostos voláteis e poder calorífico), a reflectância é apenas um deles (WARD & SUAREZ-RUIZ, 2008).

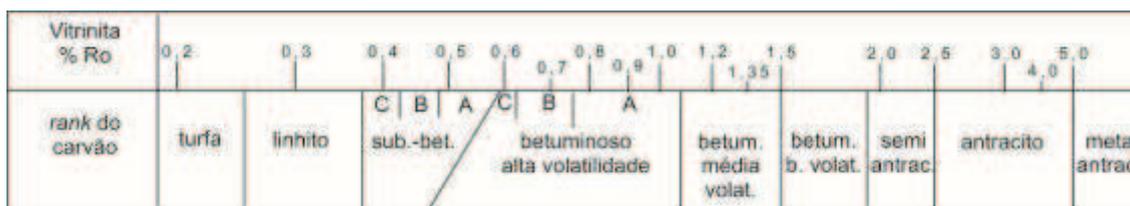


Figura 20 – Diagrama indicando o rank do carvão e os valores de reflectância da vitrinita para cada estágio. Modificado de TAYLOR et al. (1998).

Alguns aspectos ainda devem ser considerados:

a) O processo de carbonificação não ocorre isoladamente ao processo de permineralização ou petrificação, madeiras preservadas por estes processos ocorrem nos mesmos depósitos e podem co-ocorrer, como na formação de uma *coal ball*¹⁶ e na mineralização por sulfetos e carbonatos. Contudo, a mineralização do tecido lenhoso geralmente ocorre antes da carbonificação, pois quando há muita degradação das paredes celulares não é possível ocorrer a mineralização (SWEENEY et al., 2009).

b) Após muitas décadas (desde o final do século XIX) de discussões intensas sobre a origem do Fusênio e dos seus macerais constituintes, atualmente aceita-se que originam-se pela queima em incêndios (SCOTT, 1989, 2000, 2010).

4) Carbonização (Figura 18):

Esta é outra forma, sob a qual a madeira é preservada, na qual a matéria orgânica é convertida em carbono pela pirólise. Neste caso, há ou não a preservação da anatomia da madeira (SCOTT & DAMBLON, 2010), com uma diminuição das dimensões celulares de aproximadamente 30% (FALCON-LANG & CANTRILL, 2001). Após a transformação da

¹⁵ Reflectância: medida em microscopia de luz refletida com óleo de imersão, indica o quanto um maceral reflete a luz. Quando a matéria orgânica é convertida desde complexos hidrocarbonetos em carbono, até grafite, a reflectância da vitrinita aumenta e indica o grau de transformação (BUCHER & GRAPES, 2011). Normalmente medida a reflectância da vitrinita por ser o maceral mais abundante dos carvões.

¹⁶ Coal ball: um tipo de permineralização conhecido para o Carbonífero e Permiano, são carvões nos quais os fragmentos vegetais são preservados por cálcio, carbonato e outros minerais (ex.: pirita) (TAYLOR et al., 2009).

matéria orgânica, os carvões podem permanecer preservados no solo, livres do apodrecimento (SWEENEY *et al.*, 2009).

O fogo é um processo destrutivo e necessita de um nível significativo de oxigênio para a queima prosseguir, resultando no aumento rápido da temperatura, o que pode causar a pirólise¹⁷ do tecido não queimado da planta. Este aumento de temperatura, onde não há oxigênio disponível, resulta na formação do carvão (*charcoal*). A combustão completa do material vegetal pode não ocorrer, resultando na transição de tecidos não carbonizados até tecidos muito carbonizados em um espaço de vários milímetros (SCOTT, 1989).

Para que o fogo comece e se propague são necessárias quatro fases de combustão (SCOTT, 2000):

a) Pré-ignição: a temperatura do combustível aumenta por reações endotérmicas, de modo que a água evapora e compostos voláteis são liberados. A desidratação pode ser rápida e a pirólise tem como produtos alcatrões¹⁸ e outros líquidos, além de carvão e cinza. A celulose, que compõe 70% das paredes celulares da madeira, é estável até temperaturas maiores que 250°C, mas a 325°C inicia-se sua quebra, gerando gases inflamáveis. Já a lignina, que corresponde a 30% das paredes celulares, é mais resistente à degradação térmica e é mais propensa a ser transformada em carvão.

b) Ignição: é a fase transitória entre a pré-ignição e a combustão e produz uma forte reação exotérmica, a qual deve se estender para que a fase de combustão ocorra e se propague. As temperaturas para esta fase estão em torno de 325°C. Embora os raios sejam a maior causa de ignição, a combustão espontânea também ocorre, pois a degradação da matéria orgânica é um processo exotérmico (a ação dos microrganismos pode elevar a temperatura a 70°C). Em ambos os casos, é necessária uma boa quantidade de oxigênio.

c) Combustão: esta fase ocorre sob duas formas comumente reconhecidas, a flamejante e a combustão em brasas, a proporção de cada uma muda durante a existência do fogo. O oxigênio é essencial para essas reações. As chamas são produzidas pelos gases liberados fases anteriores e dependem da composição e

¹⁷ Pirólise: é o processo de degradação química da matéria orgânica, através do aumento da temperatura na presença de pouco ou nenhum oxigênio.

¹⁸ Alcatrão: é uma substância espessa, algumas vezes xaroposa de cor escura que varia do castanho ao negro, com forte odor característico e se forma a partir da condensação dos gases liberados durante a combustão (BENITES *et al.*, 2010).

quantidade dos compostos voláteis. A produção das chamas está entre 425 a 480°C, mas as temperaturas máximas, em condições de laboratório, chegam a 1900 a 2200°C. As temperaturas das chamas comuns em incêndios estão entre 700 a 980°C. A combustão em brasas também é importante numa situação de incêndio natural, pois incêndios frequentemente inflamam fogos de chão. Dentro das camadas de areia do solo as temperaturas são baixas, em torno de 300°C, mas podem chegar a 600°C e permanecerem altas por várias horas, como um mecanismo que origina carvões em grandes quantidades.

d) Extinção: ocorre quando o combustível se esgota ou quando o calor reduz. A umidade contida num combustível exerce o maior efeito nesta fase.

Os carvões podem ser diferenciados dos lenhos fósseis a partir de suas características físicas, químicas e anatômicas (Tabela 5).

Tabela 5 – Distinção entre madeira fóssil e carvão. Traduzido de JONES & CHALONER (1991).

Madeira fóssil	Carvão (Fusinita)
Proporção comprimento/diâmetro: alta (>30)	Proporção comprimento/diâmetro: baixa (< 2)
Brilho: superfície brilhosa ou fosca	Brilho: sedoso;
Fratura: pode ocorrer no sentido original das fibras da madeira, ou se altamente carbonificada, pode apresentar fraturas conchoidais;	Fratura: em blocos cuboides;
Risco: ausente ou marrom fraco;	Frágil: sim;
Porosidade: nos planos de fratura as células estão geralmente obstruídas;	Risco: preto no papel
Anatomia: textura não perceptível. Paredes celulares com a lamela média visível sob MEV. Apresenta cor marrom sob luz transmitida e as superfícies polidas apresentam baixa reflectância;	Porosidade: original da madeira, tipicamente células com lúmen vazio;
Sob solução de Schultze: oxida em poucas horas;	Anatomia: textura fibrosa e configuração das células perceptíveis. Paredes celulares homogeneizadas, lamela média perdida como uma característica visível sob MEV. Totalmente opaco sob luz transmitida. Superfícies polidas apresentam alta reflectância;
Alto conteúdo volátil.	Sob solução de Schultze: resistente à oxidação, somente é atacado depois de alguns dias;
	Baixo conteúdo volátil.

O material identificado como carvão, ainda pode ser classificado microscopicamente de acordo com as características dos macerais semifusinita, fusinita ou inertodetrinita (fragmentos menores que 10µm) e pelas suas medidas de reflectância. A estimativa da temperatura de formação do carvão, pelas medidas de reflectância, pode ser bastante variável e foi amplamente investigada, através de pirólises experimentais, por T.P. Jones, A.C. Scott e M.J. Cope, CORREIA *et al.* (1974 *apud* SCOTT, 2000) também publicaram dados experimentais (SCOTT, 2000). A combinação destes dados foi realizada por SCOTT (2000) e resultou na Figura 21, que serve de base neste trabalho para classificar carvões.

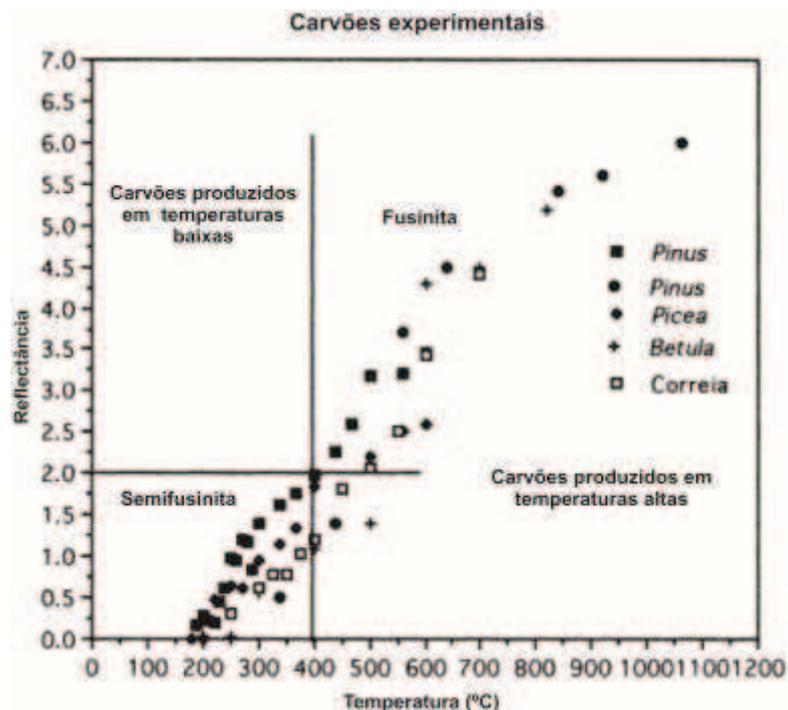


Figura 21 – Traduzida de SCOTT (2000) – Gráfico a partir de carvões experimentais, mostrando o aumento da reflectância diretamente relacionado ao aumento da temperatura. (Dados de SCOTT & JONES (1991), JONES et al. (1991) e CORREIA et al., 1974).

Desta maneira, tem-se que a semifusinita apresenta paredes celulares geralmente espessadas, os lumens celulares podem estar parcialmente fechados, a cor de reflectância é geralmente cinza a branca e a variação da reflectância é geralmente menor que $R_r = 2\%$. A fusinita caracteriza-se pela presença de lumens abertos, presença comum de estrutura “bogen”, a cor de reflectância é branca e valores de reflectância acima de 2% (SCOTT, 2000).

Com o aumento da temperatura, as paredes celulares se tornam homogêneas, isto é, a lamela média é perdida. JONES et al. (1993) apontam, a partir de dados experimentais, que temperaturas iguais ou menores a 180°C, não são suficientes para carbonizar a madeira; os tecidos tornam-se parcialmente carbonizados entre 180° - 230°C e, apenas com temperaturas acima de 230°C é que a madeira é carbonizada com aparente homogeneização das paredes celulares. SCOTT & JONES (1993) apontam para o aumento da homogeneização das paredes celulares variando entre 280 – 320°C. E em temperaturas acima de 370°C as paredes celulares podem começar a rachar, especialmente ao longo da lamela média e em temperaturas maiores que 600°C a parede pode se fragmentar (SCOTT & JONES, 1991).

Após a pirólise, o material pode ser soterrado e comprimido ou pode ser transportado, fragmentado e posteriormente soterrado. Em locais, cujo contexto é vulcânico, é bastante comum ocorrer a permineralização do material carbonizado após seu transporte (SCOTT, 2010).

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 MATERIAL

As amostras de lenho fóssil foram recuperadas durante a coleta de material para análises sedimentares e palinológicas, realizadas por Marcelo de Araujo Carvalho e Renato Rodriguez Cabral Ramos, no verão austral de 2006-2007, durante expedição à Ilha James Ross no quadro do projeto “Prospecção de fósseis do Cretáceo da Bacia de James Ross, Antártica Oriental” (PROANTAR-CNPq), coordenado por Alexander Kellner e Marcelo de Araujo Carvalho, do DGP/MN.

Estas amostras foram separadas em campo e definidas como “carvões”, por apresentarem coloração externa enegrecida (Figura 22), e identificadas de acordo com as suas posições nos perfis estratigráficos das Formações Whisky Bay ($63^{\circ}45'30,7''S$ / $57^{\circ}53,2'16,6''O$), Hidden Lake ($63^{\circ}48'50,8''S$ / $57^{\circ}54'48,3''O$ e $63^{\circ}48'30''S$ / $57^{\circ}52'59''O$) e Santa Marta ($63^{\circ}52'05,2''S$ / $57^{\circ}54'18,9''O$), datadas do Albiano ao Campaniano (112 a 70 M.a.) (Figuras 1 a 8).



Figura 22 – Fósseis lenhosos nos afloramentos, a) *Fm. Whisky Bay*, b) *Fm. Hidden Lake*, c) *Fm. Santa Marta*, d-e) *Fm. Hidden Lake*. Martelo: 30 cm.

No total são 33 amostras que se fragmentam em 199 sub-amostras. Destas, 6 amostras (15 sub-amostras) pertencem à Formação Whisky Bay, 20 amostras (168 sub-amostras) à Formação Hidden Lake e 7 amostras (16 sub-amostras) à Formação Santa Marta. Todos os fósseis encontram-se depositados na coleção de Paleobotânica do Museu Nacional (MN-UFRJ), sob os números 479 Pbe a 511 Pbe (Tabela 5).

Tabela 6 - Amostras de fósseis lenhosos coletadas na Ilha James Ross. Indicando seus números na Coleção de Paleobotânica do Museu Nacional, UFRJ, as sub-amostras, as respectivas Formações e a litologia. (?): posição exata no perfil estratigráfico e litologia desconhecida.

Nº Col.	Sub-am.	Formação	Litologia
479 Pbe	A - F	Hidden Lake – perfil nº 2	Arenito muito fino gradando a silito
480 Pbe	A - L	Hidden Lake – perfil nº 2	Silito
481 Pbe	A - B	Santa Marta	Arenito muito fino
482 Pbe	única	Santa Marta – ?	?
483 Pbe	A - G	Hidden Lake – perfil nº 1	Silito
484 Pbe	A - I	Hidden Lake – perfil nº 1	Arenito muito grosso
485 Pbe	A - J	Hidden Lake – perfil nº 2	Silito
486 Pbe	A - C	Hidden Lake – perfil nº 2	Silito
487 Pbe	A-M	Hidden Lake – perfil nº 2	Silito
488 Pbe	única	Whisky Bay – perfil nº 2	Arenito fino
489 Pbe	A - B	Hidden Lake – perfil nº 2	Arenito muito fino
490 Pbe	única	Santa Marta – ?	?
491 Pbe	única	Hidden Lake – perfil nº 2	Arenito muito fino gradando a silito
492 Pbe	A - I	Hidden Lake – perfil nº 1 - ?	?
493 Pbe	A - E	Santa Marta	Silito
494 Pbe	A - C	Santa Marta – ?	?
495 Pbe	A - Q	Hidden Lake – perfil nº 2	Silito
496 Pbe	única	Santa Marta	Arenito muito fino
497 Pbe	A - K	Hidden Lake – perfil nº 1	Arenito fino
498 Pbe	única	Whisky Bay – perfil nº 1	Arenito grosso
499 Pbe	A - E	Whisky Bay – perfil nº 1	Silito
500 Pbe	A - F	Hidden Lake – perfil nº 1	Arenito muito grosso
501 Pbe	A - C	Santa Marta	Arenito muito fino
502 Pbe	única	Hidden Lake – perfil nº 1	Silito
503 Pbe	A - C	Hidden Lake – perfil nº 2	Silito
504 Pbe	A - U	Hidden Lake – perfil nº 2	Arenito muito fino
505 Pbe	A - Z	Hidden Lake – perfil nº 2	Arenito médio
506 Pbe	A - D	Whisky Bay – perfil nº 2	Silito com muitos “carvões”
507 Pbe	única	Whisky Bay – perfil nº 2	Arenito muito fino
508 Pbe	A - C	Hidden Lake – perfil nº 2	Silito
509 Pbe	A - G	Hidden Lake – perfil nº 2	Silito
510 Pbe	A - C	Hidden Lake – perfil nº 2	Silito
511 Pbe	A - C	Whisky Bay – perfil nº 1	Arenito grosso

2.3 MÉTODOS

2.3.1 Análise Macroscópica

Em laboratório, as amostras foram triadas, utilizando lupa manual conta fios, aumento de 10x (ZENID & CECCANTINI, 2007) e tomadas as medidas totais dos fósseis, de comprimento e diâmetro, com um paquímetro.

Para a análise macroscópica foram consideradas as características apontadas por JONES & CHALONER (1991) para a distinção entre madeira fóssil e carvão (*charcoal*), além de características observáveis em madeiras atuais para determinação macroscópica (IAWA Comitee, 1989; ZENID & CECCANTINI, 2007). Também foram consideradas as características macroscópicas utilizadas na descrição de litotipos de carvão (*coal*) (STACH, 1975). Todas as características estão apresentadas na Tabela 6.

Tabela 7 – Características macroscópicas, a maneira como foram observadas nos fósseis e suas fontes.

Características macroscópicas

Cor: observa-se em planos longitudinais recém-expostos (IAWA Comitee, 1989);

Fragilidade: capacidade da amostra quebrar manualmente (STACH, 1975 indica a dureza e fragilidade);

Fratura: modos de quebra (JONES & CHALONER, 1991; STACH, 1975);

Porosidade: presença ou ausência da textura natural da madeira, observada no plano transversal (JONES & CHALONER, 1991; STACH, 1975);

Risco: presença, ausência e coloração observada pela fricção da amostra em papel (JONES & CHALONER, 1991);

Brilho: observado nos planos recém-expostos (JONES & CHALONER, 1991; STACH, 1975);

Densidade de massa: sensorial, considerando apenas os extremos “leve” (baixa) e “pesada” (alta) (ZENID & CECCANTINI, 2007);

Minerais: presença ou ausência de minerais preenchendo ou envolvendo a amostra, formando uma película (STACH, 1975).

2.3.2 Análises Microscópicas

2.3.2.1 Microscopia de luz refletida sem óleo de imersão

Os fósseis foram quebrados tanto manualmente, quanto com o auxílio de um martelo para expor os planos da madeira. Posteriormente, observados sob microscópio de luz refletida Zeiss, sem óleo de imersão, seguindo a metodologia para carvões Quaternários (WESTERN, 1963; VERNET, 1973; LENEY & CASTEEL, 1975). As amostras foram observadas em microscópio Zeiss, documentadas utilizando câmera Olympus, no Laboratório de Paleoecologia Vegetal do Departamento de Geologia e Paleontologia, Museu Nacional, UFRJ.

2.3.2.2 Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV)

Fragmentos de 1 cm³ foram selecionados, submetidos à solução de ácido clorídrico (HCl) a 3% para remoção dos minerais carbonáticos, seguiu-se o banho em água destilada, repetido três vezes. Os *stubs* foram preparados, após sete dias de secagem à temperatura ambiente. Também foram preparados *stubs* com material ao natural, sem o tratamento prévio em ácido clorídrico.

2.3.2.3 Confecção de Lâminas Petrográficas

As lâminas foram preparadas, por desbaste, seguindo a metodologia padrão utilizada para fósseis lenhosos permineralizados (HASS & ROWE, 1999) no Laboratório de Mineralogia do Departamento de Geologia e Paleontologia, Museu Nacional, UFRJ.

Posteriormente, foram analisadas e fotografadas em microscópio de luz transmitida Zeiss, acoplado à câmera Olympus no Laboratório de Geologia Sedimentar do Instituto de Geologia, UFRJ.

2.3.2.4 Técnica da película de esmalte

Os fragmentos com os planos da madeira expostos foram selecionados e submetidos à técnica descrita por ANGELES (2001), que consiste em fazer o molde da superfície do

material com massa de silicone para moldagem odontológica. Neste caso, fez-se a aplicação da massa *Speedex – Coltene*, por resgatar detalhes anatômicos.

Sobre o molde aplicou-se uma camada de esmalte translúcida, após duas horas, a película resultante foi retirada com uma pinça, montada em lâmina e observada em microscópio de luz transmitida Zeiss, acoplado à câmera Olympus no Laboratório de Paleoecologia Vegetal do Departamento de Geologia e Paleontologia, Museu Nacional, UFRJ.

2.3.2.5 Microscopia de luz refletida com óleo de imersão e luz UV

As amostras foram submetidas à metodologia utilizada em análise de maturação de querogênio¹⁹, descrita por MENDONÇA FILHO *et al.* (2010), que consiste na inclusão do material particulado em resina e posterior polimento, para observação em microscópio óptico de luz refletida sob imersão, luz branca e azul/ultravioleta incidente (fluorescência).

Foram necessárias adaptações à técnica para que fosse aplicável ao material deste estudo:

Passo 1: Preparo das amostras

As amostras foram parcialmente quebradas com um martelo para a exposição dos planos da madeira. Os fragmentos foram observados sob estereomicroscópio para identificar os melhores planos (transversal, tangencial e radial). Cada plano foi marcado com uma gota de corretor líquido de texto (Figura 23: a).

Passo 2: Inclusão em resina

Para a confecção dos blocos, utilizaram-se formas cilíndricas siliconizadas com tampas, medindo 4cm de diâmetro e altura. Visando garantir a correta posição dos fragmentos, o fundo das formas foram previamente vedados com fita adesiva, mantendo a face colante voltada para o interior, e suas tampas próprias. Cada fragmento foi fixado com o plano marcado em contato com a face colante da fita. Os fragmentos de baixa densidade não ficam fixos apenas com a cola da fita adesiva, assim, aplicou-se também um pouco de adesivo instantâneo, *Superbonder*, na face marcada (Figura 23: b).

¹⁹Querogênio: formado nas rochas geradoras de petróleo pelo processo geoquímico de betuminização. É uma fração sólida, rica em hidrogênio, dos constituintes orgânicos que são insolúveis em solventes orgânicos (TEICHMÜLLER & TEICHMÜLLER, 1975).

As resinas utilizadas foram *Epofix (Struers)*, na proporção de 15ml de resina para cada 2ml de endurecedor, e *Polipox*, na proporção de 2g de resina para cada 1g de endurecedor. As resinas são tóxicas, assim, sua preparação e manipulação foram realizadas em capela, utilizando máscara, óculos e luvas.

Cada forma foi cuidadosamente preenchida pela resina, para que os fragmentos mantivessem a posição no bloco (Figura 23: c).

Os blocos secaram em capela por 48 horas e retirados das formas (Figura 23: d).

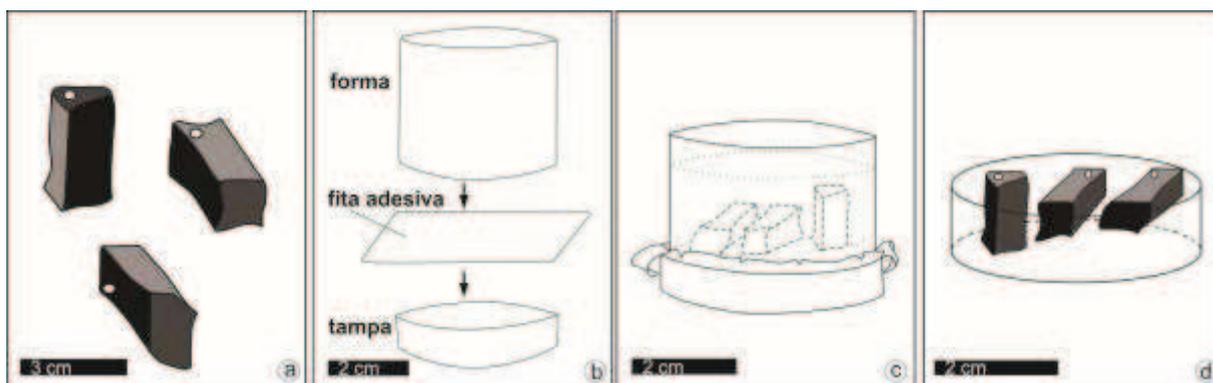


Figura 23 – Ilustração da adaptação à técnica de Mendonça-Filho et al. (2010): a) fragmentos fósseis com os planos transversal, tangencial e radial identificados com uma gota de corretor de texto; b) preparo da forma com fita adesiva; c) fixação dos fragmentos na fita adesiva e inclusão em resina; d) bloco seco e retirado da forma.

Passo 3: lixamento e polimento

Esta fase foi realizada utilizando uma politriz Aropol E (Arotec).

Para o lixamento, utilizaram-se lixas metalográficas com granulometria decrescente (220, 360, 600, 1200, 2400 e 4000), a 400 – 620 rpm. O procedimento demora cerca de uma hora por bloco.

O polimento foi realizado utilizando feltros de 1 μ m, 0.3 μ m e 0.05 μ m, com solução de alumina a 400 – 620 rpm. O procedimento demora 50 minutos, sendo 30 minutos apenas para o feltro de 1 μ m.

Os blocos foram lavados em ultrassom para a remoção da alumina.

Passo 4: observação e documentação

A observação dos blocos foi realizada em um microscópio Zeiss Axioskop, sob as objetivas de 10x, 20x, 50x e 100x, com óleo de imersão Zeiss Immersol 518F e filtros ultravioletas Zeiss G365, FT395 e LP420. As fotomicrografias foram obtidas utilizando a

câmera Zeiss AxioCam sob luz branca e ultravioleta. O programa de captura de imagens utilizado foi o AxioVision 4.8.

Este método foi aplicado a apenas 90 sub-amostras, contemplando todas as amostras coletadas, exceto as compressões. Todo o procedimento foi realizado no Laboratório de Palinofácies e Fácies Orgânica do Instituto de Geologia, UFRJ.

2.3.2.5.1 Medidas de reflectância

As medidas de reflectância da vitrinita foram tomadas em microscópio Zeiss Axioskop 2 Plus, sob objetiva de 40x, com óleo de imersão Zeiss Immersol 518F (índice de refração 1.518, a 23°C). A calibração foi realizada com dois padrões, Yttrium Aluminum Garnet (YAG $R_o = 0,903$) e Spinel ($R_o = 0,425$).

Para cada amostra, foram tomadas 25 medidas para o cálculo da média da reflectância (R_r) e desvio padrão. As fotomicrografias foram obtidas utilizando a câmera Colorview e o programa de captura de imagens Axio Vision 4.8.

2.3.3 Análise Estatística

O tratamento dos dados macroscópicos foi realizado com o Programa PAST 2.12 (HAMMER *et al.*, 2001), utilizando o método de Ward e correlação linear de Pearson.

O método de Ward é indicado para tratamento de dados morfométricos e seleciona agrupamentos que se fundem em grupos cada vez maiores, este método tende a produzir grupos (*clusters*) com um número semelhante de itens e é sensível a dados isolados, no entanto, funciona bem na prática. Já a correlação linear de Pearson mede a força de correlação entre as variáveis (HAMMER & HARPER, 2006).

A matriz foi gerada a partir das variáveis macroscópicas de cada tipo de preservação, com a transformação de dados qualitativos em dados numéricos.

3 RESULTADOS

O material analisado compõem-se de 33 amostras, subdivididas em 199 sub-amostras. Destas, 28 sub-amostras tratam-se de compressões de material vegetal, coletadas nas Formações Whisky Bay e Hidden Lake. A amostra 502 Pbe é composta por mais de duzentos fragmentos lenhosos enegrecidos menores que quatro milímetros. Sendo assim, todas as análises macro- e microscópicas consideram apenas as outras 170 sub-amostras, compostas exclusivamente por fósseis lenhosos com dimensões iguais ou maiores a cinco milímetros.

3.1 ANÁLISE MACROSCÓPICA

As amostras variam suas dimensões entre e 1 – 15 cm de comprimento e de 0,5 – 10 cm de diâmetro. As dimensões médias são 4,7 cm de comprimento e 2,5 cm de diâmetro (Tabela 7). Todas as amostras são enegrecidas externamente, porém apresentam diferentes densidades e graus de fragilidade, presença ou não de película de minerais envolvendo o fóssil. Desta maneira, para melhor classificá-las, foram observadas as características abaixo relacionadas (Figura 24):

- Cor: as amostras, em planos longitudinais expostos pela quebra, apresentam-se em tons de marrom claro e escuro, cinza e preto. Não foram consideradas variações menores de tonalidade. Assim, 110 sub-amostras (64,7%) são realmente pretas, 45 (26,5%) têm coloração marrom escura, 12 (7%) são cinzas e 3 (1,8%) apresentam coloração marrom clara.

- Risco: 49 sub-amostras, 29% do material, não apresentam risco quando friccionadas sobre papel. 71 sub-amostras (41,7%) apresentam risco espesso, exclusivamente preto, 29 (17%) o risco é fino, predominantemente marrom escuro com traços pretos nítidos, 13 (7,6%) deixam um risco fino, exclusivamente marrom e 8 sub-amostras (4,7%) apresentam um tênue risco preto.

- Brilho: 93 sub-amostras (54,7%) são foscas, 41 (24%) apresentam brilho sedoso típico, 25 (14,7%) mostram um tênue brilho sedoso e 11 (6,5%) apresentam brilho vítreo típico.

- Fratura: 80 sub-amostras (47%) apresentam fratura irregular, em 41 (24%) a quebra obedece aos três planos estruturais da madeira e 26 (15,3%) a quebra ocorre obedecendo apenas aos planos de fratura longitudinais. 10 sub-amostras (6%) apresentam fraturas

longitudinais e irregulares, 6 (3,5%) mostram exclusivamente fraturas cuboides, 5 sub-amostras (3%) apresentam fraturas irregulares e conchoidais, 1 (0,6%) têm fratura conchoidal e cuboide e 1 (0,6%) a quebra obedece aos planos da madeira e também é cubóide.

- Densidade de massa: a maioria do material analisado, 110 sub-amostras (65%) apresentam alta densidade e 60 (35%) baixa densidade.

- Fragilidade: inversamente proporcional à densidade de massa, apresenta as mesmas frequências. 110 sub-amostras (65%) quebram apenas com auxílio de martelo e 60 (35%) quebram manualmente.

- Porosidade: 138 sub-amostras (81%) não apresentam porosidade no plano transversal e 32 sub-amostras (19%) apresentam a porosidade original das células da madeira.

- Minerais: a maioria das sub-amostras, 115 (68%) apresentam minerais visíveis sob lupa conta fios preenchendo e/ou formando uma película externa em torno do fóssil e 55 (32%) não estão preenchidos ou revestidos por minerais.

Ainda, 16 sub-amostras estão associadas a um sedimento de granulometria muito fina, sedoso ao toque, de coloração amarela-esverdeada clara e leve odor de enxofre. Destas, 5 são compressões provenientes da Formação Whisky Bay. As outras 11 foram coletadas na Formação Hidden Lake e Santa Marta.

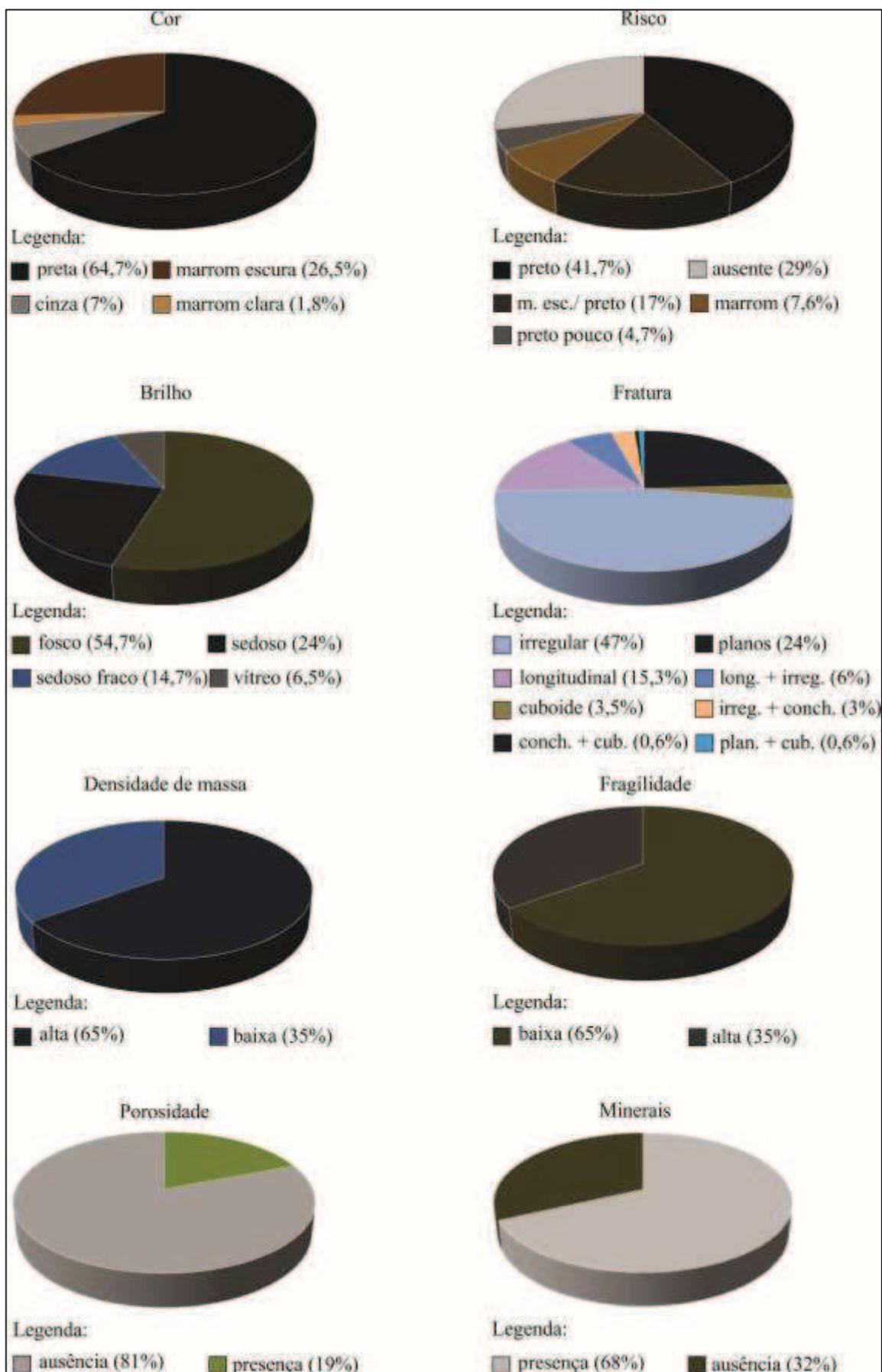


Figura 24: Gráficos das frequências das características macroscópicas observadas em 170 fósseis.

3.2 ANÁLISES MICROSCÓPICAS

3.2.1 Microscopia de luz refletida sem óleo de imersão

As amostras foram integralmente observadas sob este método, o que possibilitou obter um panorama geral do material: modos de preservação, grau de preservação das características anatômicas e diversidade florística.

O material foi classificado primeiramente de acordo com modo de preservação em cinco categorias (Figura 25):

1) Madeira carbonizada e, secundariamente, permineralizada: corresponde a 49% do material. Fósseis maciços, quebráveis apenas com martelo. Apresentam paredes celulares foscas e anatomia aparentemente bem preservada. Apenas amostras da Formação Hidden Lake.

2) Madeira carbonizada bastante frágil: 21% do material é composto por fósseis de baixa densidade, sem permineralização, apresentam anatomia pouco preservada e paredes celulares com alto brilho. 29 sub-amostras pertencem à Formação Hidden Lake, 12 à Formação Santa Marta e 1 à Formação Whisky Bay.

3) Compressões: correspondem a 14% do material, 24 sub-amostras foram coletadas na Formação Hidden Lake e 4 na Formação Whisky Bay. Estão associadas a sedimentos de granulometria muito fina, que formam uma poeira amarela-esverdeada clara, sedosa ao toque e o odor, leve, assemelhasse a enxofre.

4) Madeira vitrificada: 6% das amostras apresentam aspecto de obsidiana, porém mantém a estrutura externa de madeira queimada. Apresentam pouca densidade e são maciços, isto é, perderam a porosidade e textura da madeira. Destas, 8 sub-amostras coletadas na Formação Hidden Lake e 3 na Formação Whisky Bay.

5) Fósseis permineralizados, muito alterados: 10% do material não apresentam preservação das características dos lenhos. Mantém apenas a textura lenhosa nos planos de quebra, mas não é possível identificar os tecidos. Destas, 8 sub-amostras foram coletadas na Formação Hidden Lake, 8 na Formação Whisky Bay e 4 sub-amostras pertencem à Formação Santa Marta.

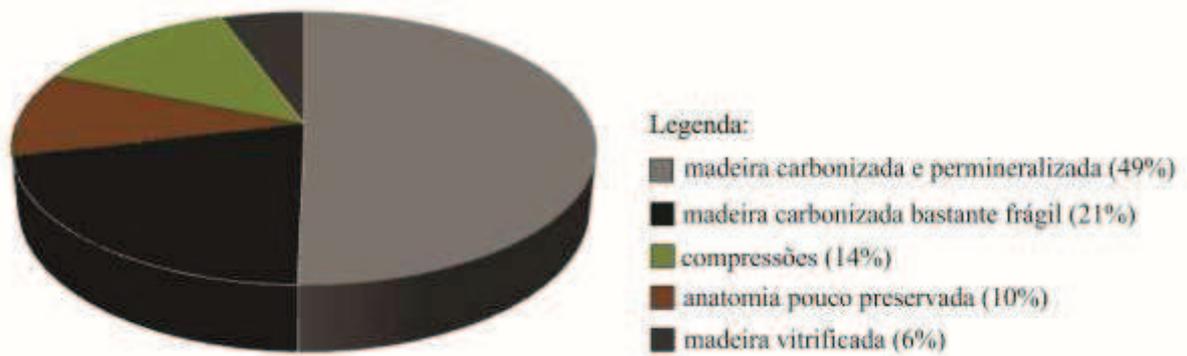


Figura 25: Gráfico das frequências das amostras e suas condições de preservação.

As imagens obtidas com esta metodologia contemplam apenas aspectos gerais da anatomia dos fósseis, mesmo assim com o grave problema do foco. Todavia, apesar destas dificuldades, foi possível determinar que, das 199 sub-amostras, 70% são passíveis de observação anatômica. O material é composto por 139 sub-amostras de lenho gimnospérmico, caracterizado pela presença exclusiva de traqueídes e raios unisseriados ou parcialmente bi- ou trisseriados (Figura 26: a, b). Apenas a amostra 500 Pbe C trata-se de uma Angiosperma, lenho caracterizado pela presença de elementos de vaso e raios multisseriados (Figura 26: c, d). As outras sub-amostras não apresentam preservação de características (Figura 26: e - h).

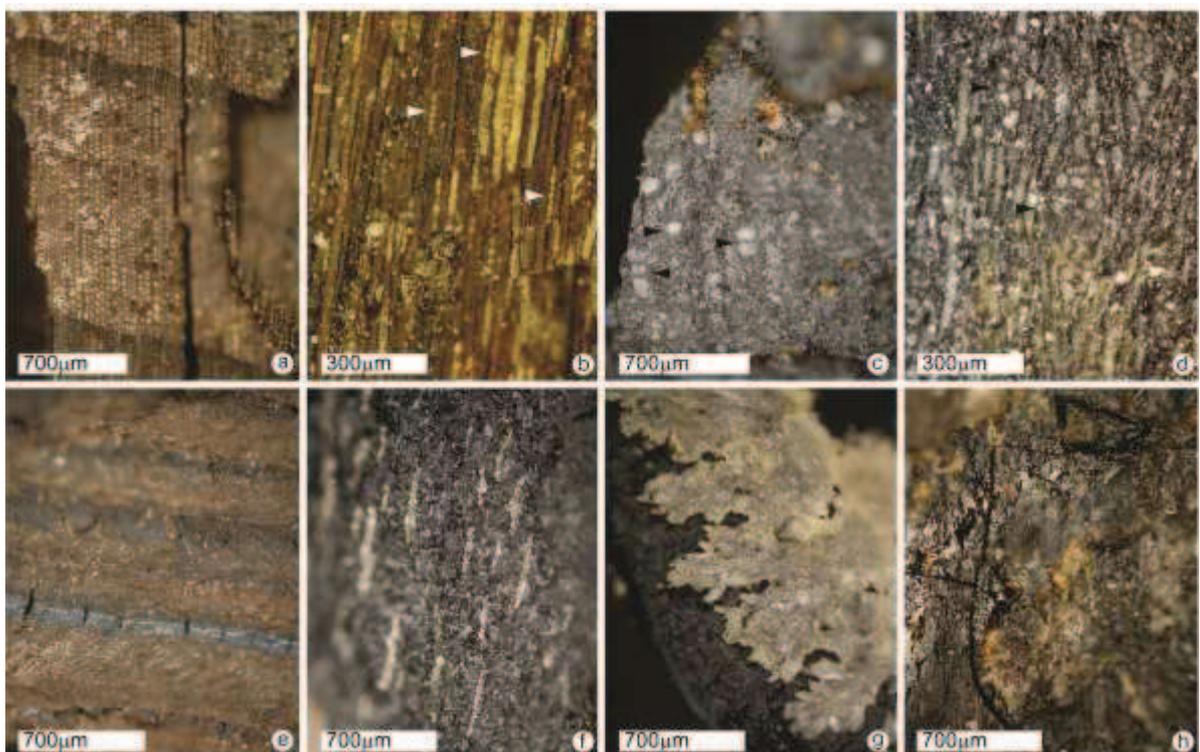


Figura 26 - Lenho gimnospérmico, a) plano transversal, amostra 480 Pbe E; b) plano tangencial, amostra 480 Pbe I, setas indicam os raios unisseriados. Lenho angiospérmico, amostra 500 Pbe C c) plano transversal, setas indicam os vasos; d) plano tangencial, setas indicam os raios multisseriados. Amostras com características anatômicas não preservadas: e) plano transversal, amostra 492 Pbe B; f) plano tangencial, amostra 497 Pbe E, raios piritizados; g) amostra 487 Pbe F, crescimento de cristal sobre o plano de quebra; h) plano radial, amostra 480 Pbe E, possível camada de resina no plano de quebra.

As análises demonstraram a dificuldade em resgatar características anatômicas preservadas neste material. Contudo, os resultados obtidos para a identificação taxonômica dos fósseis são apresentados a seguir, já separados entre Gimnospermas e Angiospermas.

3.2.1.1 Gimnospermas

O material apresenta graus diferentes de preservação para cada característica da madeira. O acesso e a qualidade de preservação destas características compõe parte importante dos resultados. Dessa forma, os dados estão organizados pelas características anatômicas necessárias à descrição e identificação dos lenhos:

- Anéis de crescimento (plano transversal): a presença ou ausência foi facilmente observada na maioria das amostras (Figura 27). Porém, o tipo de transição entre os lenhos inicial e tardio pôde ser observado apenas nos lenhos com transição abrupta (Figura 27: a, c), pois os lenhos com aparente transição gradual estavam muito mal preservados, o que impediu sua definição. Ainda, a espessura das paredes das traqueídes, no lenho tardio, não foi claramente observada na maioria das amostras (Figura 27: d).

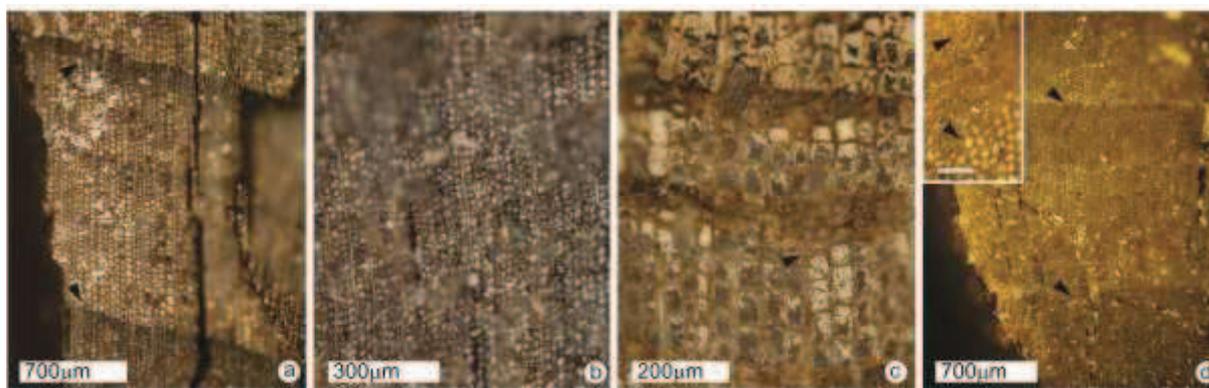


Figura 27- Anéis de crescimento, plano transversal: a) Distinto, setas indicam a transição abrupta entre lenhos inicial e tardio, amostra 480 Pbe E; b) Indistinto, amostra 495 Pbe; c) Distinto, setas indicam a transição abrupta entre lenhos inicial e tardio e espessura da parede da traqueíde no lenho tardio, amostra 492 Pbe B; d) Distinto, setas indicam uma possível transição gradual dos anéis, em detalhe as setas indicam a impossibilidade de diferenciação entre as células do lenho tardio, amostra 485 Pbe B, escala do detalhe: 50µm.

- Parênquima axial (planos transversal, tangencial e radial): a simples presença ou ausência foi bastante difícil de determinar em qualquer um dos planos. Em apenas duas amostras foi possível definir o tipo de arranjo deste tecido (Figura 28).

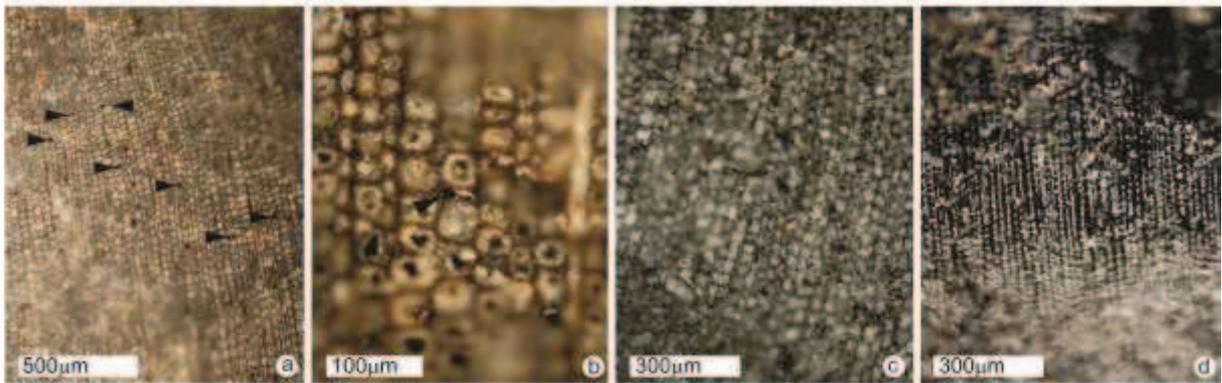


Figura 28 – Parênquima axial, plano transversal: a), b) Presente, arranjo difuso, setas indicam as células parenquimáticas, amostra 480 Pbe B. Exemplos de amostras nas quais não é possível distinguir as células parenquimáticas: c) Amostra 500 Pbe A; d) Amostra 493 Pbe B.

- Pontoações nas paredes das traqueídes (plano radial): tanto a quantidade, quanto o tipo e arranjo foram raramente observadas com clareza na maioria das amostras. Apenas nas subamostras 500 Pbe D, 500 Pbe E e 505 Pbe B esta característica foi melhor visualizada (Figura 29).

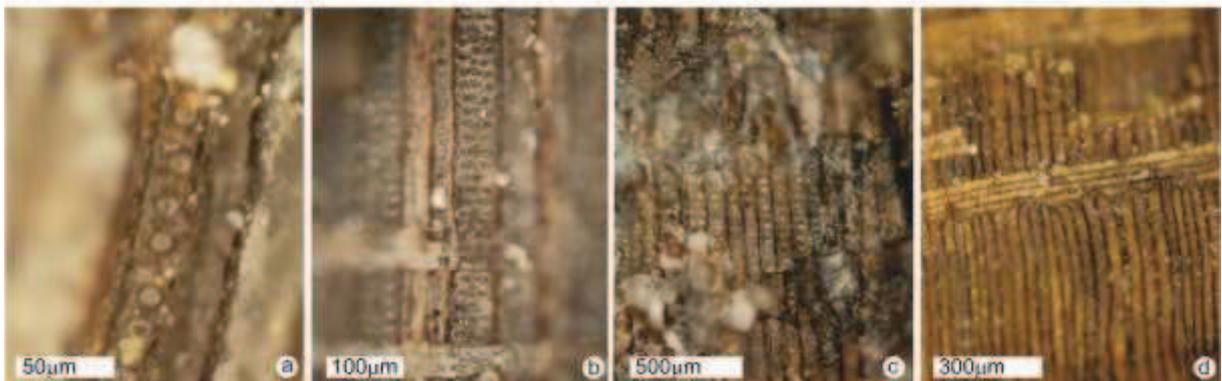


Figura 29 – Pontoações nas paredes radiais das traqueídes, plano radial: a) Unisseriadas, amostra 500 Pbe D; b) Bi- ou trisseriadas opostas, amostra 492 Pbe B; c) Unisseriadas e bisseriadas opostas, amostra 500 Pbe E; d) Exemplo de amostra onde as pontoações não são visíveis, amostra 480 Pbe D.

- Raio (planos tangencial e radial): a determinação de largura e altura, em número de células, foi relativamente fácil na maioria das amostras. Porém, a dificuldade foi muito grande para serem tomadas as medidas em micrometros, principalmente de raios altos, em virtude do foco e da dificuldade em observar os limites das paredes celulares (Figura 30). A composição dos raios também foi bastante difícil de observar e, em raros casos, foi possível sua definição (Figura 31).

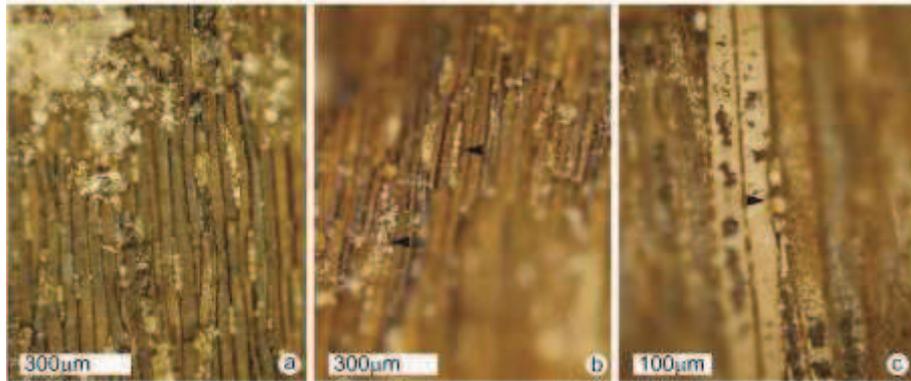


Figura 30 – Raios, plano tangencial: a) Altura e largura visíveis, amostra 480 Pbe G; b) Dificuldade de focalização de raios altos, amostra 480 Pbe D; c) Dificuldade na observação dos limites das paredes celulares, amostra 492 Pbe B.

- Pontoações nos campos de cruzamento (plano radial): apenas na sub-amostra 492 Pbe B foi possível observar a presença, quantidade e arranjo destas pontoações, porém o tipo não pôde ser definido (Figura 31: a, b). Em todas as outras ocorreram um dos casos: a) os campos de cruzamento estavam visivelmente mal preservados ou b) as paredes celulares estavam bem definidas, porém as pontoações não eram visíveis (Figura 31: c, d).

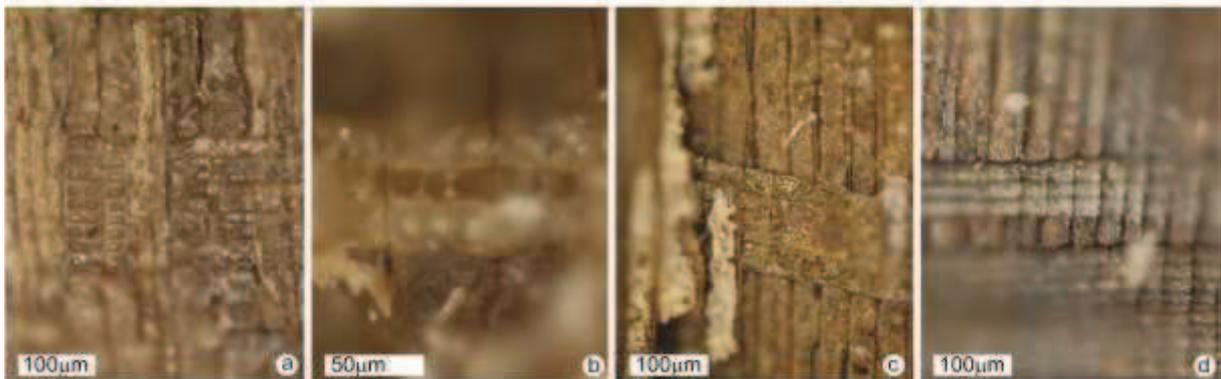


Figura 31 – Raios, plano radial: a), b) Campo de cruzamento com pontoações visíveis, amostra 492 Pbe B; c) Campos de cruzamento com má preservação das paredes das células parenquimáticas, amostra 480 Pbe E; d) Campos de cruzamento com boa preservação da parede celular das células parenquimáticas, porém com ausência de pontoações visíveis, amostra 487 Pbe I.

Estes resultados qualitativos não são suficientes para a determinação taxonômica dos fósseis.

3.2.1.2 Angiosperma

O fóssil (500 Pbe C) é carbonizado e permineralizado. As características do lenho estão parcialmente preservadas. No plano transversal observam-se os vasos, porém o limite das células é difícil de determinar; o parênquima axial e as fibras não foram visualizados com clareza, há poucas regiões onde estes tecidos estão preservados; os raios aparecem como

conjuntos de linhas paralelas, muito tênues. No plano tangencial foi possível analisar apenas os raios, que aparecem muito pouco, os elementos de vaso e as placas de perfuração. O parênquima axial, assim como as fibras, não pôde ser observado. No plano radial foi possível apenas visualizar os raios e os elementos de vaso, ainda assim com bastante dificuldade, as pontoações vasculares e radio-vasculares não parecem preservadas (Figura 32).

Não é possível estabelecer a afinidade botânica do material com as características resgatadas.

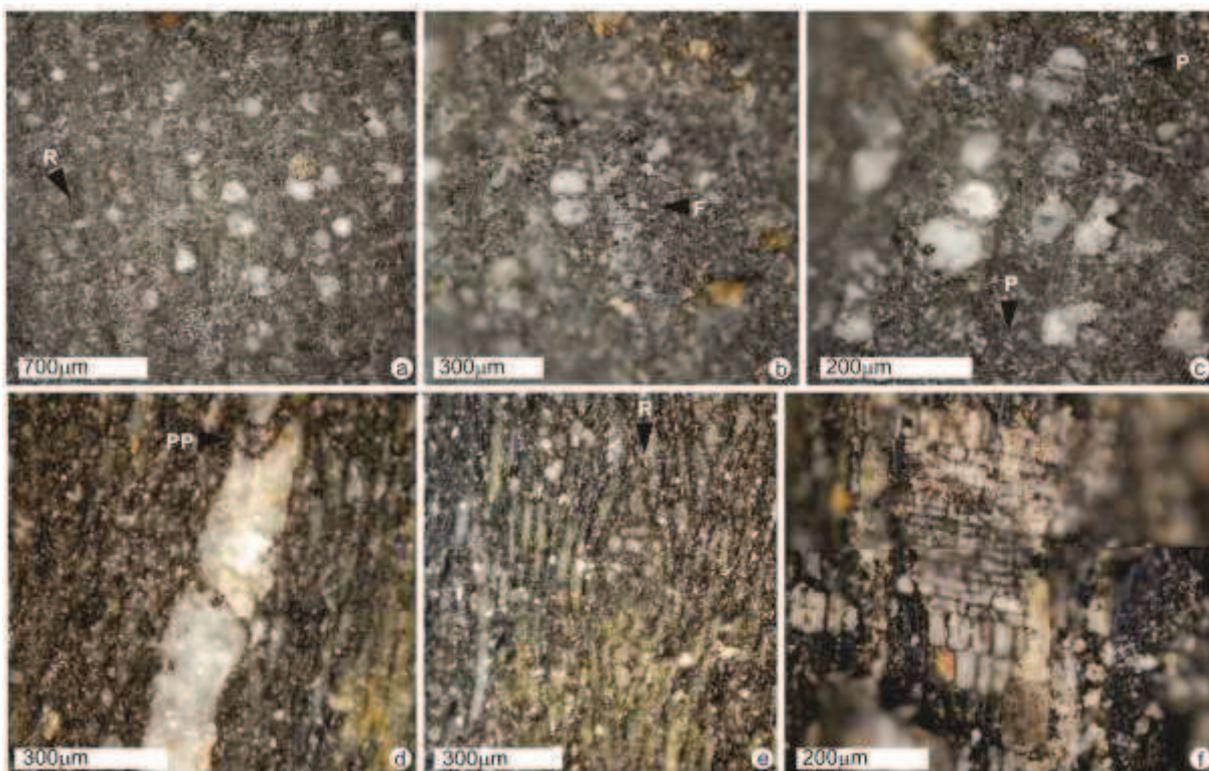


Figura 32 – Amostra 500 Pbe C: a) Plano transversal, observa-se a porosidade, os vasos e os raios (R); b) Plano transversal, detalhe para o vaso múltiplo de dois, as fibras (F) e o conteúdo amarelo disperso no plano de quebra; c) Plano transversal, parênquima axial (P); d) Plano longitudinal tangencial, destaque para os elementos de vaso e a placa de perfuração (PP); e) Plano longitudinal tangencial, observa-se o raio (R); Plano longitudinal radial, composição de duas fotos do mesmo raio, observam-se as células procumbentes e as camadas de células quadradas ou eretas, ainda, há conteúdo amarelo em uma célula quadrada.

3.2.2 Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV)

As amostras submetidas ao ácido clorídrico (HCl [1-3%]) tiveram suas células colapsadas e a fragilidade do material resultante impedia sua manipulação, chegando à destruição completa do material. Por isso, as amostras escolhidas para a observação em MEV estavam ao natural.

Os resultados obtidos são apresentados na Figura 33. Nos três planos da madeira não há distinção das células. Evidenciam-se apenas algumas regiões que apresentam tênue textura lenhosa, mas não obtiveram-se imagens para analisar a anatomia dos fósseis.

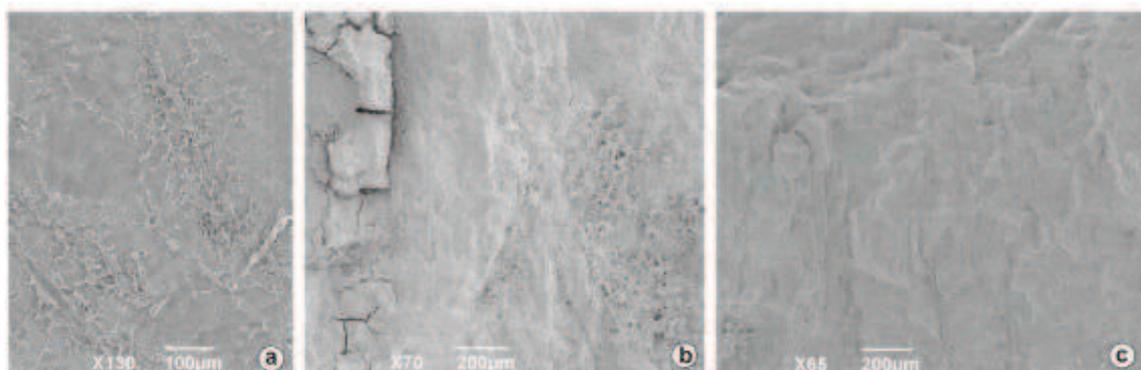


Figura 33 - Amostra 480 Pbe B. Plano transversal (a), plano longitudinal tangencial (b) e plano longitudinal radial (c).

3.2.3 Microscopia de luz branca transmitida – lâminas petrográficas

Esta metodologia é utilizada normalmente para a análise anatômica de lenhos carbonizados e permineralizados, com a impregnação em resina com ácido clorídrico. Porém, o material deste estudo não se preserva quando há a dissolução dos minerais.

Neste caso, confeccionaram-se lâminas petrográficas como se o material fosse apenas permineralizado. Como resultado, as paredes celulares quebraram com o lixamento e polimento. Também não foi possível resgatar, minimamente, características anatômicas que possibilitassem a identificação botânica do material.

No entanto, as lâminas destinadas às análises dos minerais, revelaram pouca variedade no preenchimento dos fósseis, que estão permineralizados principalmente por calcita.

A sub-amostra 492 Pbe I, Formação Santa Marta, apresenta preenchimento exclusivo por cimento de calcita microcristalina (micrita), de hábito fibroso a acicular (Figura 34: a - d).

As sub-amostras 483 Pbe G, 484 Pbe B, 489 Pbe e 504 Pbe H, todas coletadas na Formação Hidden Lake, apresentam preenchimento exclusivo por cimento de calcita, no entanto, em duas gerações diagenéticas claras: a mais antiga, fibrosa/acicular e outra com recristalização de calcita espática, com desenvolvimento dos planos de clivagem romboédricos. Nesta segunda geração diagenética há a observação da cor de interferência da calcita acima da 3ª ordem (Figura 34: e - h).

As sub-amostras 480 Pbe B, 487 Pbe C, e 500 Pbe B e C coletadas na Formação Hidden Lake, 499 Pbe D, coletada na Formação Whisky Bay, apresentam predominância de carbonatos com alto relevo, rugosos, sem extinção completa e, em menor quantidade, cimento de caulinita bem recristalizado, exibindo estrutura em livretes (*book-like structure*). A caulinita é um argilomineral de aspecto fibroso, planar como minerais micáceos, e cor de interferência alta com pontos amarelados (Figura 34: i - l).

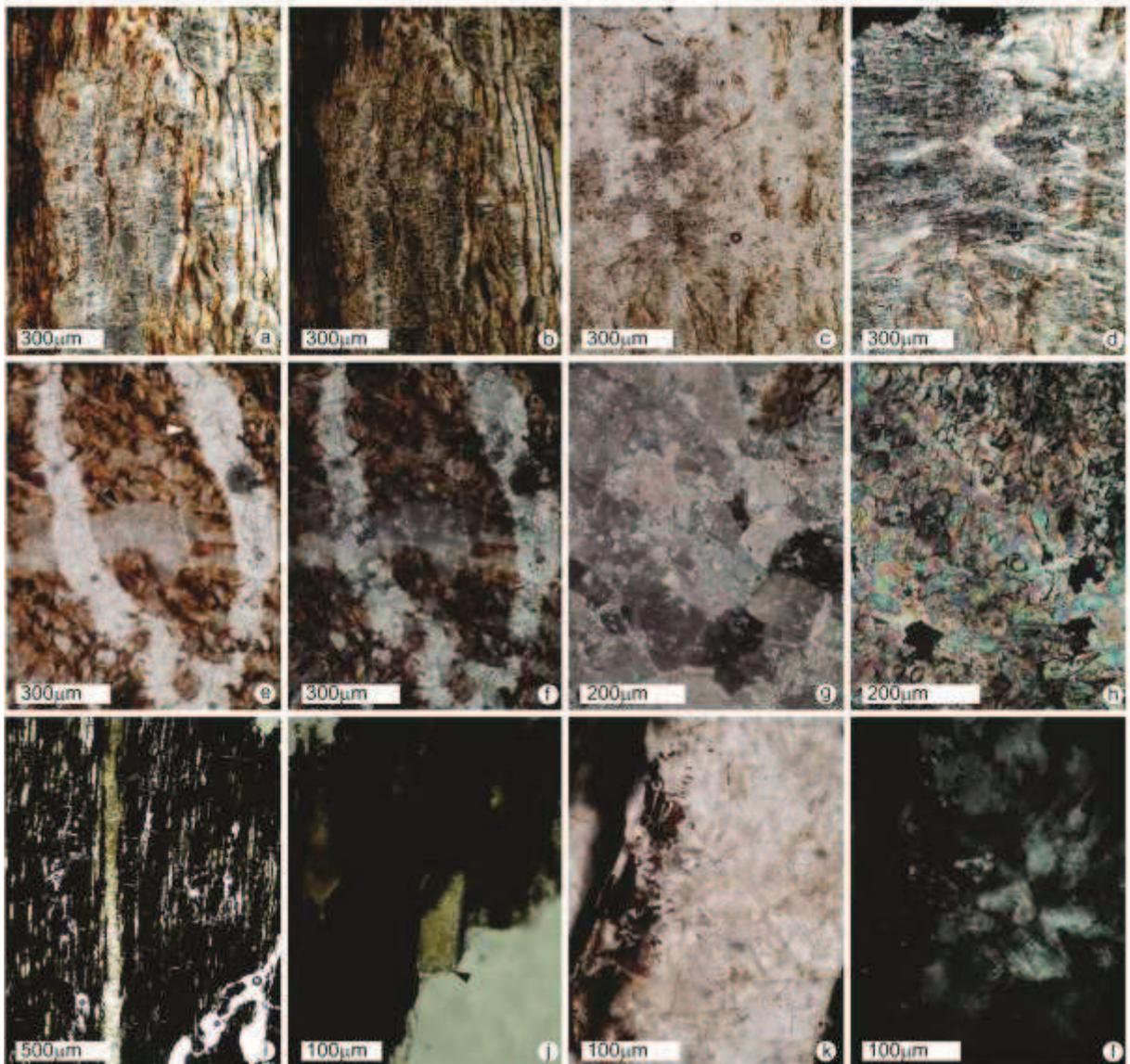


Figura 34 – Lâminas petrográficas: Amostra 492 Pbe I, fósil preenchido por cimento de calcita, a, c) LPP; b, d) LPC. Amostra 489 Pbe, e- f) LPP, centro da foto exibe recristalização de calcita espática, com desenvolvimento dos planos de clivagem romboédrica, que obliteram a estrutura vegetal, seta preta indica 1ª geração, seta branca indica 2ª geração; f) LPC, g) cimento de calcita LPP, h) birrefringência da calcita, exibindo cores de interferência acima da 3ª ordem, LPC. Amostra 500 Pbe C, sob luz branca, i) fósil preenchido por calcita, j) seta preta indica calcita de alto relevo; cimento de caulinita bem recristalizada, exibindo estrutura em livretes k) sob LPP, l) sob LPC.

3.2.4 Microscopia de luz branca transmitida – película de esmalte de unha

A técnica desenvolvida para lenhos carbonizados do Quaternário (ANGELES, 2010) possibilitou acessar algumas pontoações do plano radial, fato inusitado até então (Figura 35). Porém, a confecção da película demonstrou ser ineficaz para acessar características dos planos transversal e tangencial.

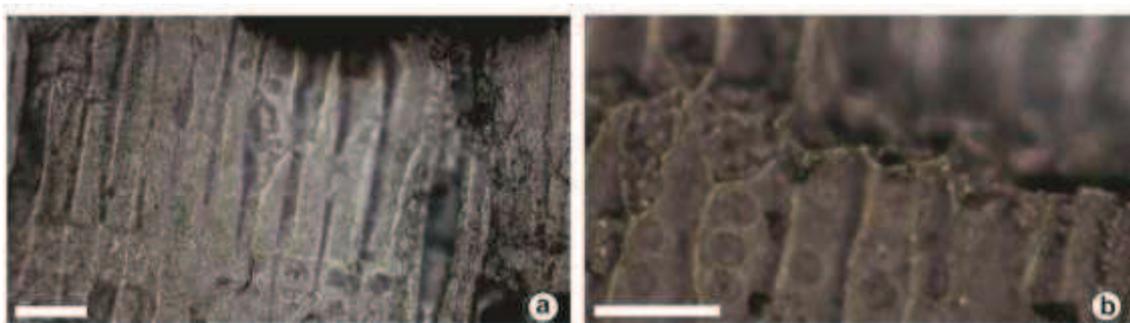


Figura 35 - Amostra 485 Pbe I, plano radial: a) Evidenciando os campos de cruzamento; b) Pontoações das paredes radiais das traqueídes. Escala = 50 μ m.

3.2.5 Microscopia de luz refletida com óleo de imersão e luz UV

Os fósseis reagiram de maneiras diferentes a este método, todavia em todas as amostras houve alto grau de clareza e nitidez nas imagens obtidas. A maioria das amostras pôde ser observada apenas sob luz ultravioleta, pois sob luz branca não há visualização da anatomia (Figura 36: a - h). No entanto, há casos onde a situação se inverte e o material é visível apenas sob luz branca (Figura 36: i - k). Ainda, foi possível determinar com exatidão as amostras que não tiveram nenhuma característica anatômica preservada (Figura 36: l).

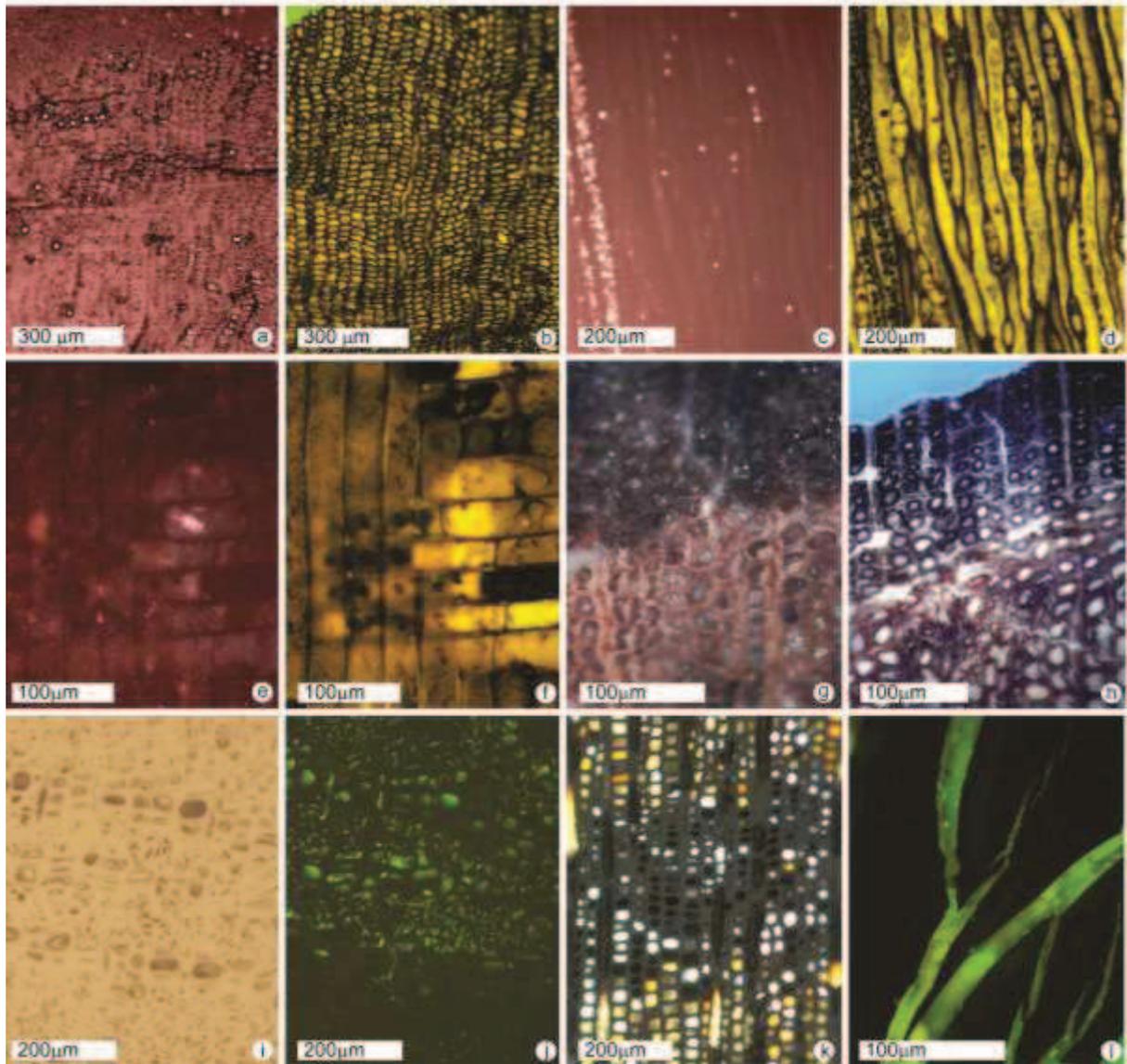


Figura 36 - Amostra 495 Pbe E: a) plano transversal sob luz branca; b) plano transversal sob luz ultravioleta (fluorescência verde); c) plano tangencial sob luz branca; d) plano tangencial sob luz ultravioleta (fluorescência verde). Amostra 485 Pbe F: e) plano radial sob luz branca; f) plano radial sob luz ultravioleta (fluorescência verde). Amostra 481 Pbe B, plano transversal: g) sob luz branca, h) sob luz azul/ultravioleta. Amostra 505 Pbe K, plano transversal: i) sob luz branca, j) sob luz ultravioleta (fluorescência verde); k) amostra 505 Pbe J, plano transversal, sob luz branca; l) amostra 487 Pbe E, anatomia não preservada, sob luz ultravioleta (fluorescência verde).

O material submetido a esta análise consta de noventa sub-amostras, das quais três (487 Pbe E, 492 Pbe D e 492 Pbe G) não apresentam preservação de características anatômicas, sequer textura lenhosa. Oitenta e quatro sub-amostras apresentam características de lenhos gimnospérmicos preservadas e três (483 Pbe A, 498 Pbe e 500 Pbe C), características de lenhos angiospérmicos. A seguir apresentam-se os resultados sobre a observação das características anatômicas para cada grupo.

3.2.5.1 Gimnospermas

O material apresenta diferentes graus de preservação das características anatômicas da madeira. Porém de modo geral, tem-se:

- Anéis de crescimento (plano transversal): sua presença ou ausência, tipo de transição entre os lenhos inicial e tardio e espessura das paredes das traqueídes, no lenho tardio, foram observadas com alto grau de fidelidade e nitidez (Figura 37: a - d).

- Parênquima axial (planos transversal, tangencial e radial): sua presença ou ausência e arranjo foram claramente observadas em todos os planos (Figura 37: a, b, j) e, também foi possível observar o tipo de suas paredes celulares.

- Pontoações nas paredes das traqueídes (plano radial): tanto a quantidade, quanto o tipo e arranjo foram amplamente observadas (Figura 37: g, h, i). Ainda, o método permitiu o acesso a detalhes das paredes celulares e sua observação também no plano transversal com a preservação da área do tórus (Figura 37: e).

- Raio (planos tangencial e radial): a determinação de largura e altura, em número de células, bem como suas medidas em micrometros e composição foram possíveis apenas com este método (Figura 37: f, g).

- Pontoações nos campos de cruzamento (plano radial): a presença, quantidade, tipo e arranjo destas pontoações foram claramente observadas, bem como a preservação desta característica (Figura 37: k, l, m).

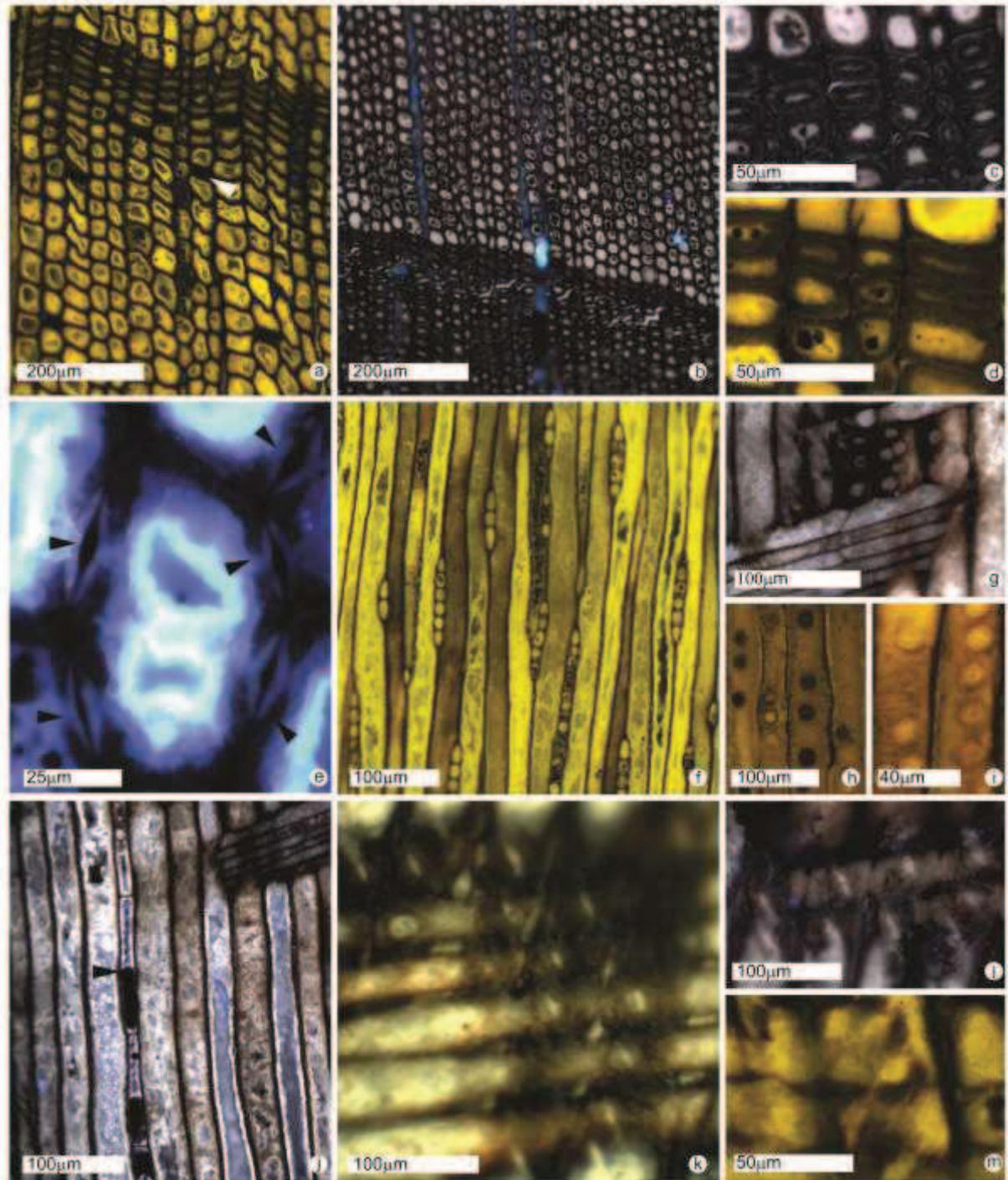


Figura 37 - Características anatômicas de lenhos gimnosperâmicos: Plano transversal - anéis de crescimento, transição entre lenhos inicial e tardio e parênquima axial, a) amostra 480 Pbe I, seta indica parênquima axial; b) amostra 485 Pbe B; espessura das paredes das traqueídes do lenho tardio, c) amostra 485 Pbe B; d) amostra 480 Pbe I; pontoações paredes radiais das traqueídes, e) amostra 480 Pbe I, seta indica as pontoações com tórus. Plano tangencial, raios parenquimáticos, f) amostra 480 Pbe I. Plano radial - raios parenquimáticos, pontoações das paredes radiais das traqueídes, g) amostra 480 Pbe J; h) amostra 485 Pbe F; i) amostra 480 Pbe I; j) amostra 480 Pbe J, seta indica fileira de células de parênquima axial; pontoações dos campos de cruzamento, k) amostra 480 Pbe C; l) amostra 480 Pbe D; m) amostra 480 Pbe J.

3.2.5.2 Angiospermas

As amostras de lenho angiospérmico apresentam diferentes graus de preservação das características anatômicas, mas a simples presença de duas angiospermas além da única amostra identificada até a utilização deste método é um resultado importante. No geral, as características foram observadas com clareza em apenas duas amostras, 483 Pbe A e 500 Pbe C, pois a amostra 498 Pbe está muito alterada (Figura 38).

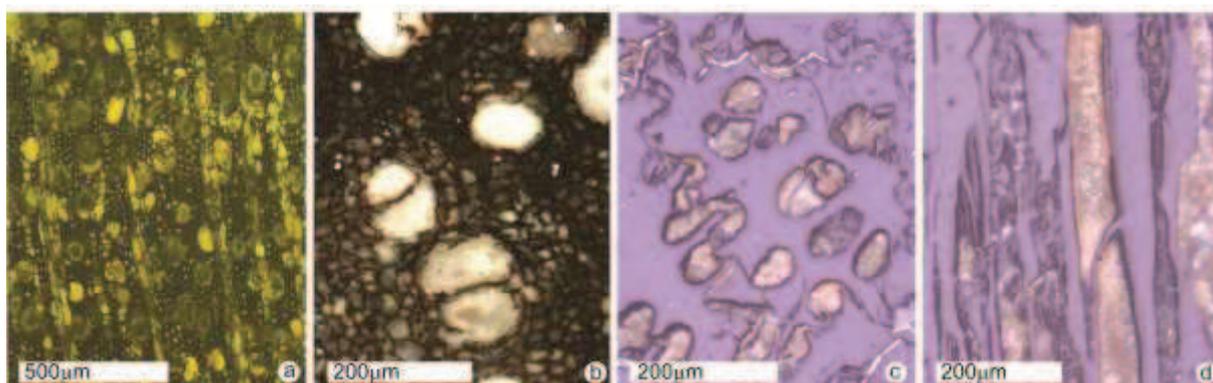


Figura 38 – Angiospermas, plano transversal, a) amostra 483 Pbe A sob luz ultravioleta (fluorescência verde); b) amostra 500 Pbe C sob luz branca. Amostra 498 Pbe, sob luz branca c) plano transversal; d) plano tangencial.

As características anatômicas apresentam graus variados de preservação, porém, a maior parte das características foi observada:

- Porosidade (plano transversal): observada com clareza (Figura 39: a, b).
- Vasos (planos transversal, longitudinais tangencial e radial): tipo, tamanho, frequência, arranjo, placas de perfuração e pontoações vasculares puderam ser observadas com relativa facilidade (Figura 39: a, b, d, g, h).
- Parênquima axial (planos transversal, longitudinais tangencial e radial): tipo e forma das células houve dificuldade na observação (Figura 39: b).
- Fibras (planos transversal, longitudinais tangencial e radial): a espessura das paredes e presença ou ausência de septos não foram observadas em detalhes, pela preservação das amostras (Figura 39: a, c, e, f).
- Raios parenquimáticos (planos longitudinais tangencial e radial): tamanho, composição e pontoações radio-vasculares foram observadas (Figura 39: c, e, f, h).

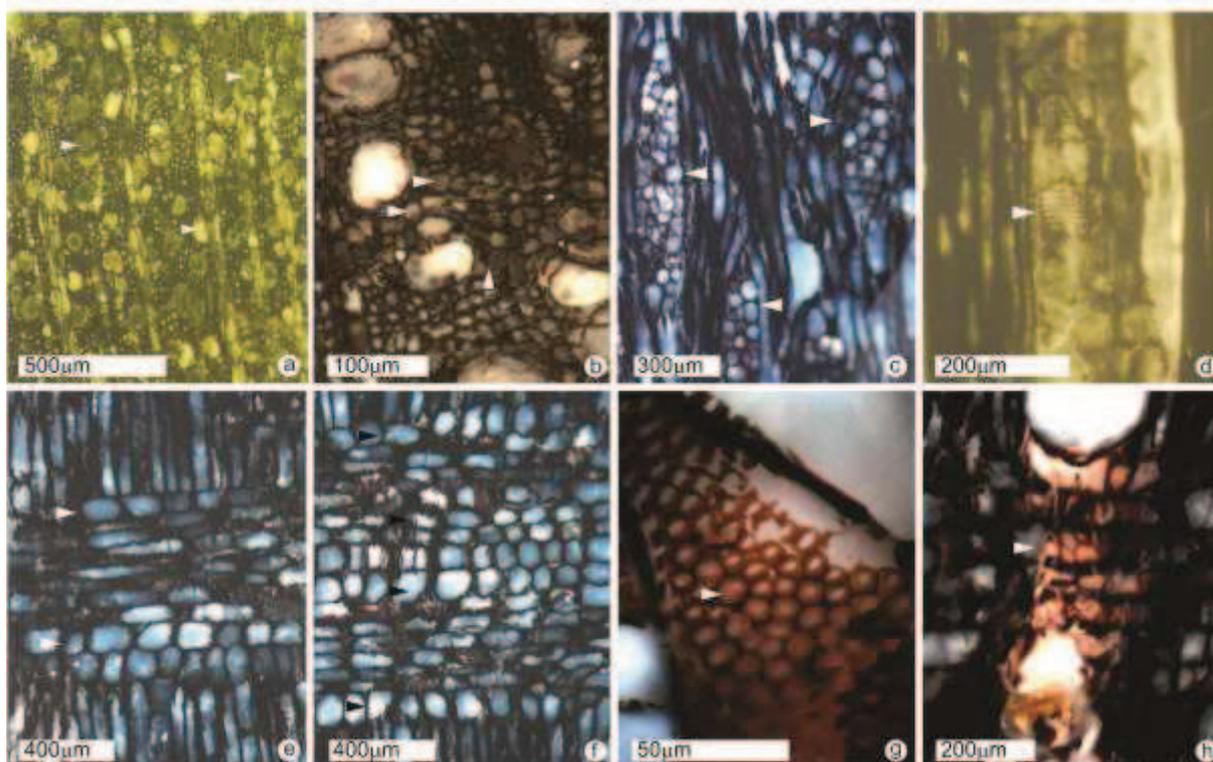


Figura 39 – Características anatômicas de lenhos angiospérmicos: Plano transversal, a) amostra 483 Pbe A sob luz ultravioleta (fluorescência verde), setas indicam os vasos; b) amostra 500 Pbe C, sob luz branca, setas indicam o parênquima axial. Plano tangencial, sob luz ultravioleta, c) amostra 500 Pbe C, setas indicam os raios parenquimáticos, d) amostra 483 Pbe A, seta indica placa de perfuração. Amostra 500 Pbe C, sob luz ultravioleta e - f) plano radial, setas indicam camadas marginais de células quadradas e/ou eretas, g) plano tangencial, seta indica pontoaçoões vasculares; h) plano radial, seta indica pontoaçoões radio-vasculares.

3.2.5.3 Medidas de reflectância

As 14 sub-amostras submetidas à análise das medidas de reflectância apresentam modos de preservação distintos, por isso em cada amostra as medidas foram tomadas a partir de regiões distintas, como paredes celulares carbonizadas (Figura 40: a, b), partículas carbonificadas formadas no interior das células ou na região das paredes celulares (Figura 40: c, d, e). Apenas a amostra 485 Pbe F apresentou reflectância das paredes celulares, sem presença de partículas carbonificadas (Figura 40: f). A amostra 487 Pbe E trata-se de um dos fósseis maciços, de baixa densidade, que não preservaram características anatômicas, por isso não há delimitações de regiões.

As médias de reflectância variaram entre $R_r = 0,34$ a $1,26$, com desvio padrão entre $DP = 0,007 - 0,04$ e estão apresentadas na Tabela 8.

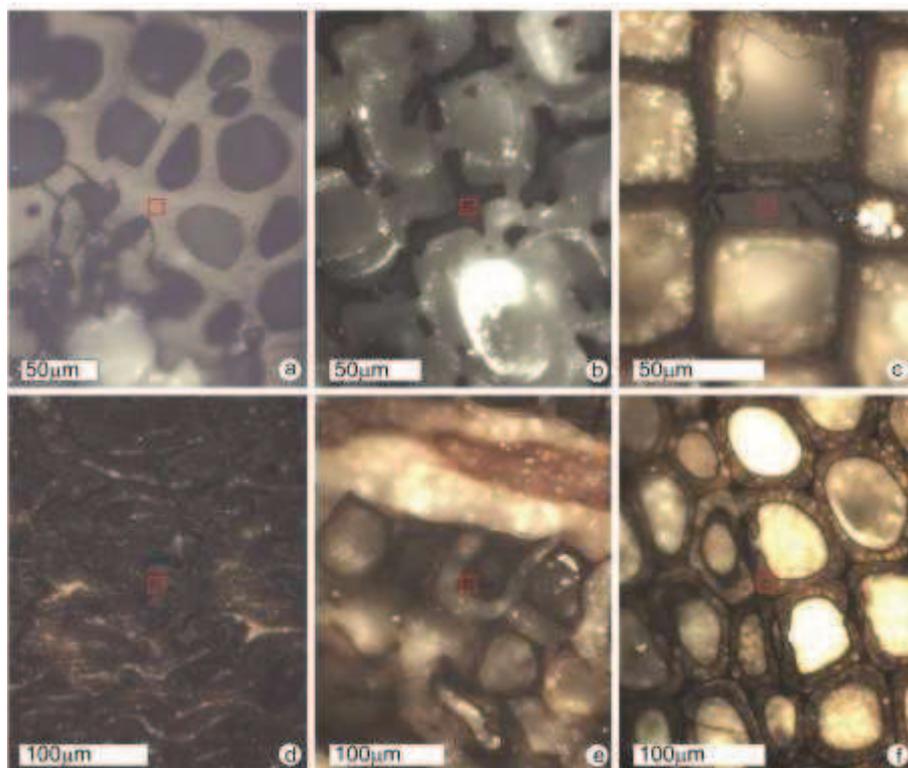


Figura 40 – Medidas de reflectância, sob luz branca, área ao centro indica o local da tomada das medidas: a) amostra 507 Pbe, $R_r = 0,88$, b) amostra 500 Pbe C, $R_r = 0,62$, c) amostra 480 Pbe I, $R_r = 0,82$, d) amostra 504 Pbe I, $R_r = 0,56$, e) amostra 481 Pbe B, $R_r = 0,37$, f) amostra 485 Pbe F, $R_r = 0,76$.

Tabela 8 – Medidas de reflectância. Indicando, para cada amostra, a região onde a medida foi tomada, a média, desvio padrão (DP), valores máximo (máx.) e mínimo (mín.). Legenda: Part. = partícula.

Amostra	Região	Média	DP	Máx.	Mín.
480 Pbe I	Part. parede celular / part. lumen	0,68	0,02	0,74	0,60
481 Pbe B	Part. parede celular / part. lumen	0,36	0,01	0,39	0,33
483 Pbe A	Parede carbonizada	0,72	0,02	0,76	0,66
485 Pbe F	Parede celular	0,72	0,04	0,81	0,65
487 Pbe E	Maciço	0,71	0,01	0,74	0,66
489 Pbe A	Partícula parede celular	0,64	0,02	0,68	0,60
498 Pbe	Parede carbonizada	1,26	0,03	1,33	1,17
499 Pbe A	Parede carbonizada	0,66	0,03	0,74	0,60
500 Pbe B	Partícula parede celular	0,34	0,01	0,38	0,33
500 Pbe C	Parede carbonizada	0,63	0,02	0,57	0,67
504 Pbe I	Part. parede celular / part. lumen	0,54	0,02	0,60	0,49
505 Pbe J	Parede carbonizada	0,82	0,02	0,87	0,78
505 Pbe K	Parede carbonizada	0,40	0,007	0,42	0,38
507 Pbe	Parede carbonizada	0,87	0,02	0,90	0,80

3.3 TAFONOMIA – MODOS DE PRESERVAÇÃO

As análises macro- e microscópica do material, sob luz refletida com imersão (luz branca e uv), permitiram identificar modos de preservação distintos:

- Tipo 1: Fusênio rígido, microlitotipo: fusita com matriz mineral, maceral: semifusinita

Os fósseis apresentam cor preta, risco espesso preto ou risco fino, predominantemente marrom escuro com traços pretos nítidos. Apresentam brilho sedoso fraco ou são foscos. A fratura pode ser irregular, obedecer aos planos estruturais da madeira, pode ocorrer principalmente em planos longitudinais, pode ser apenas cuboide e/ou obedecer aos planos da madeira. Tratam-se de fósseis de alta densidade, não apresentam porosidade no plano transversal e estão permineralizados. As paredes celulares são homogêneas, apresentam quebra tanto no lenho inicial quanto no lenho tardio, em sentido radial e tangencial, deixando grandes áreas com fragmentos angulosos encaixados, as chamadas estruturas “*bogen*” (Figura 41: a, c, d). Não há boa preservação dos tecidos, porém pode ocorrer a preservação de pontoações (Figura 41: b, e, f).

A média de reflectância para este tipo é $R_r = 0,87 - 1,26$, desvio padrão $DP = 0,02 - 0,03$. A este tipo pertencem 21 sub- amostras, apresentadas na Tabela 9.

Os fósseis estão permineralizados por minerais carbonáticos, o teste com ácido clorídrico (HCl) apresentou resultado positivo. Em lâmina petrográfica da amostra 483 Pbe G, observou-se o preenchimento por cimento de calcita microcristalina, de hábito fibroso a acicular e uma segunda geração, com cimento recristalizado de calcita espática.

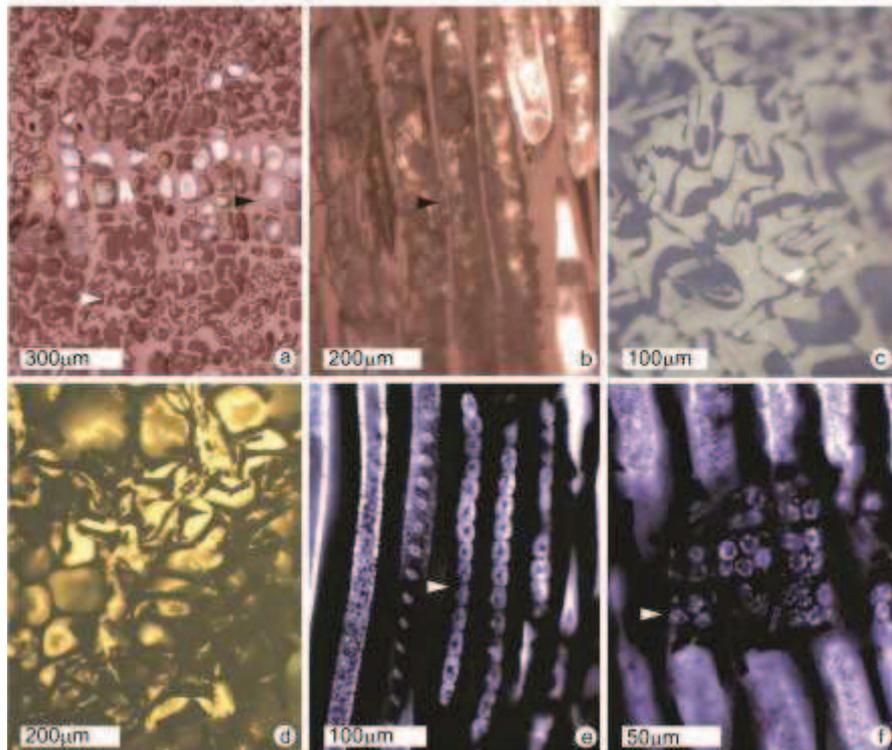


Figura 41 – Tipo 1: Semifusinitas. Amostra 488 Pbe sob luz branca, a) plano transversal, evidenciando regiões quebradas e não quebradas, a seta indica paredes celulares homogêneas; b) plano tangencial, observam-se as paredes homogêneas quebradas e não quebradas, a seta indica pontoações das paredes radiais das traqueídes. Amostra 507 Pbe sob luz branca, c) plano transversal, indicando semifusinita com $Rr = 0,89$. Amostra 484 Pbe C, d) plano transversal sob luz uv (fluorescência verde). Plano radial sob luz uv, e) pontoações das paredes radiais das traqueídes preservadas, f) pontoações de campo de cruzamento preservadas.

Tabela 9 – Preservação tipo 1: amostras e respectivas Formações. A localização exata de cada amostra no perfil estratigráfico pode ser observada nas Figuras 2 a 8. P.e.: perfil estratigráfico.

Amostras	Formação	Amostras	Formação
479 Pbe A – F	Hidden Lake – p.e. nº 2	498 Pbe	Whisky Bay – p.e. nº 1
483 Pbe G	Hidden Lake – p.e. nº 1	499 Pbe B - C	Whisky Bay – p.e. nº 1
484 Pbe C	Hidden Lake – p.e. nº 1	505 Pbe I	Hidden Lake – p.e. nº 2
488 Pbe	Whisky Bay – p.e. nº 2	507 Pbe	Whisky Bay – p.e. nº 2
497 Pbe D - J	Hidden Lake – p.e. nº 1		

- Tipo 2: Fusênio rígido, microlitotipo: fusita com matriz mineral, maceral: semifusinita

Os fósseis são de cor preta, apresentam risco espesso preto, podem ser foscos ou apresentar brilho sedoso fraco. A fratura pode ocorrer obedecendo aos planos estruturais da madeira ou apenas em planos longitudinais. Apresentam alta densidade, não apresentam porosidade e estão permineralizados. As paredes celulares são homogêneas (Figura 42: a, b, e), parcialmente degradadas (Figura 42: a, c, f) e não há características anatômicas

diagnósticas preservadas. A média de reflectância para este tipo é $R_r = 0,64$, $DP = 0,02$. A este tipo pertencem apenas as sub-amostras 489 Pbe A e B, coletadas na Formação Hidden Lake, a localização no perfil estratigráfico pode ser observada na Figura 6.

Os fósseis estão permineralizados por minerais carbonáticos, o teste com ácido clorídrico (HCl) apresentou resultado positivo. Em lâmina petrográfica da amostra 489 Pbe A, observou-se o preenchimento por cimento de calcita microcristalina, de hábito fibroso a acicular e uma segunda geração, com cimento recristalizado de calcita espática.

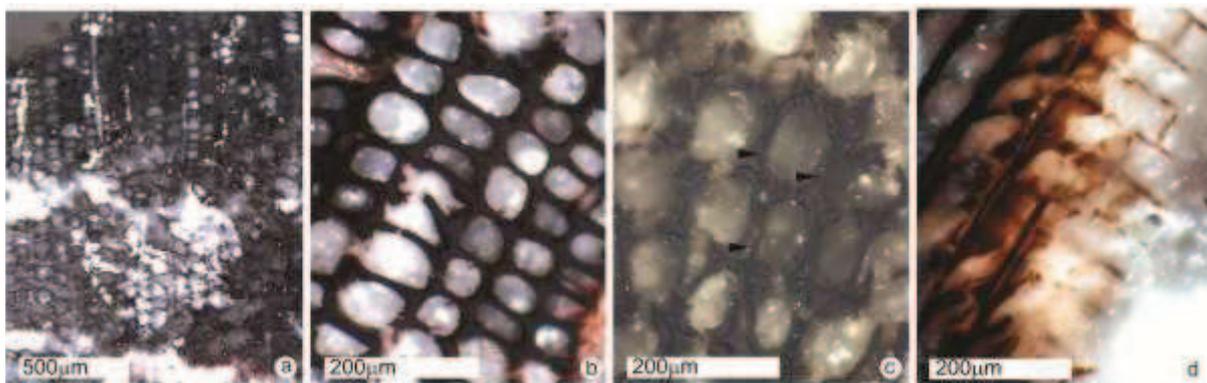


Figura 42 – Tipo 2: Semifusinitas: Amostra 489 Pbe A sob luz branca, plano transversal, a) fóssil muito mineralizado, b) paredes celulares homogêneas, c) setas indicam as paredes celulares com área da lamela média degradada, medida de reflectância, $R_r = 0,66$, f) plano radial, mal preservado com paredes celulares degradadas.

- Tipo 3: Madeira fóssil permineralizada

Os fósseis apresentam cor marrom escura ou preta, não deixam risco quando friccionados sobre papel ou podem deixar um risco fino marrom ou tênue risco preto. São exclusivamente foscos, a fratura ocorre apenas de maneira irregular. Apresentam alta densidade, não há porosidade e são permineralizados. As paredes celulares não são homogêneas (Figura 43: a, b), os fósseis apresentam áreas com diferentes graus de deformação (Figura 43: c, d). Ainda há a ocorrência de claros sinais de carbonificação (Figura 43: g, h) e degradação das paredes celulares (Figura 43: g). As características anatômicas diagnósticas podem estar muito bem preservadas (Figura 43: a, b, e, f, i, j) ou não (Figura 43: d, g, h). Os valores de reflectância indicam uma média de $R_r = 0,54$, $DP = 0,02$. A este tipo pertencem 63 sub-amostras, apresentadas na Tabela 10.

Os fósseis estão permineralizados principalmente por minerais carbonáticos. Em lâminas petrográficas da amostra 480 Pbe B, observou-se o preenchimento preferencial por calcita e cimento de caulinita em menor quantidade. Já na lâmina petrográfica da amostra 504

Pbe H, observou-se o preenchimento por cimento de calcita microcristalina, de hábito fibroso a acicular e uma segunda geração, com cimento recristalizado de calcita espática.

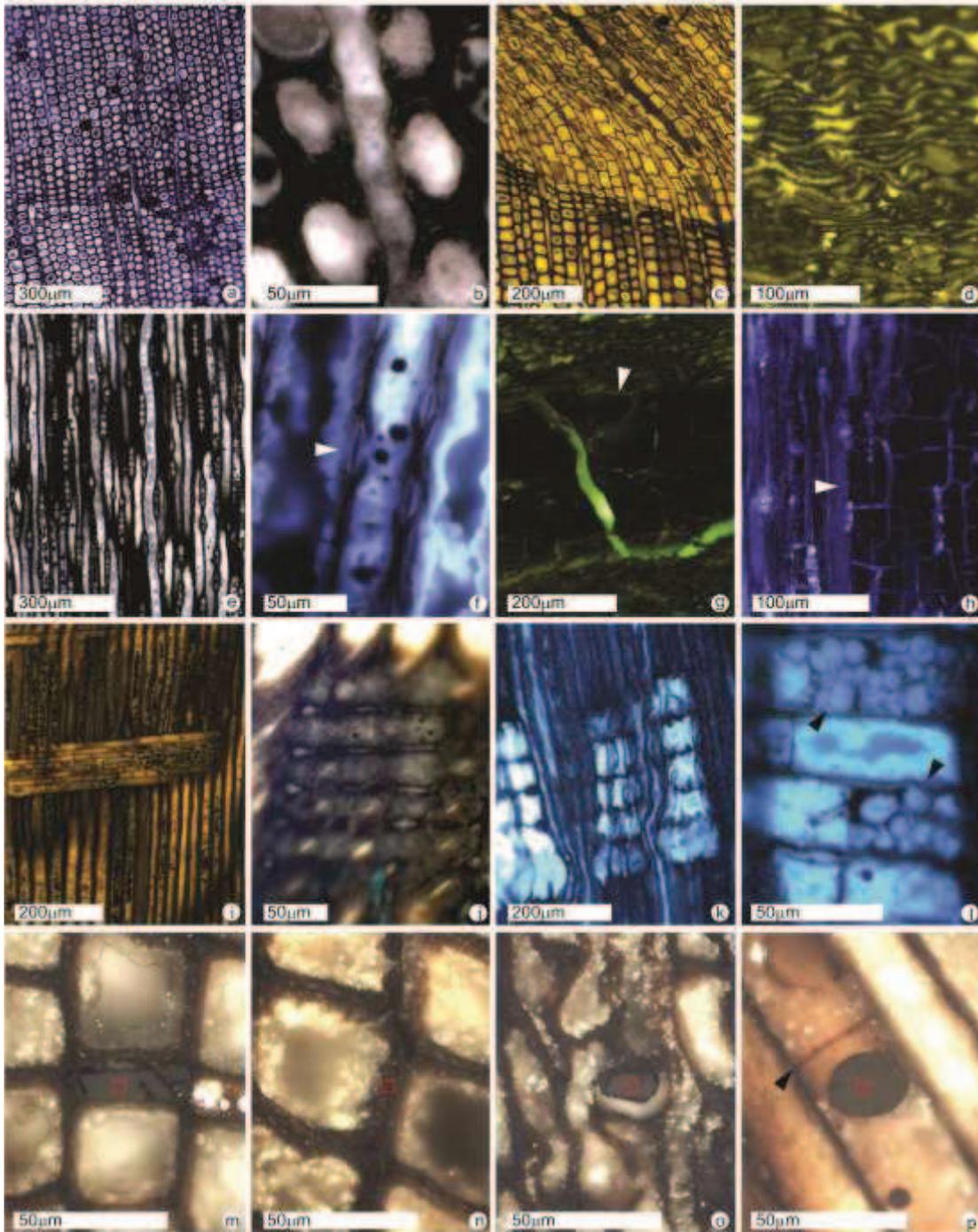


Figura 43 – Tipo 3: Plano transversal sob luz uv, a) Amostra 495 Pbe E, geral, b) detalhe das traqueídes do lenho inicial com as pontuações dos campos de cruzamento seccionadas longitudinalmente. Amostra 480 Pbe J, c) geral, d) detalhe da deformação das traqueídes. Plano tangencial, e) Amostra 495 Pbe B, geral, f) seta indica pontuações das paredes radiais das traqueídes. Amostra 492 Pbe C, g) plano transversal, seta indica área carbonificada, h) plano tangencial, seta indica área carbonificada. Plano radial, amostra 480 Pbe D, i) geral, j) detalhe das pontuações de campo de cruzamento preservadas; amostra 495 Pbe E, k) raios com paredes celulares mal preservadas, l) seta indica crescimento de calcita nas células de raio. Medidas de reflectância, plano transversal, amostra 480 Pbe I, m) resinita medida, entre traqueídes bem preservadas, $R_r = 0,79$, n) parede com partícula carbonificada medida, $R_r = 0,67$, o) resinita medida, entre traqueídes deformadas, $R_r = 0,66$, p) plano tangencial, resinita no interior da célula de parênquima, $R_r = 0,74$, seta indica a parede transversal da célula lisa.

Tabela 10 – Preservação tipo 3: amostras e respectivas Formações. A localização exata de cada amostra no perfil estratigráfico pode ser observada nas Figuras 2 a 8. P.e.: perfil estratigráfico.

Amostras	Formação
480 Pbe A - L	Hidden Lake – p.e. nº 2
485 Pbe A – J	Hidden Lake – p.e. nº 2
492 Pbe A – C	Santa Marta
495 Pbe A - Q	Hidden Lake – p.e. nº 1
503 Pbe C	Hidden Lake – p.e. nº 2
504 Pbe A – J, L, M, O – U	Hidden Lake – p.e. nº 2
505 Pbe B	Hidden Lake – p.e. nº 1

- Tipo 4: Vitrênio, microlitotipo: vitrita, maceral: colinita

Fósseis de cor preta, não riscam ou deixam um risco preto tênue, o brilho é exclusivamente vítreo. A fratura pode ser irregular (Figura 44: a, b) e/ou conchoidal (Figura 44: c) ou cubóide. São fósseis de baixa densidade, maciços e não apresentam permineralização. Não há preservação anatômica (Figura 44). A este tipo pertencem 11 subamostras, apresentadas na Tabela 11. Os valores de reflectância, obtidos a partir da amostra 487 Pbe E, indicam uma média de $R_r = 0,71$, $DP = 0,01$.

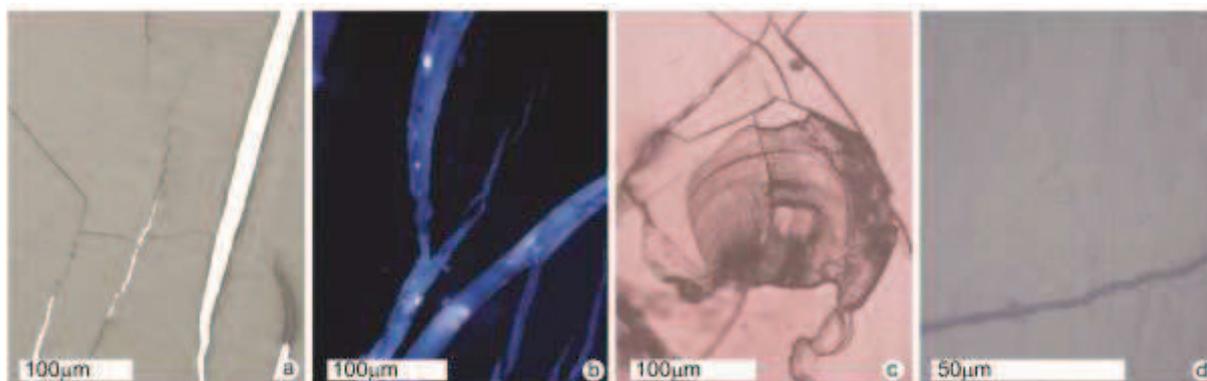


Figura 44 – Tipo 4: Colinitas. Amostra 487 Pbe E, fraturas irregulares, a) sob luz branca, b) sob luz azul/uv, c) fratura conchoidal, sob luz branca, d) quadro indica uma das áreas cuja reflectância foi medida, $R_r = 0,71$.

Tabela 11 – Preservação tipo 4: amostras e respectivas Formações. A localização exata de cada amostra no perfil estratigráfico pode ser observada nas Figuras 2 a 8. P.e.: perfil estratigráfico.

Amostras	Formação
487 Pbe E – H, K	Hidden Lake – p.e. nº 2
492 Pbe D, F, G	Santa Marta
511 Pbe A – C	Whisky Bay – p.e. nº 1

- Tipo 5: Madeira fóssil petrificada

Os fósseis apresentam cor marrom claro a cinza, não riscam, são exclusivamente foscos, apresentam apenas fratura irregular. A densidade é alta e não são porosos. Apresentam petrificação do lenho inicial e carbonificação concentrada no lenho tardio (Figura 45: a - d). Podem apresentar ou não preservação das características anatômicas diagnósticas (Figura 45: c, e, f, g). Apresentam resinitas e restos de paredes celulares carbonificadas no lenho inicial petrificado (Figura 45: h - l). A este tipo pertencem 7 sub-amostras, apresentadas na Tabela 12. Os valores de reflectância das partículas indicam uma média de $R_r = 0,36$, $DP = 0,01$.

Os fósseis estão petrificados por minerais carbonáticos, o teste com ácido clorídrico (HCl) apresentou resultado positivo. Em lâmina petrográfica da amostra 492 Pbe I, observou-se o preenchimento por cimento de calcita microcristalina, de hábito fibroso a acicular.

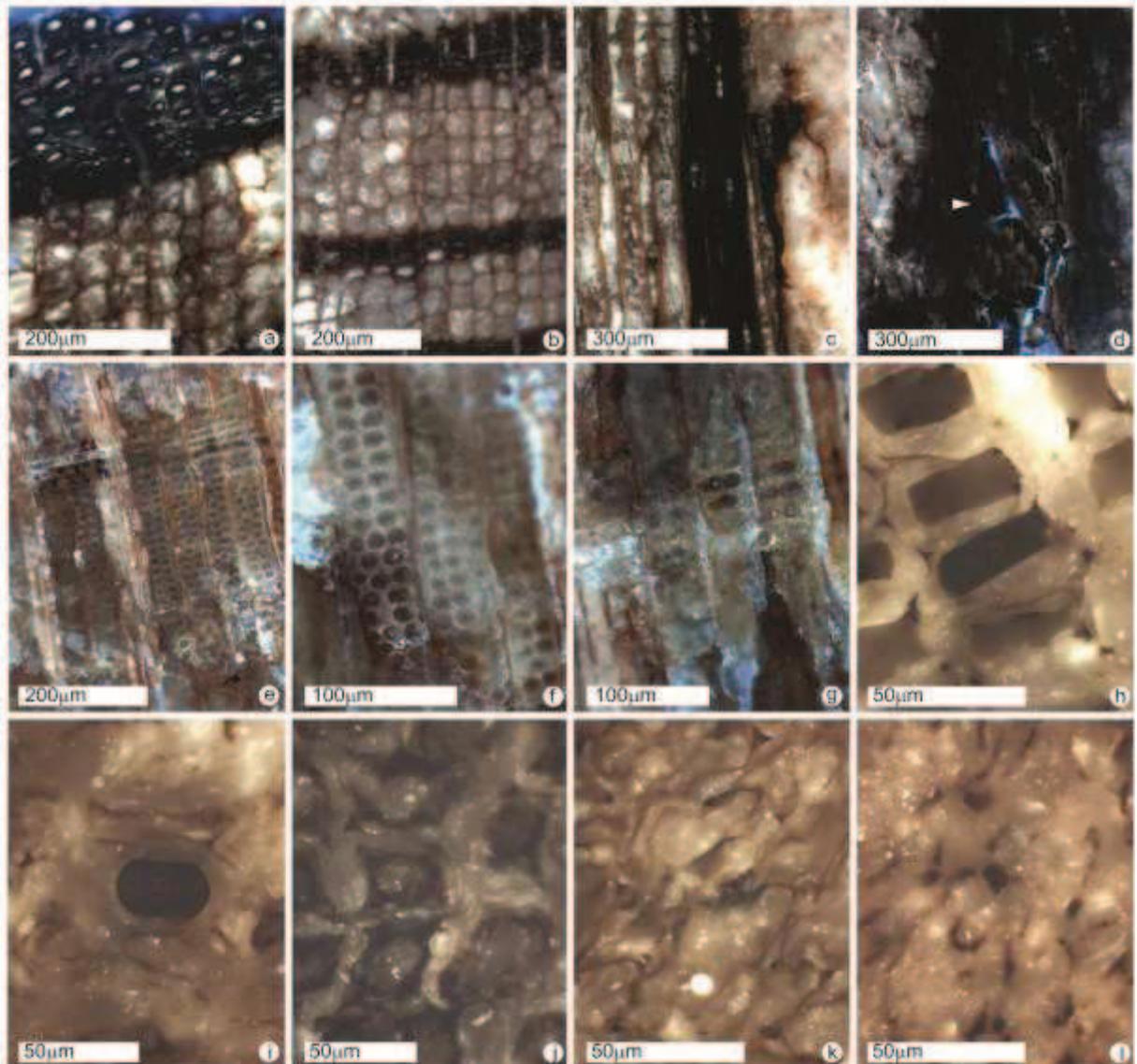


Figura 45 – Tipo 5: Amostra 492 Pbe I, plano transversal sob luz azul/uv, a-b) carbonificação do lenho tardio e petrificação do lenho inicial; plano longitudinal tangencial sob luz azul/uv, c) preservação dos raios petrificados no lenho tardio carbonificado, d) seta indica área com alto grau de carbonificação. Amostra 492 Pbe E sob luz azul/uv, e) plano longitudinal radial, células petrificadas, f) pontoações das paredes radiais das traqueídes, g) pontoações dos campos de cruzamento. Amostra 481 Pbe B sob luz branca, indicando as partículas onde foram medidas as reflectâncias, h) traqueídes petrificadas, com resinita no lumen, $R_r = 0,38$, i) área petrificada, com textura perdida e resinita, $R_o = 0,36$, j) traqueídes permineralizadas e petrificadas com carbonificação das paredes, $R_r = 0,34$, k-l) áreas petrificadas, com textura perdida, restos de parede celular carbonificados, $R_r = 0,39$ e $R_r = 0,38$.

Tabela 12 – Preservação tipo 5: amostras e respectivas Formações. A localização exata de cada amostra no perfil estratigráfico pode ser observada nas Figuras 2 a 8. P.e.: perfil estratigráfico.

Amostras	Formação
481 Pbe A, B	Santa Marta
492 Pbe E, H, I	Santa Marta
501 Pbe B, C	Santa Marta

- Tipo 6: Fusênio leve, microlitotipo: fusita, maceral: semifusinita

Os fósseis apresentam cor preta, risco espesso preto. Apresentam brilho sedoso. São fósseis de baixa densidade, apresentam porosidade no plano transversal, podem estar pouco permineralizados ou não apresentarem minerais preenchendo suas células. As paredes celulares são homogêneas (Figura 46: a - c). Nos fósseis preenchidos por minerais, apresentam pequenas áreas com quebra (Figura 46: a - b) e fratura é irregular. Porém, em fósseis sem permineralização alguma a quebra das paredes celulares ocorre, preferencialmente no lenho inicial, deixando-o com aspecto bandado (Figura 46: c), neste caso, a fratura longitudinal obedece aos planos com estrutura “bogen” do lenho inicial. Não há boa preservação das características anatômicas gerais (Figura 46: d, e), porém pode ocorrer a preservação de pontoações (Figura 46: f, g). Ainda, pode ocorrer preservação parcial de lamela média (Figura 46: h). A média de reflectância para este tipo é $R_r = 0,40$, $DP = 0,007$ e $R_r = 0,82$, $DP = 0,02$. A este tipo, pertencem 49 sub-amostras, apresentadas na Tabela 13.

Os poucos fósseis que apresentam um pouco de permineralização, estão preenchidos por minerais carbonáticos, o teste com ácido clorídrico (HCl) apresentou resultado positivo. Em lâmina petrográfica da amostra 484 Pbe B, observou-se o preenchimento por cimento de calcita microcristalina, de hábito fibroso a acicular e uma segunda geração, com cimento recristalizado de calcita espática.

Tabela 13 – Preservação tipo 6: amostras e respectivas Formações. A localização exata de cada amostra no perfil estratigráfico pode ser observada nas Figuras 2 a 8. P.e.: perfil estratigráfico.

Amostras	Formação	Amostras	Formação
482 Pbe	Santa Marta	497 Pbe A – C, K	Hidden Lake – p.e. nº 1
483 Pbe B – F	Hidden Lake – p.e. nº 1	501 Pbe A	Santa Marta
484 Pbe A, B, D - I	Hidden Lake – p.e. nº 1	504 Pbe K, N	Hidden Lake – p.e. nº 2
493 Pbe A – E	Santa Marta	505 Pbe C, D, E, H, J – M, O – X	Hidden Lake – p.e. nº 1
494 Pbe A – C	Santa Marta		

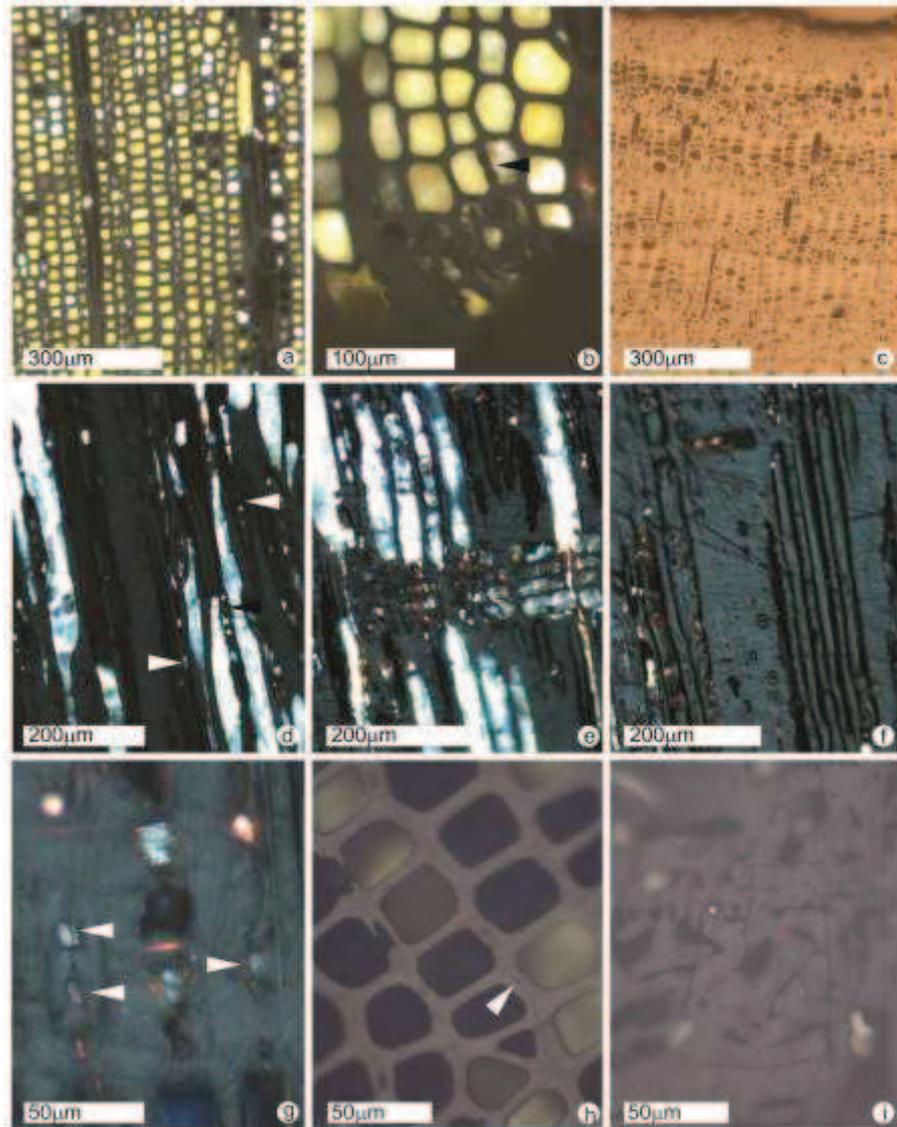


Figura 46 – Tipo 6: Semifusinitas. Amostra 505 Pbe J, plano transversal sob luz branca, a) pouca permineralização, excelente preservação das traqueídes, b) paredes homogêneas com pequena área quebrada, a seta indica uma pontoação da parede radial da traqueíde. Amostra 505 Pbe K, plano transversal sob luz branca, c) sem permineralização e quebra apenas no lenho inicial, formado bandas distintas com estrutura “bogen”. Amostra 493 Pbe C, sob luz branca, d) plano tangencial, setas indicam os raios parenquimáticos; e) plano radial, f) pontoações das paredes radiais das traqueídes, g) setas indicam as pontoações dos campos de cruzamento. Medidas de reflectância, plano transversal, h) amostra 505 Pbe J, seta indica parede homogênea com vestígio da lamela média presente, $Ro = 0,54$; i) amostra 505 Pbe K, paredes homogêneas, área com estrutura “bogen”, $Ro = 0,80$.

- Tipo 7: Fusênio rígido, microlitotipo: fusita com matriz mineral, maceral: semifusinita

Os fósseis são de cor cinza escura e preta, não riscam, são foscos. A fratura pode ocorrer obedecendo aos planos da madeira ou de forma irregular. A densidade é alta, não são porosos e são petrificados (Figura 47: a, c). As paredes celulares apresentam quebra, formando áreas com restos de parede angulosos e mantém a área da lamela média preservada

(Figura 47: b, c, h). A preservação dos tecidos não é boa (Figura 47: a, d, e), porém pode ocorrer a preservação das pontoações (Figura 47: e, f, g). A média de reflectância para é $R_r = 0,66 - 0,72$, $DP = 0,03$. A este tipo pertencem 15 sub-amostras, apresentadas na Tabela 14.

Os fósseis estão permineralizados principalmente por minerais carbonáticos, o teste com ácido clorídrico (HCl) apresentou resultado positivo. Em lâminas petrográficas das amostras 487 Pbe C e 500 Pbe C, observou-se o preenchimento preferencial por calcita e cimento de caulinita em menor quantidade.

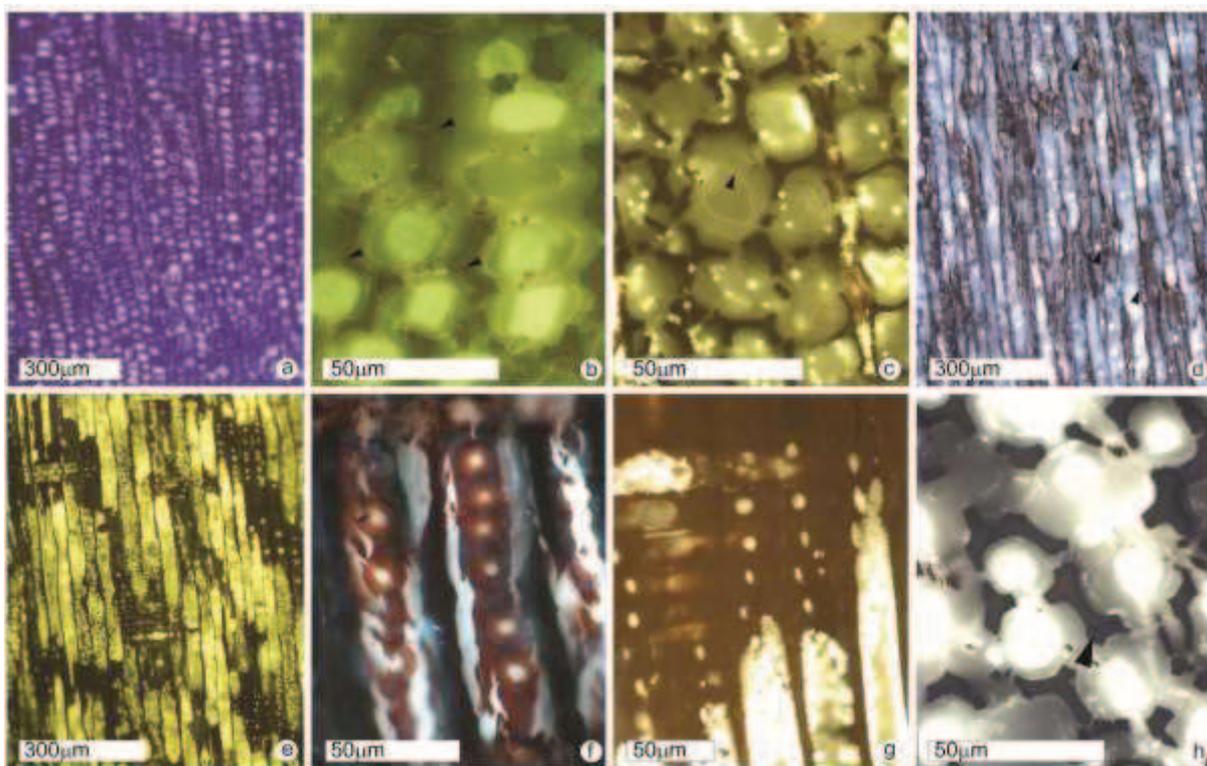


Figura 47 - Tipo 7: Semifusinitas. Amostra 499 Pbe A, plano transversal, a) sob luz azul/uv, b) sob luz uv, traqueídes petrificadas, setas indicam os restos de paredes celulares com lamela média preservada. Amostra 487 Pbe C, c) plano transversal sob luz uv, seta indica parede da traqueíde petrificada, d) plano longitudinal tangencial sob luz branca, setas indicam alguns raios parenquimáticos, plano longitudinal radial e) sob luz uv, f) sob luz branca, pontoações das paredes radiais das traqueídes, g) sob luz uv, pontoações dos campos de cruzamento. Medida de reflectância, h) amostra 499 Pbe A, $R_r = 0,70$, seta indica região da lamela média.

Tabela 14 – Preservação tipo 7: amostras e respectivas Formações. A localização exata de cada amostra no perfil estratigráfico pode ser observada nas Figuras 2 a 8. P.e.: perfil estratigráfico.

Amostras	Formação	Amostras	Formação
483 Pbe A	Hidden Lake – p.e. nº 1	499 Pbe A, D, E	Whisky Bay – p.e. nº 1
487 Pbe A, C, D, I, J, L, M	Hidden Lake – p.e. nº 2	500 Pbe A, C, E, F	Hidden Lake – p.e. nº 1

- Tipo 8: Madeira fóssil permineralizada e petrificada

Os fósseis são de cor preta, apresentam risco predominantemente marrom escuro com traços pretos nítidos, são foscos. A fratura pode ocorrer obedecendo aos planos longitudinais e/ou de forma irregular. A densidade é alta, não são porosos e apresentam petrificação (Figura 48: a, b). As paredes celulares apresentam degradação e partículas carbonificadas (Figura 48: c, d, h). A preservação dos tecidos não é boa (Figura 48: a, e, f) e é difícil a preservação de características anatômicas diagnósticas (Figura 48: g). A média de reflectância é $R_r = 0,34$, $DP = 0,01$. A este tipo pertencem 3 sub-amostras, 500 Pbe B e D, 502 Pbe, todas provenientes da Formação Hidden Lake (Figura 5). Em lâmina petrográfica da amostra 500 Pbe B, observou-se o preenchimento preferencial por calcita e cimento de caulinita em menor quantidade.

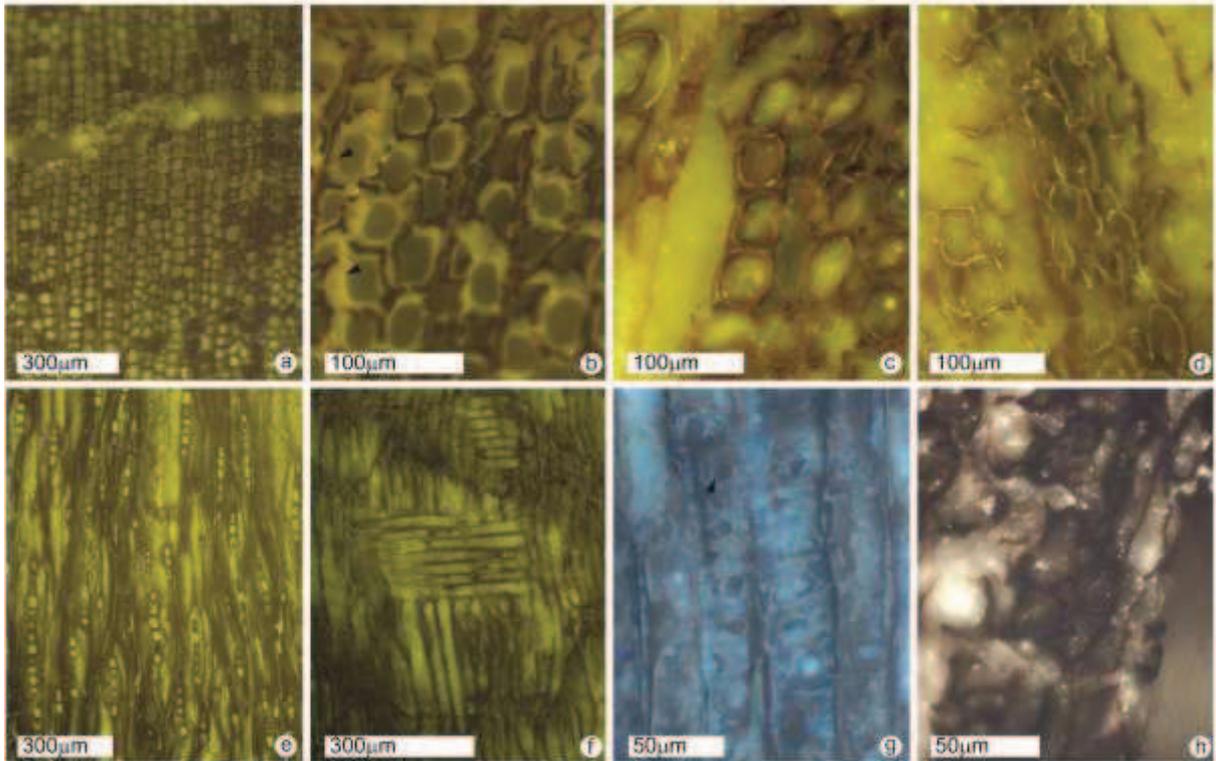


Figura 48 – Tipo 8: Amostra 500 Pbe D sob luz uv, a) plano transversal, b) detalhe das traqueídes, as setas indicam a petrificação. Amostra 500 Pbe B, plano transversa sob luz uv, c-d) degradação das paredes celulares; e) plano longitudinal tangencial; f) plano longitudinal radial; g) má preservação das pontuações das paredes radiais das traqueídes, sob luz azul/uv; medida de reflectância, h) partícula carbonificada $R_r = 0,38$.

- Tipo 9: Compressões de material vegetal

Os fósseis constituem compressões de material vegetal. A este tipo pertencem 28 sub-amostras, apresentadas na Tabela 15.

A matriz das compressões foi observada em lâmina petrográfica da amostra 509 Pbe D e observaram-se minerais siliciclásticos, fragmentos de lava vulcânica, feldspatos, plagioclásios e pouco quartzo.

Tabela 15 – Preservação tipo 9: amostras e respectivas Formações. A localização exata de cada amostra no perfil estratigráfico pode ser observada nas Figuras 2 a 8. P.e.: perfil estratigráfico.

Amostras	Formação	Amostras	Formação
486 Pbe A - C	Hidden Lake – p.e. nº 2	506 Pbe A – D	Whisky Bay – p.e. nº 2
487 Pbe B	Hidden Lake – p.e. nº 2	508 Pbe A – C	Hidden Lake – p.e. nº 2
503 Pbe A, B	Hidden Lake – p.e. nº 2	509 Pbe A – G	Hidden Lake – p.e. nº 2
505 Pbe A, F, G, N, Z	Hidden Lake – p.e. nº 1	510 Pbe A – C	Hidden Lake – p.e. nº 2

Após a definição destes tipos de preservação, foi realizada a análise estatística de agrupamento (*cluster*) pelo método Ward, utilizando-se o coeficiente de correlação de Pearson, com o objetivo de comparar as diferentes variáveis qualitativas (características macroscópicas) mensuradas e sua relação com as amostras fósseis.

O resultado não identifica os processos tafonômicos e diagenéticos, porém demonstra a grande importância de algumas características macroscópicas para a identificação dos modos de preservação dos fósseis (Figura 49).

A variável que apresenta maior peso é a densidade de massa, separando os fósseis de densidade baixa (tipos 4 e 6) de todos os outros. Seguida pela porosidade, risco, brilho e cor.

Os tipos mais semelhantes entre si, macroscopicamente, são os tipos 3 e 7 (madeira permineralizada e fusênio rígido). O tipo 5 (madeira petrificada) é semelhante a eles, exceto pela coloração cinza que o distingue. Em seguida, outro grupo, os tipos 1 e 2 são indistinguíveis macroscopicamente, tratam-se de fusênios rígidos e estes relacionam-se macroscopicamente ao tipo 8 (madeira permineralizada e petrificada). Por fim, os tipos 4 (vitrênio) e 6 (fusênio leve) assemelham-se principalmente pela densidade baixa, mas diferenciam-se pela porosidade e brilho. O tipo 9 surge, pois os fragmentos lenhosos das compressões também apresentam baixa densidade.

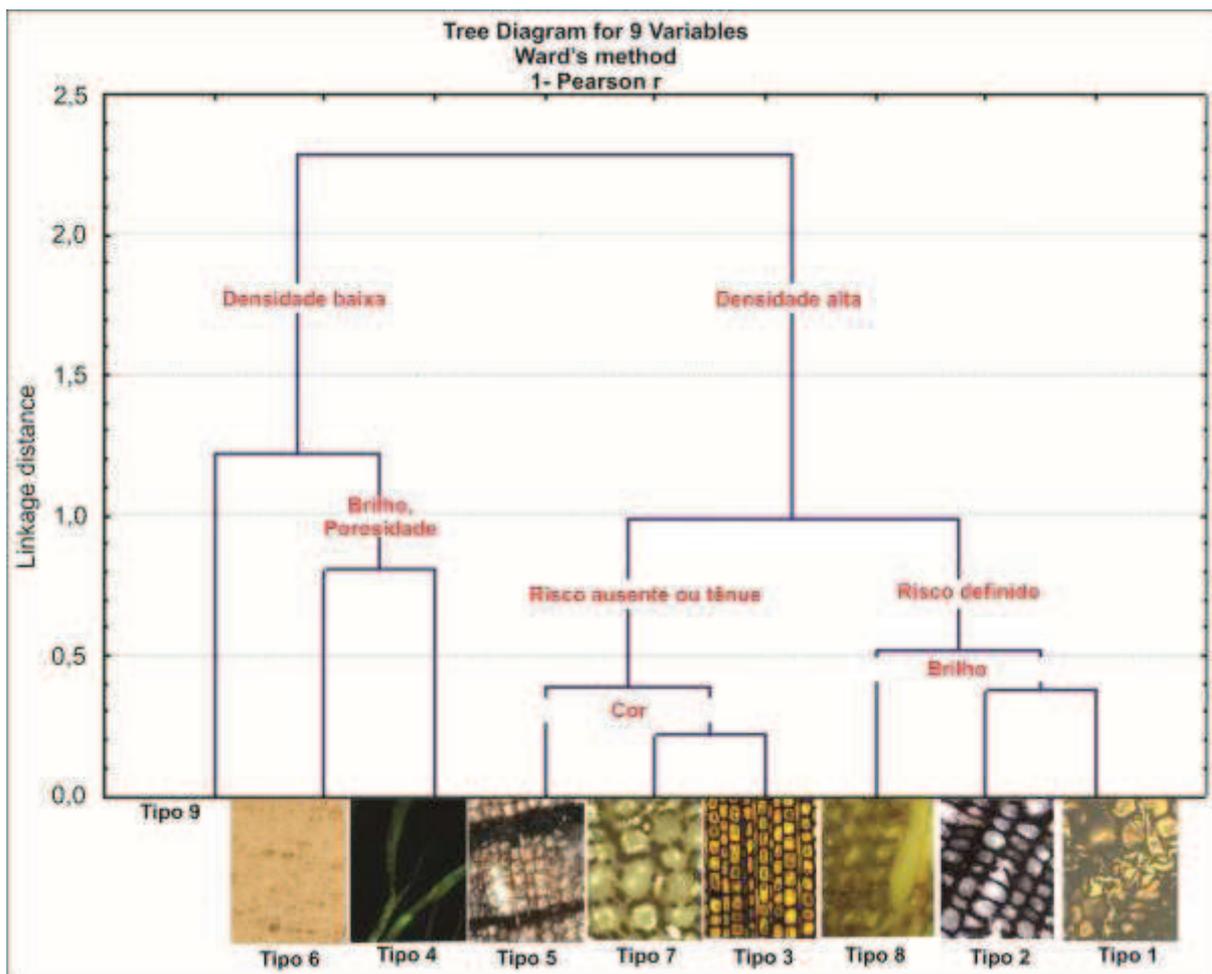


Figura 49 – Dendrograma gerado pelo programa PAST, utilizando o método de Ward, a partir das características macroscópicas de cada tipo de preservação dos fragmentos fósseis analisados neste estudo. Em vermelho, as características macroscópicas diagnósticas.

3.3.1 CHAVE DICOTÔMICA

A partir da definição dos tipos de preservação e do resultado da análise estatística, é possível afirmar que as características macroscópicas são importantes na identificação dos modos de preservação dos fragmentos fósseis externamente enegrecidos das Formações Whisky Bay, Hidden Lake e Santa Marta. Assim, visando melhorar as coletas em campo e ampliar a gama de estudos possíveis com material deste tipo, apresenta-se a seguir uma chave dicotômica para ser utilizada em campo, onde o material deve ser observado a olho nu e com lupa conta fios (aumento 10x).

**CHAVE DICOTÔMICA PARA IDENTIFICAÇÃO DOS TIPOS DE PRESERVAÇÃO DOS FRAGMENTOS
FÓSSEIS LENHOSOS, ENEGRECIDOS EXTERNAMENTE (“CARVÕES”), DAS FORMAÇÕES
WHISKY BAY, HIDDEN LAKE, SANTA MARTA, ILHA JAMES ROSS, PENÍNSULA ANTÁRTICA.**

Material necessário para análise: martelo e lupa conta fios (aumento de 10x).

1 – fragmento com densidade baixa.....	2
1’ – fragmento com densidade alta.....	3
2 – no plano de quebra, o fóssil apresenta intenso brilho vítreo.....	Tipo 4
2’ – no plano de quebra longitudinal, o fóssil apresenta brilho sedoso, cor preta e sob lupa conta fios observa-se sua porosidade no plano transversal.....	Tipo 6
3 – no plano de quebra longitudinal, o fóssil apresenta cor cinza.....	4
3’ – no plano de quebra longitudinal, o fóssil apresenta cor marrom ou preta.....	5
4 – no plano de quebra transversal, sob lupa conta fios, observam-se as células preenchidas por minerais, mas com aparente preservação do seu tamanho.....	Tipo 7
4’ – no plano de quebra transversal, sob lupa conta fios, observam-se as células preenchidas por minerais, no entanto, as paredes celulares aparecem “crescidas” irregularmente sobre os lúmens reduzidos.....	Tipo 5
5 – no plano de quebra longitudinal, o fóssil apresenta cor preta.....	6
5’ – no plano de quebra longitudinal, o fóssil apresenta cor marrom.....	8
6 – o fóssil, quando friccionado sobre papel, deixa um risco aparente.....	7
6’ – o fóssil, quando friccionado sobre papel, não deixa risco.....	Tipo 7
7 – o fóssil deixa risco preto, espesso ou fino.....	Tipos 1 e 2
7’ – o fóssil deixa risco predominantemente marrom, com traços pretos.....	Tipo 8
8 – no plano de quebra transversal, sob lupa conta fios, observam-se as células preenchidas por minerais, mas com aparente preservação do seu tamanho.....	Tipo 3
8’ – no plano de quebra transversal, sob lupa conta fios, observam-se as células preenchidas por minerais, no entanto, as paredes celulares aparecem “crescidas” irregularmente sobre os lúmens reduzidos.....	Tipo 5

3.3.2 FREQUÊNCIAS E OCORRÊNCIAS

O material é composto por carvões (49%), madeira fóssil (37%) e compressões (14%) (Figura 50).

Os carvões dividem-se em:

- Tipo 1 – fusênio rígido: compreende 10% do material e ocorre nas Formações Hidden Lake (16 sub-amostras) e Whisky Bay (4 sub-amostras). Não há uma litologia de ocorrência preferencial, ocorre do siltito ao arenito muito grosso.

- Tipo 2 – fusênio rígido: apenas 1,5% do material, 2 sub-amostras na Formação Hidden Lake, em arenitos muito finos, e 1 na Formação Whisky Bay, arenito grosso.

- Tipo 7 – fusênio rígido: 7,5% dos fósseis, com 12 sub-amostras na Formação Hidden Lake e 3 na Formação Whisky Bay. Ocorre em siltitos e arenitos muito grossos.

- Tipo 6 – fusênio leve: compõe 24,5% do material, 37 sub-amostras para a Formação Hidden Lake e 12 Formação Santa Marta. Ocorre em siltitos e arenitos finos a muito grossos.

- Tipo 4 – vitrênio: 5,5% do material e 8 sub-amostras para a Formação Hidden Lake e 3 para a Formação Whisky Bay. Apenas em siltitos e arenitos grossos.

As madeiras fósseis permineralizadas e/ou petrificadas, dividem-se em:

- Tipo 5 – madeira petrificada: apenas 3,5% do material, 4 amostras na Formação Santa Marta e 3 na Formação Hidden Lake. Apenas em arenitos muito finos.

- Tipo 8 – madeira permineralizada e petrificada: 1,5%, exclusiva da Formação Hidden Lake. Apenas em siltitos e arenitos muito grossos.

- Tipo 3 – madeira permineralizada: totaliza 32% de todo o material e ocorre apenas na Formação Hidden Lake. Apenas em siltitos e arenitos muito finos a médios.

- Tipo 9 – compressões: representa 14% do material e há 24 sub-amostras para a Formação Hidden Lake e 4 para a Formação Whisky Bay. Apenas em siltitos e arenitos médios.

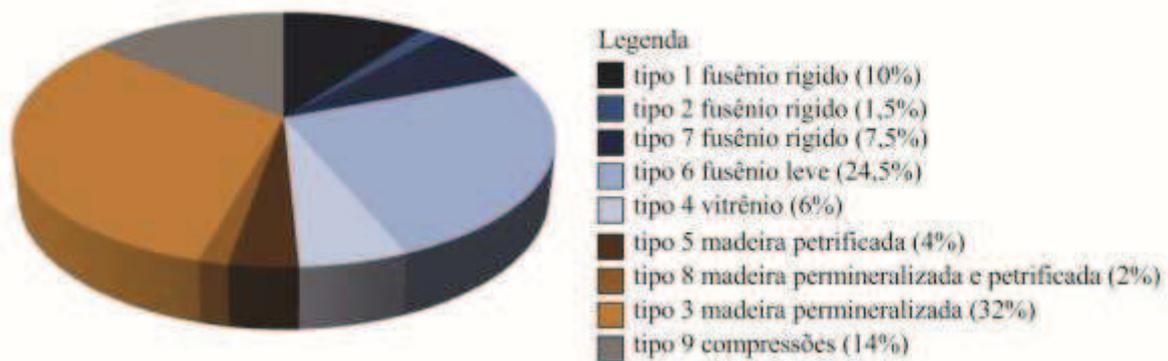


Figura 50 – Gráfico das frequências dos 9 tipos de preservação definidos para o material.

3.4 TAXONOMIA

As descrições anatômicas e a identificação do material foi realizada com base apenas nas análises das amostras submetidas ao emblocamento em resina e observação em microscópio de luz refletida, com imersão, sob luz branca e ultravioleta. No total são 84 fósseis gimnospermas e 3 angiospermas. A seguir, apresentam-se as descrições e identificações, separadas por grupo.

3.4.1 Gimnospermas

Família: Araucariaceae

Agathoxylon Hartig

Agathoxylon sp.

Amostra: 484 Pbe C.

Formação: Hidden Lake, perfil estratigráfico nº 1 (Figura 5) – Coniaciano.

Preservação: Fusênio rígido (Tipo 1)

Descrição: O fóssil está bastante alterado, não é possível observar várias características com clareza. O lenho é composto por traqueídes e células de parênquima radial, não foram observadas células de parênquima axial preservadas (Figura 51). No plano transversal, os anéis de crescimento são distintos e estreitos, demarcados aparentemente por 2 a 5 camadas de traqueídes de paredes finas, a transição entre os lenhos inicial e tardio é abrupta (Figura 51: a, b). Os raios parenquimáticos não estão preservados neste plano (Figura 51: a, b). As paredes das traqueídes estão homogeneizadas, há amplas regiões com estrutura “*bogen*” (Figura 51: c), no entanto é possível observar as pontoações das paredes radiais das traqueídes em seção longitudinal, sem a preservação da área do tórus, (Figura 51: d). No plano

tangencial, os raios são aparentemente unisseriados, não é possível determinar a ocorrência de bi- ou tri- seriação; também não é possível definir a altura em número de células, devido à quebra das paredes celulares, porém, a média em micrometros é 173 (69 – 500 μm) (Figura 51: e, f). Observam-se também as pontoações das paredes radiais das traqueídes, preservadas em seção longitudinal, sem a preservação da área do tórus (Figura 51: g, h). No plano radial, não é possível determinar a composição do raio, no entanto as pontoações estão preservadas (Figura 51: i, l). As pontoações dos campos de cruzamento são araucarióides e ocorrem de 2 – 6 (maioria 4) pontoações por campo de cruzamento (Figura 51: m, n, o, p). As pontoações das paredes radiais das traqueídes são unisseriadas e bisseriadas, exclusivamente araucarianas (Figura 51: j, k).

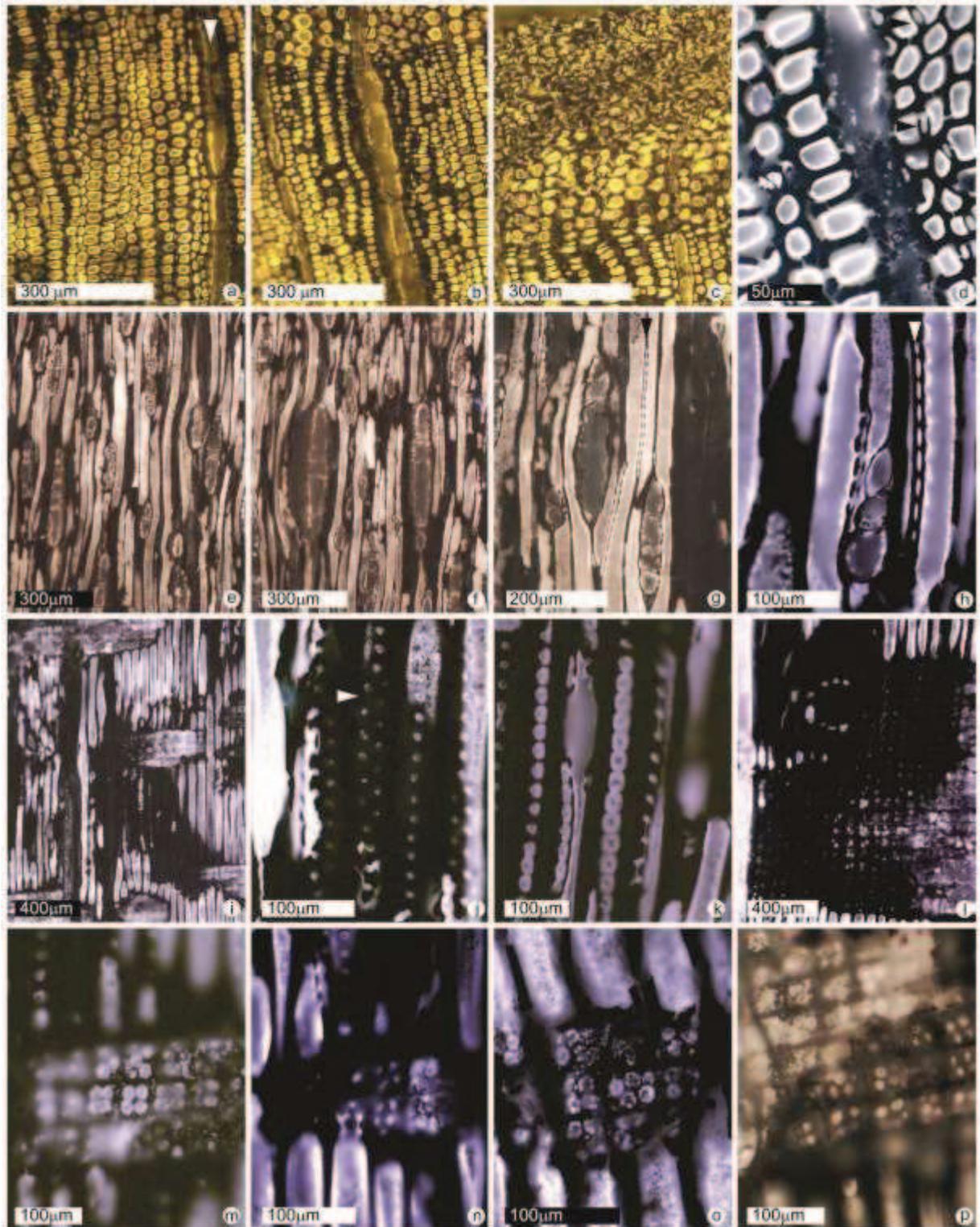


Figura 51 – *Agathoxylon* sp.: Amostra 484 Pbe C, sob luz ultravioleta. Plano transversal, a) lenho inicial, seta indica raio não preservado, b) transição entre os lenhos inicial e tardio, c) área com estrutura “bogen”, d) detalhe do lenho inicial com as paredes celulares homogêneas, setas indicam pontoações das paredes radiais das traqueídes. Plano tangencial, e-f) geral, g-h) detalhes evidenciando os raios, as setas indicam as pontoações das paredes radiais das traqueídes. Plano radial, i) geral, j-k) pontoações das paredes radiais das traqueídes araucarianas, seta indica pontoação bisseriada, l) detalhe do raio mostrando a grande quantidade de pontoações de campos de cruzamento preservadas, m-p) pontoações de campos de cruzamento araucarióides, os pequenos grãos brilhantes são de alumina, remanescentes da preparação da amostra.

Descrição do gênero: O material original foi perdido e não há ainda uma nova descrição formal proposta (PHILIPPE & BAMFORD, 2008). No entanto, o gênero *Agathoxylon* pode ser utilizado sem problema algum para as madeiras com pontoações araucarianas e araucarióides (HARTIG, 1848 *in* BAMFORD & PHILIPPE, 2001).

Afinidade botânica: Devido à baixa preservação do fóssil foi possível selecionar um grupo de fósseis descritos na literatura com os quais o material possa ter afinidade, com base apenas nas características das pontoações, que foram as melhores preservadas (Tabela 16). Destaca-se o fóssil descrito por OTTONE & MEDINA (1998) como *Agathoxylon* sp. para o Albiano da Ilha James Ross, não é possível afirmar que estes fósseis apresentam ou não afinidade, uma vez que a diferença no número de pontoações dos campos de cruzamento é pequena e a quantidade de pontoações relaciona-se diretamente com o diâmetro das traqueídes, que por sua vez varia dependendo da sua posição no órgão e de condições ambientais (NISHIDA *et al.*, 1990; SCHWEINGRUBER, 2007).

Tabela 16 – Fósseis araucarióides que podem apresentar afinidade com o material deste estudo. Legenda: A.: abreviação do gênero *Araucarioxylon* Kraus. Todas as ilhas citadas localizam-se na Península Antártica.

Espécies	Localidade	Idade	Pont. traq.	Pont. cruz.
484 Pbe C <i>Agathoxylon</i> sp	I. James Ross	Coniaciano	1-2 (1)	2-6 (4)
<i>Agathoxylon</i> sp. (OTTONE & MEDINA, 1998)	I. James Ross	Albiano	1-2	1-4
<i>Araucariopitys antarcticus</i> (POOLE & CANTRILL, 2001)	I. Livingston	Cenomaniano - Campaniano	1-2	2-9 (6)
<i>A. arayaii</i> (TORRES <i>et al.</i> , 1982)	I. South Shetland	Cenomaniano	1-3 (2)	2-5
<i>A. novazelandae</i> (TORRES, 1984)	I. Seymour	Eoceno	1-2 (1)	4-6
<i>A. pluriresinosum</i> (TORRES & BIRO-BAGOCZKY, 1986)	Chile	Cretáceo tardio	1-4 (2-3)	2-6
<i>A. pseudoparenchymatosum</i> (NISHIDA, 1981; TORRES, 1984)	I. South Shetland, I. Seymour, Argentina, Chile	Cretáceo tardio - Eoceno	1-2	2-8
<i>A. seymourense</i> (TORRES, 1984)	I. Seymour	Eoceno	1-2 (1)	1-6
<i>Araucarioxylon</i> . sp. (FALCON-LANG & CANTRILL, 2000)	I. Alexander	Albiano tardio	1-2	2-8

Discussão: Este material apresenta lenho com características araucarióides, este tipo de lenho foi descrito pelos paleobotânicos, ao longo do tempo, com nomes genéricos distintos: *Agathoxylon* Hartig (1848), *Dadoxylon* Endlicher (1847) e Seward (1919), *Araucarioxylon*

Maheshwari (1972), Jeyasingh et Kumarasamy (1995), *Chapmanoxylon* Pant et Singh (1987) (PHILIPPE, 1993). No entanto, destes gêneros o único que permanece legítimo é *Agathoxylon* Hartig (PHILIPPE & BAMFORD, 2008; PHILIPPE, 2011) e é pertinente que seja utilizado. As únicas características resgatadas com maior precisão são as pontoações dos campos de cruzamento e as pontoações das paredes radiais das traqueídes, não é possível inferir sobre a afinidade com espécies fósseis descritas. Assim, o fóssil permanece como *Agathoxylon* sp.

Ocorrência: Fósseis araucarióides estão descritos na literatura desde o Triássico tardio (STOCKEY, 1994). Do Jurássico ao Mesozóico, ocorreram desde o Gondwana à Laurásia (paleolatitudes: 15° - 50° N) (KRASSILOV, 1978), foram desaparecendo das regiões mais ao norte, ao longo do Cretáceo e a família, ao final do período, concentrava-se no Gondwana (KUNTZMAN, 2007). Os registros para a Antártica datam do Aptiano ao Eoceno (CANTRILL & POOLE, 2005) e desde o Jurássico para a Patagônia argentina (OTTONE & MEDINA, 1998).

Afinidade botânica com lenhos atuais: O material apresenta afinidade com lenhos da família Araucariaceae. Atualmente, esta família ocorre exclusivamente no Hemisfério Sul, como relictos da flora de Gondwana, na região Indomalalaia, em Bornéu, Sumatra, Nova Guiné, Nova Caledônia, Nova Zelândia, Austrália e América do Sul (KUNTZMAN, 2007).

Família: Cupressaceae

Cupressinoxylon Göppert

Cupressinoxylon parenchymatosum Torres

Amostras: 495 Pbe A, B, C, E, G, I, K, L, O.

Formação: Hidden Lake, perfil estratigráfico nº 2 (Figura 6) – Coniaciano.

Preservação: madeira fóssil permineralizada (Tipo 3). Há áreas deformadas com carbonificação parcial das paredes celulares e de conteúdo orgânico no interior das células (resinitas). As amostras estão preenchidas principalmente por calcita. Os cristais de pirita ocorrem principalmente em hábito framboidal²⁰ e em hábito poligonal, em menor quantidade.

²⁰ Framboidal: termo considerado exclusivamente textural e não genético, que descreve agregados esféricos de microcistos com um diâmetro máximo de até 150µm (GARCIA – GUINEA *et al.*, 1998).

Descrição: O lenho é composto por traqueídes, células de parênquima axial e radial (Figura 52). No plano transversal, os anéis de crescimento são distintos e muito tênues, demarcados apenas por 1 a 3 camadas de traqueídes, a transição entre os lenhos inicial e tardio é abrupta (Figura 52: a, b). O parênquima axial é difuso, porém apresenta-se agrupado formando linhas curtas tangenciais (Figura 52: a, c). Há regiões deformadas, onde é possível identificar partículas carbonificadas (Figura 52: d). No plano tangencial, os raios são exclusivamente unisseriados, raramente são localmente bisseriados. A altura dos raios é média, 6 células (1-15), em micrometros, a média é 229 (29-587 μ m). O parênquima axial apresenta paredes transversais lisas (Figura 52: e, f, g). No plano radial, os raios são compostos exclusivamente por células de parênquima, cujas paredes transversais são lisas, verticais a oblíquas (Figura 52: h, i). As pontoações dos campos de cruzamento são cupressóides, ovais e medem, em média, 27 μ m de altura e 23 μ m de largura, ocorrem exclusivamente solitárias nos campos de cruzamento e suas aberturas são oblíquas (Figura 52: i, k, l). As pontoações das paredes das traqueídes estão mal preservadas, mas são exclusivamente unisseriadas, areoladas, mistas e medem em média 15 μ m de diâmetro (Figura 52: j). Ainda, as traqueídes estão preenchidas por pirita de hábito framboidal, além da ocorrência em menor quantidade de pirita de hábito poligonal. (Figura 52: h, i, m).

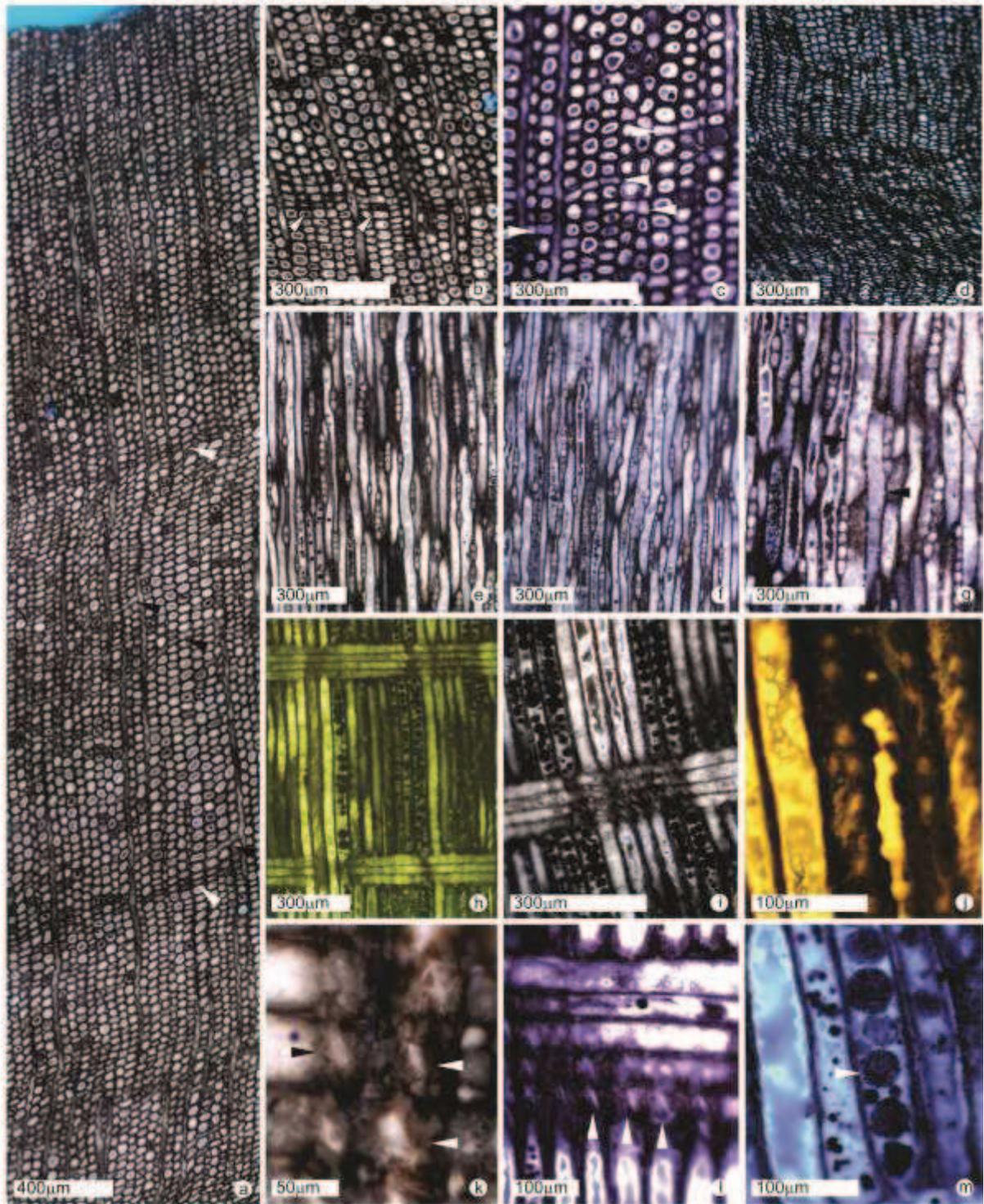


Figura 52 – *Cupressinoxylon parenchymatosum*: Plano transversal, amostra 495 Pbe B, sob luz ultravioleta, a) geral, setas indicam os anéis de crescimento, b) detalhe da transição entre os lenhos inicial e tardio, setas indicam um anel de crescimento, c) amostra 495 Pbe E, lenho inicial, setas indicam as linhas de parênquima axial, d) amostra 495 Pbe K, área deformada. Plano tangencial, e) amostra 495 Pbe E, geral, f-g) amostra 495 Pbe I, setas indicam as células de parênquima axial com paredes transversais lisas. Plano radial, amostra 495 Pbe K, h) geral, i) detalhe do raio; Amostra 495 Pbe E, j) pontoações das paredes radiais das traqueídes, k-l) campos de cruzamento, setas indicam pontoações cupressóides; m) amostra 495 Pbe K, seta indica cristais de pirita framboidais no interior da traqueíde em maior quantidade que os cristais poligonais.

Descrição do gênero: “lenho com estrutura similar às atuais Cupressinae [...], a madeira apresenta anéis de crescimento distintos e estreitos, o lenho tardio é usualmente estreito e apresenta células com paredes espessas e achatadas, o lenho inicial muito mais largo com células de paredes finas [...] Traqueídes misturadas a células simples resiníferas. Pontoações redondas e unisseriadas, em troncos mais velhos podem ser bi-, tri- ou quadrisseriadas, no mesmo plano horizontal, na maioria das vezes somente naquelas paredes de traqueídes que são opostas e paralelas aos raios medulares, mas às vezes também em paredes tangenciais, e estas são menores em todos os aspectos. Raios medulares homogêneos, baixos e unisseriados, compostos por células de parênquima pontoadas; as paredes inferiores e superiores das suas células apresentam pequenas pontoações, enquanto as paredes laterais apresentam grandes pontoações. Canais resiníferos formados na maioria das vezes por uma linha simples de células alongadas, subquadrangulares superpostas, dispersas principalmente entre as células do lenho tardio” (GÖPPERT, 1850 *apud* PHILIPPE & BAMFORD, 2008). Há uma grande confusão na literatura desde a definição do gênero, ele pode ser relacionado às famílias Cupressaceae, Podocarpaceae e Taxodiaceae, porém *Cupressinoxylon* trata-se de um *nomen conservandum* (BAMFORD & PHILIPPE, 2001).

Afinidade botânica: *Cupressinoxylon parenchymatosum* Torres, proveniente da Ilha Rei George, Formação Fildes (Eoceno inicial - médio): Anéis de crescimento distintos e estreitos (1 a 3 células). Parênquima axial abundante, com arranjo em linhas mais ou menos tangenciais. Pontoações das paredes radiais das traqueídes unisseriadas, raras bisseriadas, mistas, circulares, areoladas. Pontoações dos campos de cruzamento cupressóides, maioria solitárias, raras em pares. Raios unisseriados, altura de 1 a 10 células (TORRES, 1985).

Discussão: a descrição original do gênero baseia-se em *Cupressinoxylon subaequale* Göeppert e apresenta várias características que não são comuns a outras espécies de *Cupressinoxylon*, como a plurisseriação das pontoações das paredes radiais das traqueídes em lenhos mais velhos; porém, as características comuns aos fósseis aqui descritos são os anéis de crescimento distintos e estreitos, pontoações das paredes radiais das traqueídes redondas e unisseriadas, raios homogêneos, baixos e unisseriados. Na chave de PHILIPPE & BAMFORD (2008) consideram-se como características pertencentes a este gênero: raios exclusivamente unisseriados, pode ocorrer algumas bisseriações locais; parênquima axial pode ou não estar presente; todas as paredes das células radiais finas e lisas; as pontoações das paredes radiais das traqueídes redondas (cupressóides), abietianas, pode ocorrer contiguidade, são unisseriadas, quando bi- ou plurisseriadas são sempre opostas. Já a descrição da espécie

Cupressinoxylon parenchymatosum está bastante relacionada com estes fósseis. POOLE *et al.* (2001) descreveram um fóssil como *Cupressinoxylon* sp. para o Eoceno da Ilha Rei George, muito parecido com os fósseis deste trabalho e o *C. parenchymatosum*, porém não assumiram a espécie pois não há abundância de parênquima axial. Neste trabalho, assume-se a espécie pelo alto grau de similaridade das características, incluindo a presença abundante de parênquima axial em linhas curtas, mais ou menos tangenciais, e a baixa altura dos raios.

Ocorrência: Os fósseis de *Cupressinoxylon*, assim como folhas e pólenes de Cupressaceae ocorrem para o Paleoceno tardio ao Eoceno médio da Ilha Rei George (POOLE *et al.*, 2001, FRANCIS *et al.*, 2008). No entanto, a ocorrência dos gêneros *Cupressinoxylon* e *Taxodioxyton*, data do Albiano tardio ao Eoceno médio para a Antártica (CANTRILL & POOLE, 2005). PHILIPPE *et al.* (2004) apontam a ocorrência de fósseis de *Cupressinoxylon* para o início do Jurássico (Índia, Argentina), início do Cretáceo (Índia e Brasil), e talvez Aptiano (Tanzânia).

Afinidade botânica com lenhos atuais: Segundo TORRES (1985), a espécie apresenta afinidade botânica com o gênero atual *Libocedrus* Endlicher. Os lenhos deste gênero apresentam anéis estreitos ou em transição gradual, o parênquima é abundante e pode ocorrer em linhas ou células isoladas difusas. O gênero ocorre no Chile, Nova Caledônia e Nova Zelândia (ECKENWALDER, 2009).

Família: Cupressaceae

Taxodioxyton Hartig

Taxodioxyton sp.1

Amostras: 480 Pbe A, G, I, J.

Formação: Hidden Lake, perfil estratigráfico nº 2 (Figura 6) – Coniaciano.

Preservação: madeira fóssil permineralizada (Tipo 3). Os fósseis estão preenchidos por calcita. Os cristais de pirita ocorrem apenas em hábito poligonal. Ainda, apresentam amplas áreas deformadas e há carbonificação de conteúdo orgânico (resinitas), bem como regiões das paredes celulares.

Descrição: O lenho é composto por traqueídes, células de parênquima axial e radial (Figura 53). No plano transversal, os anéis de crescimento são distintos e demarcados por 3 a 8 camadas de traqueídes de paredes finas, a transição entre os lenhos inicial e tardio é abrupta

(Figura 53: a, b). O parênquima axial é difuso e suas células apresentam partículas carbonificadas (resinitas) (Figura 53: a, d). Há regiões deformadas, onde é possível identificar partículas carbonificadas e raios arrebatados (Figura 53: b). Ainda no plano transversal, é possível observar com bastante facilidade as pontoações radiais das traqueídes, preservadas em seção longitudinal, com a preservação da área do tórus (Figura 53: c). No plano tangencial, os raios são unisseriados, ocorrendo também, em menor quantidade, os localmente bisseriados. A altura dos raios é média, 9 células (1-20), em micrometros, a média é 208 (35-501 μm) (Figura 53: e, f). Observam-se também as pontoações das paredes radiais das traqueídes, preservadas em seção longitudinal, com a preservação da área do tórus e cristais de piritita poligonais no interior da traqueíde (Figura 53: g). No plano radial, os raios são compostos exclusivamente por células parenquimáticas, cujas paredes transversais são lisas, verticais a oblíquas; o parênquima axial apresenta paredes transversais lisas e resinitas (Figura 53: h, i, j). As pontoações dos campos de cruzamento são taxodióides, ovais e medem, em média, 10 μm de altura e 16 μm de largura, ocorrem de 1-4 nos campos de cruzamento e suas aberturas são oblíquas (Figura 53: l, m). As pontoações das paredes radiais das traqueídes são unisseriadas, maioria abietianas com baixa contiguidade, ocorrem poucas bisseriadas opostas e levemente alternas, medem em média 28 μm de diâmetro (Figura 53: j, k). Em áreas bem preservadas, as partículas carbonificadas estão restritas às células de parênquima (resinitas), surgem nas paredes das traqueídes apenas em áreas do lenho deformadas.

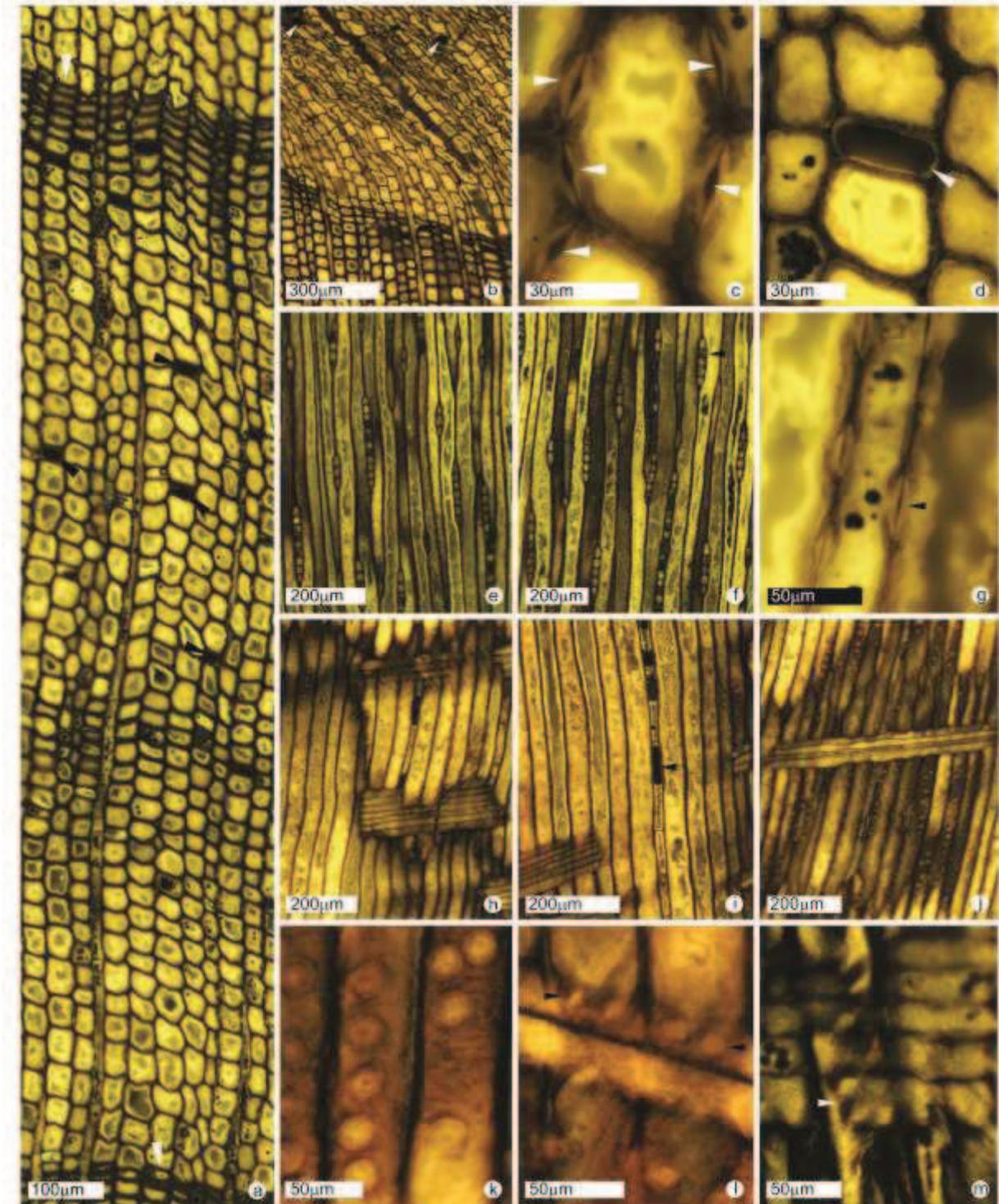


Figura 53 – *Taxodioxylon* sp.1: Plano transversal, sob luz ultravioleta, a) amostra 480 Pbe I, geral, setas brancas indicam os anéis de crescimento e as pretas indicam as células de parênquima axial; b) amostra 480 Pbe J, área deformada, setas indicam as resinitas; amostra 480 Pbe I, detalhes do lenho inicial, c) setas indicam as pontoações das paredes radiais das traqueídes com a região do tórus preservada, d) seta indica a célula de parênquima axial com conteúdo orgânico carbonificado. Plano tangencial, amostra 480 Pbe I, e-f) geral, seta indica raio localmente bisseriado, g) detalhe, seta indica pontoação da parede radial da traqueíde com a região do tórus preservada, ainda, cristais de pirita poligonais no interior da traqueíde. Plano radial, amostra 480 Pbe I, h) geral, i) detalhe, seta indica as células de parênquima axial com paredes transversais lisas e conteúdo orgânico carbonificado no seu interior, j-k) pontoações das paredes radiais das traqueídes; campos de cruzamento, setas indicam as pontoações taxodióides, l) amostra 480 Pbe J, m) amostra 480 Pbe I.

Descrição do gênero: As principais características diagnósticas de *Taxodioxylon* Gothan são: anéis de crescimento distintos, parênquima axial abundante, raios unisseriados ou esporadicamente bisseriados, pontoações dos campos de cruzamento taxodióides ou cupressóides, ausência de canais resiníferos normais (ZHOU & JIANG, 1994 (em chinês) *apud* YANG & ZHENG, 2003).

Afinidade botânica: Estes fósseis não são similares ao exemplar de FALCON-LANG & CANTRILL (2000) descrito como *Taxodioxylon* sp, para o Albiano tardio da Ilha Alexander. As diferenças residem na transição dos lenhos inicial e tardio, presença de parênquima axial, altura dos raios e número das pontoações de campos de cruzamento (Tabela 17). Há muita similaridade entre este material e os fósseis de *T. taxodii*, descritos para o Cretáceo do Japão (NISHIDA *et al.*, 1985) e *Taxodioxylon* sp.2, descrito para o Cretáceo de Spitsbergen, Noruega (HARLAND *et al.* 2007).

Discussão: Seguindo as características da chave de PHILIPPE & BAMFORD (2008) chega-se ao gênero *Taxodioxylon* Hartig. As características incluem as pontoações das paredes radiais das traqueídes com bordas reduzidas e abietianas; as pontoações dos campos de cruzamento são taxodióides e, a maioria em número menor que quatro, organizadas normalmente em linhas. As características principais são as pontoações dos campos de cruzamento, regularmente opostas. Houve bastante similaridade entre este material e *T. taxodii* (NISHIDA *et al.*, 1985), mas não é assumido aqui o nome específico, o motivo é a grande disjunção na ocorrência. O fóssil de *Taxodioxylon* sp. descrito por FALCON-LANG & CANTRILL (2000) também apresenta maior similaridade aos fósseis descritos para o Hemisfério Norte.

Ocorrência: Os fósseis de *Taxodioxylon* ocorrem na Antártica do Cretáceo (Aptiano médio) ao Eoceno, durante o Coniaciano é o componente menos abundante da flora (CANTRILL & POOLE, 2005).

Afinidade botânica com lenhos atuais: O gênero *Taxodium* tem duas espécies, *T. distichum* (L.) Rich. e *T. mucronatum* Ten. (FARJON, 2001) e os fósseis descritos aqui apresentam maior afinidade com *T. mucronatum*, incluindo detalhes como paredes das células do raio lisas, paredes do parênquima axial lisas ou nodulares, pontoações das paredes radiais das traqueídes simples, unisseriadas, abietianas e ocorrem alternas, ainda, as pontoações radiais apresentam tórus bastante desenvolvido e são numerosos em seção transversal. Atualmente, *T.*

mucronatum cresce ao longo de rios ou à borda de cânions no México e Guatemala (TIWARI *et al.*, 2012).

Família: Cupressaceae

Taxodioxylon Hartig.

Taxodioxylon sp.2

Amostras: 487 Pbe A, C, J.

Formação: Hidden Lake, perfil estratigráfico nº 2 (Figura 6) – Coniaciano.

Preservação: fusênio rígido (Tipo 7).

Descrição: A preservação do fóssil não permite identificar características com precisão, porém as pontoações permanecem. O lenho é composto por traqueídes e células de parênquima radial, não são visíveis as células de parênquima axial em plano algum. (Figura 54). No plano transversal, observam-se anéis de crescimento distintos, demarcados por 3 a 8 traqueídes de paredes finas. A transição entre os lenhos inicial e tardio é abrupta e o parênquima axial é indistinto (Figura 54: a, b). O fóssil apresenta-se bastante permineralizado e há amplas regiões com estrutura “*bogen*” (Figura 54: c). No plano tangencial, os raios são exclusivamente unisseriados e de altura média, 5 células (2-14), em micrometros, a média é 61 (28-180µm) (Figura 54: d). No plano radial, não é possível observar se há traqueídes nos raios, tampouco as paredes das células de parênquima radial (Figura 54: e, g, h); as pontoações dos campos de cruzamento são circulares, cupressóides e ocorrem de 1 a 2, quando são duas, são marcadamente opostas, medem em média 9µm de diâmetro (Figura 54: g, h). As pontoações das paredes das traqueídes são unisseriadas abietianas, podendo ocorrer algumas contíguas, e medem em média 14µm de diâmetro, não foram observadas pontoações bisseriadas (Figura 54: f).

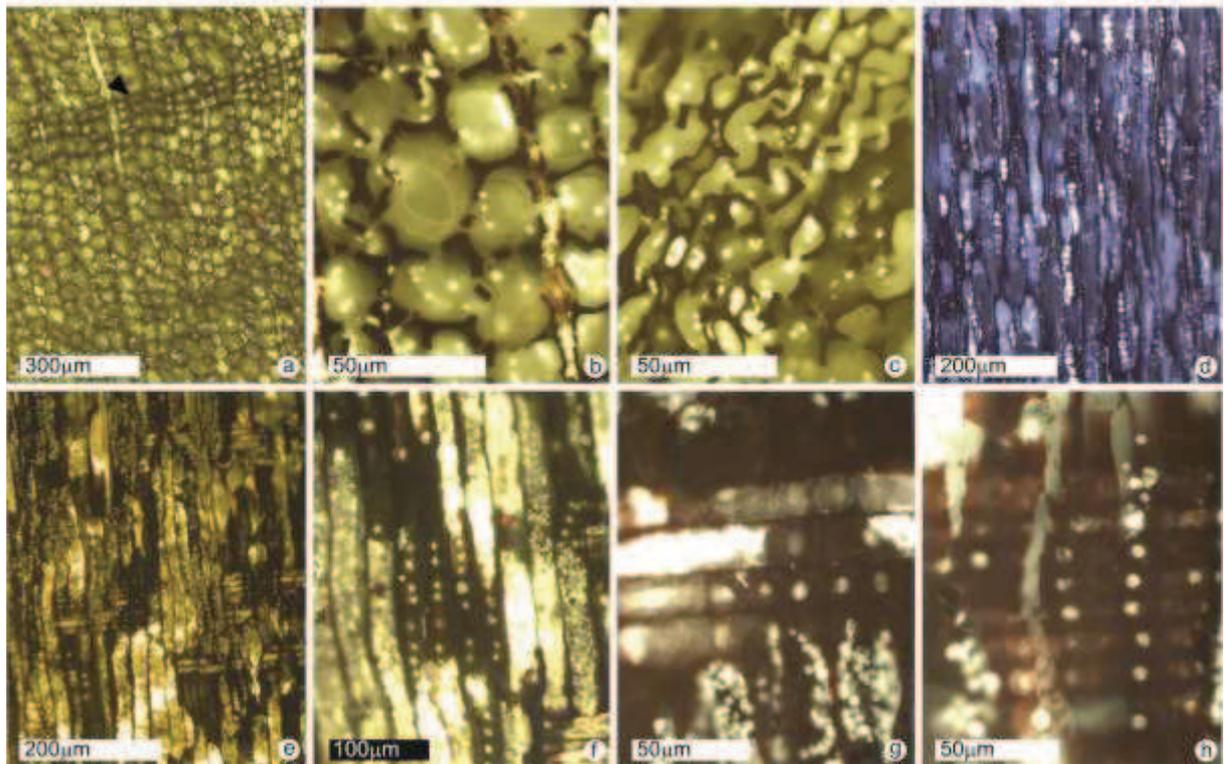


Figura 54 – *Taxodioxylon* sp.2: Amostras sob luz ultravioleta. Plano transversal, amostra 487 Pbe J, a) geral, seta indica provável anel de crescimento, b) detalhe do lenho inicial, c) detalhe de área com estrutura “bogen”. Plano tangencial, amostra 487 Pbe C, d) geral. Plano radial, amostra 487 Pbe A, e) geral, f) pontoações das paredes radiais das traqueídes, g-h) pontoações cupressóides dos campos de cruzamento.

Descrição do gênero: As principais características diagnósticas de *Taxodioxylon* Gothan são: anéis de crescimento distintos, parênquima axial abundante, raios unisseriados ou esporadicamente bisseriados, pontoações dos campos de cruzamento taxodióides ou cupressóides, ausência de canais resiníferos normais (ZHOU & JIANG, 1994 (em chinês) *apud* YANG & ZHENG, 2003).

Afinidade botânica: Estes fósseis podem relacionar-se ao exemplar de FALCON-LANG & CANTRILL (2000) descrito como *Taxodioxylon* sp, para o Albiano tardio da Ilha Alexander. As diferenças residem na transição dos lenhos inicial e tardio, altura dos raios e pontoações de campos de cruzamento (Tabela 17). No entanto, o material deste estudo é proveniente de galho, o que pode ser a causa da altura menor dos raios e, devido a preservação, não foi possível determinar com exatidão o tipo de pontoação. Há similaridade entre este material e os fósseis de *T. pseudoalbertense*, *T. nihongii* e *T. paranihongii* descritos para o Cretáceo do Japão (NISHIDA *et al.*, 1985) e *Taxodioxylon* sp.2, descrito para o Cretáceo de Spitsbergen, Noruega (HARLAND *et al.* 2007), com a diferença que não foi possível determinar a presença do parênquima e o exato tipo de pontoação do campo de cruzamento.

Discussão: Seguindo as características da chave de PHILIPPE & BAMFORD (2008) chega-se ao gênero *Taxodioxylon* Hartig. As características incluem as pontoações das paredes radiais das traqueídes com bordas reduzidas e abietianas, e pontoações dos campos de cruzamento taxodióides e, a maioria em número menor que quatro, organizadas normalmente em linhas. As características principais são as pontoações dos campos de cruzamento, regularmente opostas. Não é possível, devido à má preservação do material, relacioná-lo à espécie fóssil alguma.

Ocorrência: Os fósseis de *Taxodioxylon* ocorrem na Antártica do Cretáceo (Aptiano médio) ao Eoceno, durante o Coniaciano é o componente menos abundante da flora (CANTRILL & POOLE, 2005).

Afinidade botânica com lenhos atuais: O gênero *Taxodium* tem duas espécies, *T. distichum* e *T. mucronatum* (FARJON, 2001) e os fósseis descritos aqui apresentam afinidade com ambas. *T. distichum* também pode apresentar parênquima axial indistinto no plano transversal e pontoações cupressóides ou taxodióides. Atualmente, as espécies de *Taxodium* ocorrem nos Estados Unidos, México e Guatemala (TIWARI *et al.*, 2012).

Família: Podocarpaceae

Phyllocladoxylon Gothan

Phyllocladoxylon antarcticum Gothan

Amostras: 481 Pbe A, B; 492 Pbe B, E, I.

Formação: Santa Marta– Coniaciano tardio a Campaniano.

Preservação: madeira fóssil petrificada (Tipo 5)

Descrição: As características anatômicas não estão bem preservadas, todavia as pontoações permanecem. O lenho é composto por traqueídes e células de parênquima radial, as células de parênquima axial não foram observadas (Figura 55). No plano transversal, os anéis de crescimento são distintos e demarcados por 2 a 9 camadas de traqueídes de paredes espessas e carbonificadas, a transição entre os lenhos inicial e tardio é abrupta (Figura 55: a, b). No plano tangencial, os raios são unisseriados, não foram observados raios localmente bisseriados. A altura dos raios é bastante baixa, em média, 4 células (1-9), em micrometros, a média é 85 (25-163µm) (Figura 55: c, d). No plano radial, não é possível definir a composição dos raios;

as pontoações dos campos de cruzamento são fenestriformes, ocorrem de 1 – 2 nos campos de cruzamento e medem, em média, 10µm de altura e 28µm de largura (solitárias) e 14µm de altura e 19µm de largura (aos pares) (Figura 55: e, g). As pontoações das paredes radiais das traqueídes são bi- e trisseriadas, opostas e exclusivamente contíguas (Figura 55: e, f).

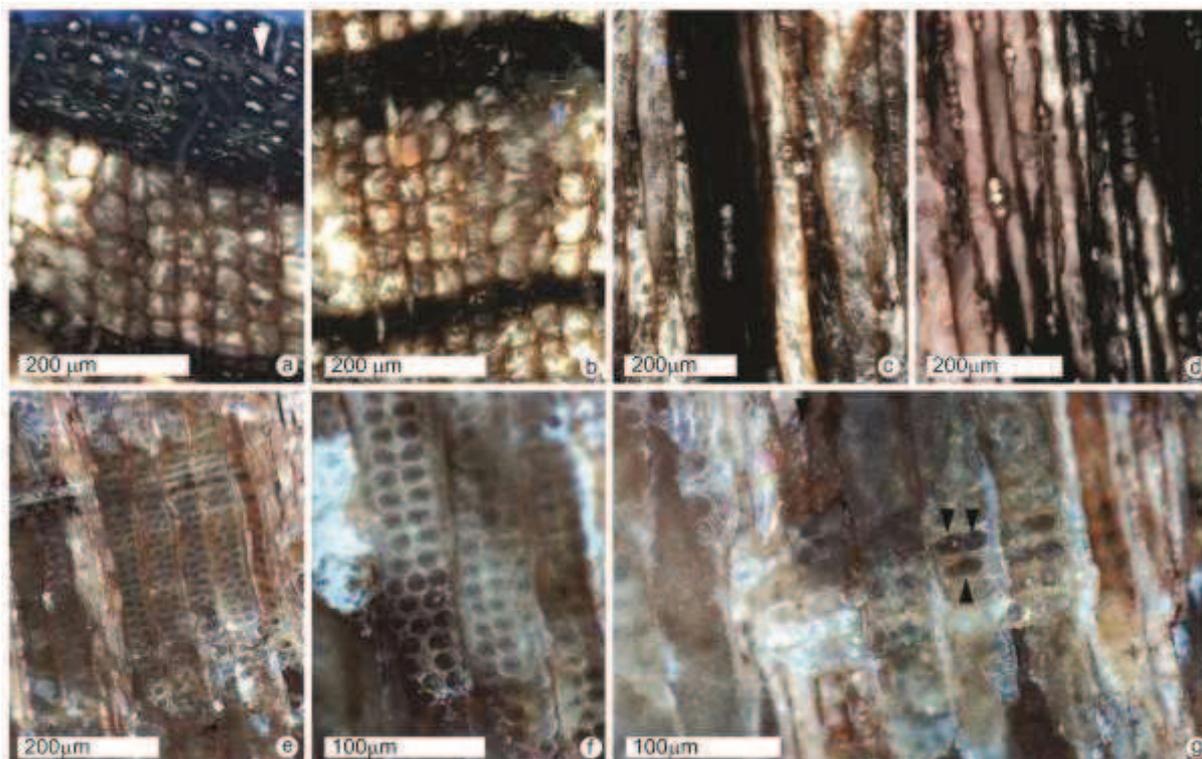


Figura 55 – *Phyllocladoxylon antarcticum*: Amostra 492 Pbe I, sob luz ultravioleta. Plano transversal, a) seta indica região carbonificada do lenho, b) transição entre os lenhos inicial e tardio. Plano tangencial, c) lenho tardio carbonificado, d) área de lenho inicial preservada e à direita região carbonificada. Plano radial, e) geral, evidência de paredes petrificadas, f) pontoações das paredes radiais das traqueídes, g) campos de cruzamento, setas indicam as pontoações fenestriformes.

Descrição do gênero: “lenho gimnospérmico, pontoações radiais grandes, arredondadas, quando multisseriadas são opostas e não contíguas. Não há espessamentos helicoidais. Células do raio sem *Abietineentüpfelungen*; parênquima axial ocorre regularmente. Pontoações dos campos de cruzamento apenas 1-2, tipicamente grandes ooporos” (GOTHAN, 1905 *apud* PHILIPPE & BAMFORD, 2008). *Phyllocladoxylon* Gothan é um gênero válido (BAMFORD & PHILIPPE, 2001).

Afinidade botânica: *Phyllocladoxylon antarcticum* Gothan, proveniente da Ilha Seymour, Formação La Meseta (Eoceno - Oligoceno), descrito por TORRES *et al.* (1994): “Madeira permineralizada por carbonato de cálcio. Xilema secundário bem preservado de conífera, com estrutura homoxílica, sem canais secretores. Anéis de crescimento demarcados por 8 – 14 camadas de traqueídes de coloração escura com paredes grossas e com diâmetro que varia entre 14 e 27 µm. As traqueídes apresentam contorno transversal poligonal, o diâmetro varia

de 19 a 50µm (média de 37µm). As pontoações das paredes radiais das traqueídes são mistas, areoladas, unisseriadas e bisseriadas nas traqueídes do lenho inicial. Os raios são homogêneos, unisseriados com altura entre 2 a 17 células (mais comum é 5-7 células). Os campos de cruzamento apresentam paredes verticais e horizontais delgadas e lisas, as pontoações são fenestriiformes, 1-2, são grandes, às vezes elípticas, ocupam todo o campo e o diâmetro varia entre 16 a 33 µm. O parênquima axial está ausente.”

Discussão: a descrição original do gênero aponta para pontoações das paredes radiais das traqueídes não contíguas, porém na própria chave (PHILIPPE & BAMFORD, 2008) há a consideração que as pontoações quando bi- ou pluri- seriadas são sempre claramente opostas, podendo ocorrer contiguidade, bem como agrupamentos semelhantes a rosetas de 3-4 pontoações. Pelo grau de petrificação da amostra, não foi possível observar a ocorrência de *Abietineentüpfelungen* e espessamentos helicoidais. Considerando que características quantitativas como tamanho das células e altura dos raios são fortemente influenciadas pelo ambiente e região do corpo da planta (SCHWEINGRUBER, 2007), as características do fóssil da Ilha Seymour não deixam dúvidas sobre a afinidade botânica entre os lenhos.

Ocorrência: Os fósseis de *Phyllocladoxylon antarcticum* Gothan ocorrem desde o Aptiano – Albiano da Terra do Fogo, Argentina (KRÄUSEL, 1924 in PHILIPPE *et al.*, 2004), até o Paleoceno de Punta Arenas, Chile (NISHIDA *et al.*, 2006). Na Antártica, a espécie foi encontrada para o Eoceno da Ilha Rei George (TORRES & LEMOIGNE, 1988) e Mina Bluff (FRANCIS, 2000); Eoceno – Oligoceno da Ilha Seymour (TORRES *et al.*, 1994), Paleoceno e Maastrichtiano tardio da Bacia James Ross (CANTRILL & POOLE, 2005).

Afinidade botânica com lenhos atuais: Os fósseis de *Phyllocladoxylon* Gothan apresentam pontoações das traqueídes e de campos de cruzamento semelhantes aos lenhos dos gêneros atuais *Phyllocladus* L. Richard & A. Richard e *Dacrydium* Solander ex. J. G. Foster (FRANCIS, 2000). Os lenhos do gênero *Phyllocladus* apresentam como característica marcante a natural coloração escura do lenho tardio contrastando fortemente com o marrom amarelado claro do lenho inicial, não apresentam parênquima axial e canais resiníferos. Já as espécies do gênero *Dacrydium* apresentam anéis de crescimento estreitos, algumas espécies não formam anéis, e células solitárias de parênquima axial preenchidas com resina em abundância. Assim, o fóssil descrito neste estudo relaciona-se ao gênero atual *Phyllocladus*, que ocorre na Malásia, Nova Zelândia, Nova Guiné, Bornéu e Tasmânia (ECKENWALDER, 2009; FOWERAKER, 1934).

Família: Podocarpaceae
Podocarpoxylon Gothan
Podocarpoxylon sp. 1

Amostras: 480 Pbe C, D, E, F, H, L.

Formação: Hidden Lake, perfil estratigráfico nº 2 (Figura 6) – Coniaciano.

Preservação: madeira fóssil permineralizada (Tipo 3). Os fósseis estão preenchidos por calcita e a pirita ocorre apenas em hábitos poligonais. Ainda, apresentam amplas áreas deformadas e há carbonificação de conteúdo orgânico (resinitas), bem como regiões das paredes celulares.

Descrição: O lenho é composto por traqueídes, células de parênquima axial e radial (Figura 56). No plano transversal, observam-se os anéis de crescimento distintos, demarcados por 3 a 15 traqueídes achatadas, de paredes finas. A transição entre os lenhos inicial e tardio é abrupta e o parênquima axial é difuso (Figura 56: a, b). Há regiões bastante deformadas, apresentando carbonificação em partículas (Figura 56: c). No plano tangencial, os raios são unisseriados, podendo ocorrer raios parcialmente bisseriados; a altura é média, 8 células (1-22) e em micrometros a média é 146 (25-400mm) (Figura 56: d, e). As células do parênquima axial apresentam paredes transversais lisas e partículas carbonificadas no seu interior (Figura 56: d), em áreas não deformadas, estas partículas ocorrem exclusivamente em células de parênquima axial. Há ocorrência de pirita de hábito poligonal nas traqueídes (Figura 56: e). No plano radial, os raios são formados exclusivamente por células de parênquima, com paredes transversais lisas verticais a oblíquas (Figura 56: f, g); as pontoações dos campos de cruzamento ocorrem em, sua maioria, solitárias, raramente em duas, são cupressóides e medem em média 16µm de altura e 7µm de diâmetro (Figura 56: h, i, j, k). As pontoações das paredes das traqueídes são areoladas, unisseriadas, abietianas, podem ocorrer algumas contíguas, medem em média 20µm de diâmetro; raras pontoações são bisseriadas e, quando ocorrem, são opostas (Figura 56: g).

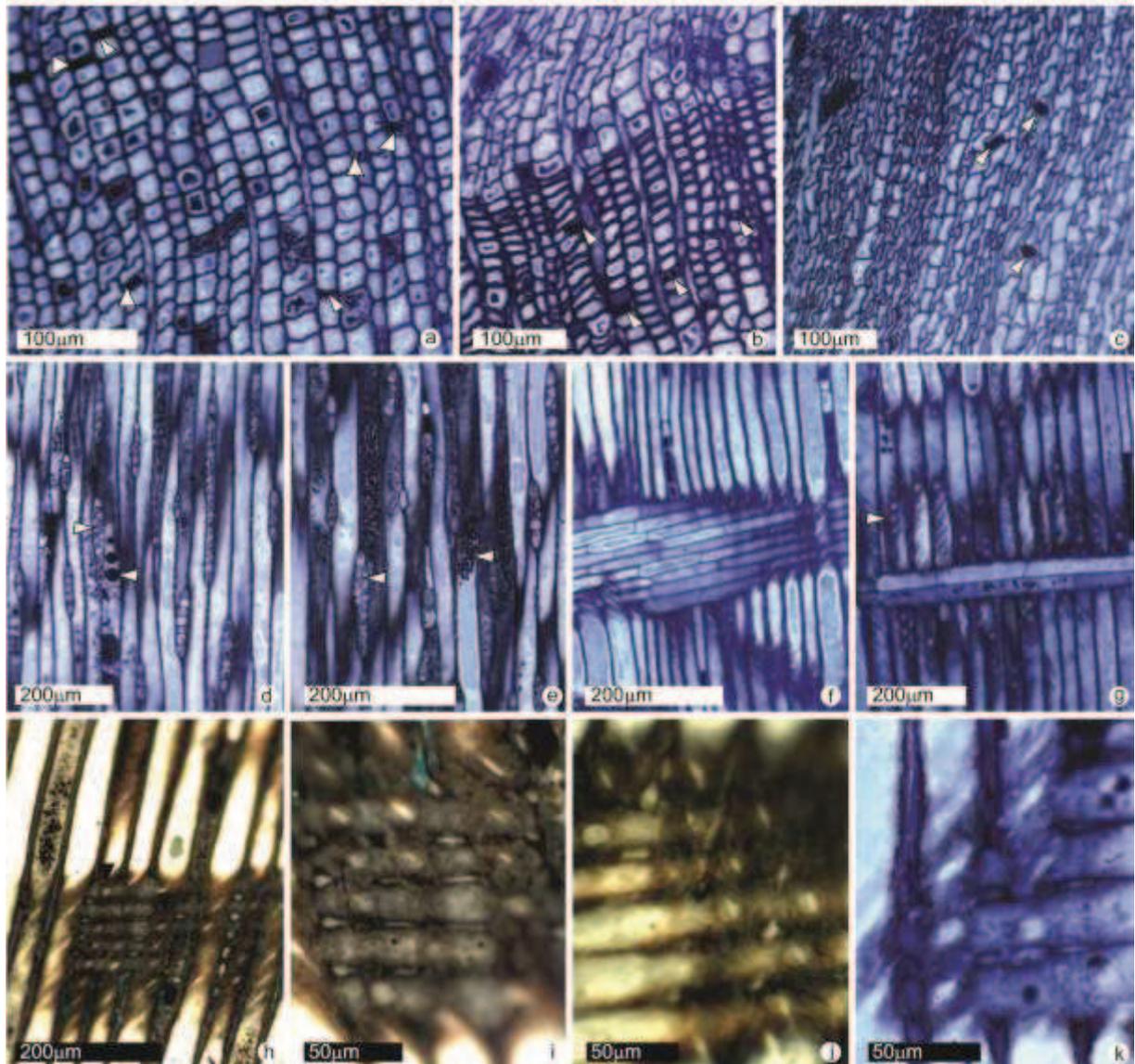


Figura 56 – *Podocarpoxyylon* sp.1: Amostras sob luz ultravioleta. Plano transversal, amostra 480 E, a) lenho inicial, setas indicam células de parênquima axial, b) transição abrupta entre os lenhos inicial e tardio, setas indicam células de parênquima axial, c) área com deformação progressiva da direita para esquerda, setas indicam partículas carbonificadas. Plano tangencial, amostra 480 Pbe D, d) setas indicam raio localmente bisseriado e partículas carbonificadas no interior das células de parênquima axial, e) setas indicam raio localmente bisseriado e pirita de hábito poligonal preenchendo parcialmente a traqueíde. Plano radial, amostra 480 Pbe C, f) geral, g) seta indica uma pontuação areolada da parede radial da traqueíde, h) campos de cruzamento em destaque, setas indicam as pontuações, i-j-k) pontuações cupressóides dos campos de cruzamento.

Descrição do gênero: *Podocarpoxyylon* Gothan “lenho gimnospérmico, pontuações das paredes radiais das traqueídes circulares, grandes, não contíguas; quando são multisseriadas, são opostas. Sem espessamento espiralado nas traqueídes. Células do raio sem *Abietineentüpfelungen*; parênquima axial ocorre regularmente. Pontuações dos campos de cruzamento maioria apenas 1-2, podocarpóides a parcialmente sem bordas” (GOTHAN, 1905 *apud* PHILIPPE & BAMFORD, 2008).

Afinidade botânica: *Podocarpoxyton* sp.1 relaciona-se aos fósseis denominados *Podocarpoxyton* sp. 2, descritos por FALCON-LANG & CANTRILL (2000) para o Albiano tardio da Ilha Alexander, a única diferença é a altura dos raios, que varia de 1-19 células. Os fósseis deste estudo também são similares aos descritos para a Ilha Livingston, Aptiano médio, *Podocarpoxyton* sp. 2 (FALCON-LANG & CANTRILL, 2001), cujos raios variam de 1-26 células de altura, e *Podocarpoxyton* sp., Cretáceo tardio (TORRES & LEMOIGNE, 1988), os raios variam de 1-18 células de altura; estes fósseis descritos para a Ilha Livingston apresentam as bordas das pontoações de campos de cruzamento mais estreitas, mais próximas ao tipo taxodióide, porém o conjunto de características mantém a afinidade entre os fósseis (Tabela 18).

Discussão: Os fósseis apresentam claras características de lenhos da família Podocarpaceae “pontoações das paredes radiais das traqueídes unisseriadas, abietóides, quando são bisseriadas, são opostas; raios uni- ou bisseriados, homocelulares; as células do parênquima radial são finas e lisas; não apresentam canais resiníferos; pontoações podem ser podocarpóides, cupressóides ou taxodióides” (BAMFORD *et al.*, 2002). Houve similaridade entre fósseis descritos para o Cretáceo da Península Antártica.

Ocorrência: Durante o Cretáceo, a partir do Aptiano médio, os fósseis de *Podocarpoxyton* eram os componentes mais abundantes da vegetação antártica. Apenas a partir do Campaniano até Maastrichtiano médio, é que tiveram uma redução e a dominância passou a ser dos fósseis araucarióides (CANTRILL & POOLE, 2005).

Afinidade botânica com lenhos atuais: Os fósseis apresentam afinidade com os lenhos do gênero atual *Podocarpus*, que se caracterizam por apresentar traqueídes angulares a redondas em seção transversal, parênquima axial presente, anéis de crescimento podem ser distintos ou indistintos; os raios são predominantemente unisseriados e sua altura varia de 1-60 células; as pontoações das traqueídes são uni- ou bisseriadas e as pontoações dos campos de cruzamento são podocarpóides ou dacridióides e variam de 1-4 (GREENWOOD, 2005). Atualmente o gênero ocorre na África (região central e sul), Américas do Sul, Central e Norte (até o México), Austrália, Bornéu, China, Filipinas, Ilhas Fiji, Japão, Madagascar, Malásia, Nepal, Nova Caledônia, Nova Guiné, Nova Zelândia, Sumatra, Tonga e Vietnã (APG III, 2009).

Família: Podocarpaceae
Podocarpoxyton Gothan
Podocarpoxyton sp.2

Amostras: 493 Pbe C.

Formação: Hidden Lake, perfil estratigráfico nº 2 - Coniaciano.

Preservação: fusênio rígido (Tipo 1).

Descrição: O lenho é composto por traqueídes e células de parênquima radial, não são visíveis as células de parênquima axial em plano algum. (Figura 57). No plano transversal, os anéis de crescimento são distintos, a transição entre os lenhos inicial e tardio é abrupta e há amplas regiões com estrutura “*bogen*” (Figura 57: a, b, c). No plano tangencial, os raios são exclusivamente unisseriados e muito baixos, em média 3 células (1-6), em micrometros, a média é 39 (19-106 μ m) (Figura 57: d). No plano radial, não é possível observar se há traqueídes nos raios, tampouco as paredes das células de parênquima radial (Figura 57: e); as pontoações dos campos de cruzamento estão bastante alteradas pela queima, restaram apenas suas fendas, poderiam ser pontoações cupressóides. As fendas ocorrem solitárias nos campos de cruzamento e medem, em média, 11 μ m de altura e 6 μ m de largura (Figura 57: h, i). As pontoações das paredes das traqueídes são unisseriadas, abietianas e medem em média 27 μ m de diâmetro, foram observadas poucas pontoações bisseriadas opostas (Figura 57: f, g).

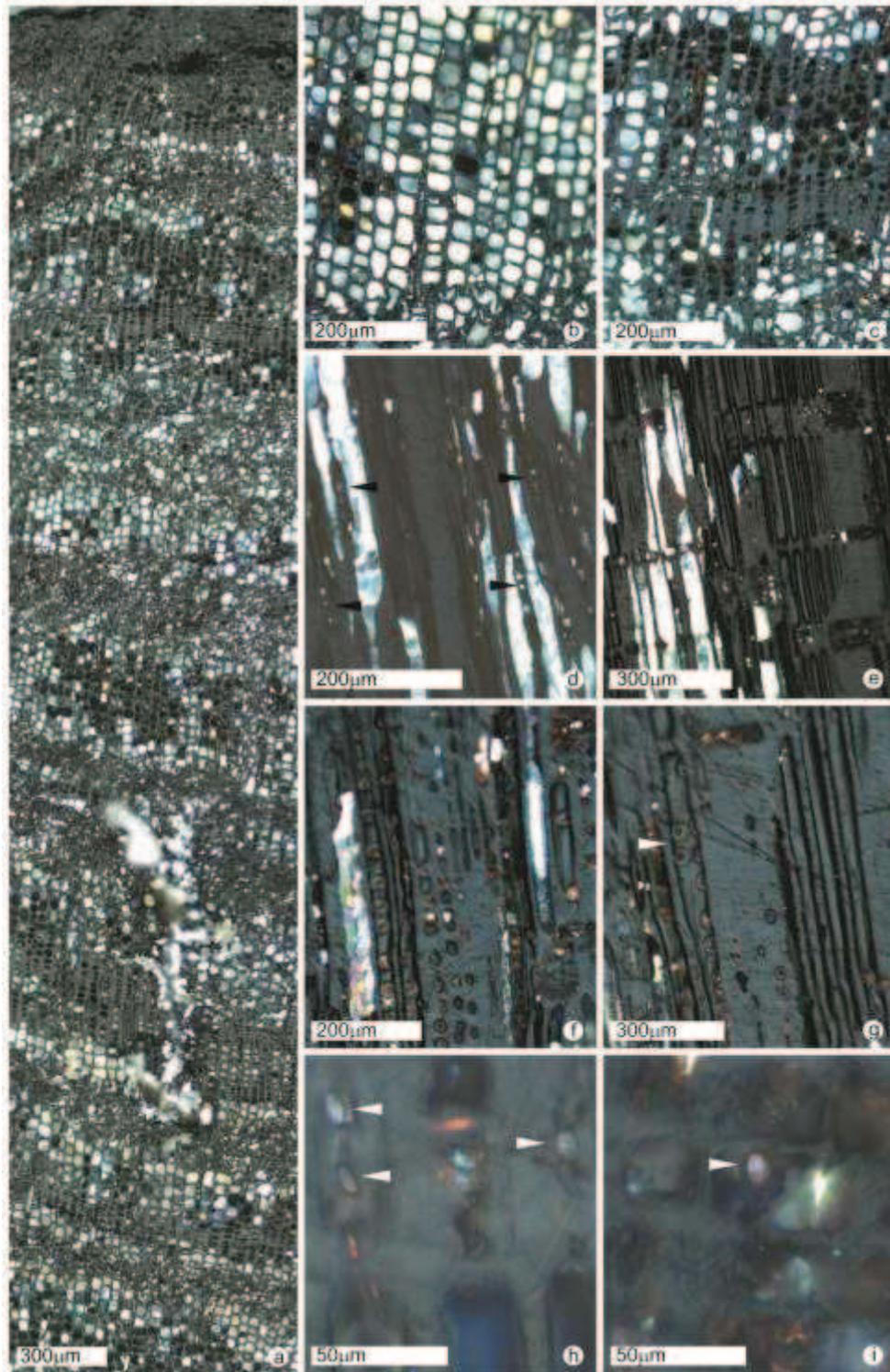


Figura 57 – *Podocarpoxylon* sp.2: Amostra 493 Pbe C, sob luz branca em campo escuro. Plano transversal, a) geral, áreas preservadas intercaladas a grandes áreas com estrutura “bogen”, b) lenho inicial preservado, área com estrutura “bogen” na porção inferior da foto, c) detalhe da transição entre lenhos inicial e tardio. Plano tangencial, d) geral, setas indicam os raios. Plano radial, e) geral, f-g) pontoações das paredes radiais das traqueídes, seta indica pontoação bisseriada oposta, h-i) campos de cruzamento, setas indicam fendas de prováveis pontoações cupressóides.

Descrição do gênero: *Podocarpoxyton* Gothan “lenho gimnospérmico, pontoações das paredes radiais das traqueídes circulares, grandes, não contíguas; quando são multisseriadas, são opostas. Sem espessamento espiralado nas traqueídes. Células do raio sem *Abietineentüpfelungen*; parênquima axial ocorre regularmente. Pontoações dos campos de cruzamento maioria apenas 1-2, podocarpóides a parcialmente sem bordas” (GOTHAN, 1905 *apud* PHILIPPE & BAMFORD, 2008).

Afinidade botânica: Não é possível definir a afinidade do material, pela pouca preservação das características. A altura dos raios é bastante baixa, mas lenhos provenientes de galhos tem as estruturas sensivelmente menores (SCHWEINGRUBER, 2007), por isso estes fósseis não estão necessariamente relacionados ao *P. fildense* (POOLE et al., 2001), que também foi descrito a partir de amostras de galhos, tampouco ao *Podocarpoxyton* sp. (FRANCIS & COFFIN, 1992) (Tabela 18).

Discussão: O material está muito alterado pela queima e soterramento, a homogeneização das paredes celulares, o lúmen de muitas células fechado e as amplas áreas com estrutura “*bogen*” impossibilitam a melhor observação dos fósseis. O número de pontoações de campos de cruzamento é duvidoso, aparentemente podem ser até duas pontoações; o tipo da fenda pode ser classificado como cupressóide, após a alteração pelo fogo, de acordo com o trabalho de GERARDS *et al.* (2007). A partir das poucas características preservadas, é possível identificar o fóssil como pertencente aos gêneros *Podocarpoxyton* ou *Cupressinoxylon*. Os lenhos são muito semelhantes e muitas vezes indistinguíveis (PHILIPPE & BAMFORD, 2008). No entanto, considerando a idade do material, é mais provável que seja um fragmento de galho (pela curvatura e espaçamento dos anéis e altura dos raios), relativo ao gênero *Podocarpoxyton*, abundante durante o Coniaciano (CANTRILL & POOLE, 2005).

Ocorrência: Durante o Cretáceo, a partir do Aptiano médio, os fósseis de *Podocarpoxyton* eram os componentes mais abundantes da vegetação antártica, apenas a partir do Campaniano, até Maastrichtiano médio, é que tiveram uma redução e a dominância passou a ser dos fósseis araucarióides (CANTRILL & POOLE, 2005).

Afinidade botânica com lenhos atuais: Não é possível estabelecer a relação com gêneros atuais, pela pouca preservação das características anatômicas. No entanto, a família Podocarpaceae ocorre na África (região central e sul), Américas do Sul, Central e Norte (até o México), Australásia, China, Japão, Madagascar, Malásia, Nepal, Nova Caledônia e Vietnã (ECKENWALDER, 2009).

Tabela 17 – Tabela comparativa para os lenhos do gênero *Taxodioxylon* e os fósseis similares descritos na literatura. Abreviaturas características: LT: lenho tardio; LI: lenho inicial; Parede traq. LT: espessura da parede da traqueide; Pont. traq.: pontuações das paredes radiais das traqueides; Pont. cr.: pontuação campo de cruzamento. Altura e largura dos raios em número de células.

Espécie	anéis	transição LT - LI	parede traq. LT	parênquima axial	raios altura	raios largura	Nº pont. traq.	tipo pont. traq.	Nº pont. cr.	tipo pont. cr.
<i>Taxodioxylon</i> sp. 1*	distintos	abrupta	fina	abundante	1-20 (9)	1, raro 2	1, raro 2	abietiano, ocorrem alternas	1-4 em 2 linhas	taxod.
<i>Taxodioxylon</i> sp. 2*	distintos	abrupta	fina	indistinto?	2-14 (5)	1	1, raro 2	abietiano	1-2	cupres., taxod.?
<i>Taxodioxylon</i> sp. – Albiano tardio, I. Alexander, Antártica (FALCON-LANG & CANTRILL, 2000)	distintos	gradual	fina	indistinto	1-31	1	1, raro 2	abietiano	2, raro 1	taxod.
<i>T. nihongii</i> – Cretáceo, Japão (NISHIDA <i>et al.</i> , 1985)	distintos	abrupta	fina	abundante	1-10	1	1	abietianos	1-2	taxod.
<i>T. paranihongii</i> – Cretáceo, Japão (NISHIDA <i>et al.</i> , 1985)	indistintos	abrupta	fina	abundante	1-11	1	1	abietiano	1, raro 2	taxod.
<i>T. pseudolbertense</i> – Cretáceo, Japão (NISHIDA <i>et al.</i> , 1985)	distintos	abrupta	fina	abundante	1-18	1, raro 2	1-2	abietiano	1-2	taxod.
<i>T. tavodii</i> – Cretáceo, Japão (NISHIDA <i>et al.</i> , 1962)	distintos	abrupta	fina	abundante	2-20	1	1-2	abietiano	1-7 em 2 linhas	taxod.
<i>T. szei</i> – Cretáceo, China (YANG & ZHENG, 2003)	distintos	gradual	fina	abundante	1-50	1, raro 2	1-3	abietiano	1-6 em 3 linhas	taxod.
<i>Taxodioxylon</i> sp. 1 – Cretáceo, Spitsbergen (HARLAND <i>et al.</i> , 2007)	distintos	abrupta	fina	abundante	1-11 (4)	1	1, raro 2-3	abietiano, ocorrem alternas	1-6	taxod.
<i>Taxodioxylon</i> sp. 2 – Cretáceo, Spitsbergen (HARLAND <i>et al.</i> , 2007)	distintos	abrupta/ gradual	fina	abundante	1-18 (4-7)	1, raro 2	1-2, raro 3	abietiano	1-2 ou 1-6	taxod.
<i>Taxodium ditichum</i> L. Rich. (TIWARI <i>et al.</i> , 2011)	distintos	abrupta/ gradual	fina	presente, indistinto no transversal	1-30	1, raro 2	1, raro 2	abietiano, ocorrem alternas	2-6 (3)	cupres., taxod., pice.
<i>Taxodium mucronatum</i> L. Rich. (TIWARI <i>et al.</i> , 2011)	distintos	abrupta/ gradual	fina	presente, difuso	1-15	1	1, raro 2	abietiano, ocorrem alternas	2-4 (2)	taxod.

Tabela 18 – Tabela comparativa para os lenhos do gênero *Podocarpoxylon* e os fósseis similares descritos na literatura. Abreviaturas características: LT: lenho tardio; LI: lenho inicial; Parede traq. LT: espessura da parede da traqueide; Pont. traq.: pontuações das paredes radiais das traqueides; Pont. cr.: pontuação campo de cruzamento.

Espécie	anéis	transição LT - LI	parede traq. LT	parênquima axial	raios altura	raios largura	Nº pont. traq.	tipo pont. traq.	Nº pont. cr.	tipo pont. cr.
<i>Podocarpoxylon</i> sp. 1*	distintos	abrupta	fina	Abundante, difuso	1-22	1	1, raro 2	Areoladas, abietiano	1, raro 2	Cupres.
<i>Podocarpoxylon</i> sp. 2*	distintos	abrupta	?	?	1-6 (3)	1	1, raro 2	Areoladas, abietiano	1, 2?	Cupres.
<i>Podocarpoxylon</i> sp.1 Albiano tardio, I. Alexander (FALCON-LANG & CANTRILL, 2000)	distintos	abrupta	fina	ausente	1-28	1	1, raro 2	Areolada, mista	1-2	Podoc. Bordas finas
<i>Podocarpoxylon</i> sp.2 Albiano tardio, I. Alexander (FALCON-LANG & CANTRILL, 2000)	distintos	abrupta	fina	Abundante, difuso, com resina	1-19	1	1, raro 2	Areolada, abietiano	1-2	Podoc. Bordas finas
<i>Podocarpoxylon</i> sp.1 Aptiano médio, I. Livingston (FALCON-LANG & CANTRILL, 2001)	distintos	abrupta	fina	ausente	1-14	1	1	Areolada, abietiano	1-2	Podoc.
<i>Podocarpoxylon</i> sp.2 Aptiano médio, I. Livingston (FALCON-LANG & CANTRILL, 2001)	distintos	abrupta	fina	Abundante, difuso, com resina	1-26	1	1, raro 2	Areolada, abietiano	1-2, raro 3	Podoc.
<i>Podocarpoxylon</i> sp. Albiano, I. Hoste, Chile (TORRES <i>et al.</i> 2009)	distintos	?	Retangular a poligonal	ocasional	1-33 (1-12)	1	1	Areoladas, ?	2	Areoladas
<i>Podocarpoxylon</i> sp. Cretáceo tardio, I. Livingston (TORRES & LEMOIGNE, 1989)	Distintos, tênues	abrupta	Retangular a poligonal, grossas	Abundante, com resina	1-18 (1-14)	1	1, raro 2	Areoladas, mista	1-3	Taxod.
<i>P. chapmanae</i> Cenomaniano a Campaniano, I. Livingston (POOLE & CANTRILL, 2001)	Distinto, estreito	abrupta	Fina a espessa	Raro a ausente	1-42	1	1-2, raro 3	mista	1-4	Areoladas, bordas finas, abertura vertical
<i>P. verticalis</i> - Cenomaniano a Campaniano, I. Livingston (POOLE & CANTRILL, 2001)	Distinto, estreito	abrupta	Fina a espessa	raro	1-36	1	1, raro 2	abietiano	1-5	Areoladas, bordas finas, abertura vertical
<i>P. communis</i> - Cenomaniano a Campaniano, I. Livingston (POOLE & CANTRILL, 2001)	distintos	abrupta	fina	Abundante, difuso – raro, ausente	1-32	1	1	abietiano	1-3, raro 4	Areoladas, bordas finas, abertura obliqua circulares
<i>Podocarpoxylon</i> sp Maastrichtiano, I. Vega (CESARI <i>et al.</i> , 2001)	distintos	abrupta	Retangular a poligonal, grossa	?	1-15	1	1, raro 2	abietiano	1-2	
<i>Podocarpoxylon</i> sp Cretáceo, Kerguelen Plateau (FRANCIS & COFFIN, 1992)	?	?	?	?	2-9	1	1	?	1-3	Cupres. (podoc.)
<i>P. fildense</i> – Eoceno a Oligoceno, I. Rei George (POOLE <i>et al.</i> , 2001)	Distinto	abrupta	fina	ausente	1-5	1	?	abietiano	1-4	Podoc.

Incertae sedis

De todas as 90 amostras de lenho submetidas ao emblocamento, 46 não puderam ser descritas e identificadas (Tabela 19).

Tabela 19 – Identificação das amostras emblocadas. Legenda: *C. parenchymatosum*: *Cupressinoxylon parenchymatosum*; *P. antarcticum*: *Phyllocladoxylon antarcticum*; HL1 e HL2: perfis 1 e 2 da Formação Hidden Lake (Coniaciano); SM: Formação Santa Marta (Santoniano a Campaniano); WB: Formação Whisky Bay, perfil 1 (Albiano a Coniaciano).

Identificação	Nº coleção	Tipo pres.	Form.	comp. (cm)	larg. (cm)
<i>Agathoxylon sp.</i>	484 Pbe C	1	HL1	2,5	1,0
<i>C. parenchymatosum</i>	495 Pbe A	3	HL2	5,0	7,0
<i>C. parenchymatosum</i>	495 Pbe B	3	HL2	5,0	2,5
<i>C. parenchymatosum</i>	495 Pbe C	3	HL2	6,0	3,5
<i>C. parenchymatosum</i>	495 Pbe E	3	HL2	4,0	2,0
<i>C. parenchymatosum</i>	495 Pbe F	3	HL2	6,0	2,5
<i>C. parenchymatosum</i>	495 Pbe G	3	HL2	5,0	3,0
<i>C. parenchymatosum</i>	495 Pbe H	3	HL2	4,0	3,0
<i>C. parenchymatosum</i>	495 Pbe I	3	HL2	5,5	2,5
<i>C. parenchymatosum</i>	495 Pbe J	3	HL2	6,0	4,0
<i>C. parenchymatosum</i>	495 Pbe K	3	HL2	2,0	1,0
<i>C. parenchymatosum</i>	495 Pbe L	3	HL2	5,5	5,0
<i>C. parenchymatosum</i>	495 Pbe M	3	HL2	4,0	3,0
<i>C. parenchymatosum</i>	495 Pbe N	3	HL2	2,5	1,5
<i>C. parenchymatosum</i>	495 Pbe O	3	HL2	3,0	2,0
<i>C. parenchymatosum</i>	495 Pbe P	3	HL2	3,0	1,0
<i>P. antarcticum</i>	481 Pbe B	5	SM	9,0	7,0
<i>P. antarcticum</i>	492 Pbe B	3	SM	8,0	4,0
<i>P. antarcticum</i>	492 Pbe E	5	SM	10,0	5,0
<i>P. antarcticum</i>	492 Pbe I	5	SM	9,0	7,0
<i>P. antarcticum</i>	481 Pbe A	5	SM	7,0	5,5
<i>Podocarpoxyylon sp.1</i>	480 Pbe B	3	HL2	3,0	2,0
<i>Podocarpoxyylon sp.1</i>	480 Pbe C	3	HL2	3,0	1,0
<i>Podocarpoxyylon sp.1</i>	480 Pbe D	3	HL2	2,0	1,0
<i>Podocarpoxyylon sp.1</i>	480 Pbe E	3	HL2	8,0	3,0
<i>Podocarpoxyylon sp.1</i>	480 Pbe F	3	HL2	4,0	3,0
<i>Podocarpoxyylon sp.1</i>	480 Pbe H	3	HL2	5,0	4,0
<i>Podocarpoxyylon sp.1</i>	480 Pbe L	3	HL2	5,0	1,0
<i>Podocarpoxyylon sp.2</i>	493 Pbe A	6	SM	11,0	5,0
<i>Taxodioxyylon sp.1</i>	480 Pbe A	3	HL2	7,0	5,0
<i>Taxodioxyylon sp.1</i>	480 Pbe G	3	HL2	5,0	2,0
<i>Taxodioxyylon sp.1</i>	480 Pbe I	3	HL2	5,0	3,0
<i>Taxodioxyylon sp.1</i>	480 Pbe J	3	HL2	4,0	2,0
<i>Taxodioxyylon sp.2</i>	487 Pbe A	7	HL2	2,0	1,0
<i>Taxodioxyylon sp.2</i>	487 Pbe C	7	HL2	8,0	3,5
<i>Taxodioxyylon sp.2</i>	487 Pbe D	7	HL2	6,0	3,5
<i>Taxodioxyylon sp.2</i>	487 Pbe I	7	HL2	2,0	1,0
<i>Taxodioxyylon sp.2</i>	487 Pbe J	7	HL2	3,0	2,0
GIMNO <i>Incertae sedis</i>	479 Pbe B	1	HL2	5,0	1,0
GIMNO <i>Incertae sedis</i>	479 Pbe C	1	HL2	8,0	5,0
GIMNO <i>Incertae sedis</i>	479 Pbe F	1	HL2	3,0	1,0
GIMNO <i>Incertae sedis</i>	482 Pbe	6	SM	8,0	3,0
GIMNO <i>Incertae sedis</i>	483 Pbe C	6	HL1	2,0	1,0
GIMNO <i>Incertae sedis</i>	483 Pbe G	1	HL1	4,0	1,0
GIMNO <i>Incertae sedis</i>	484 Pbe A	6	HL1	3,0	3,0
GIMNO <i>Incertae sedis</i>	484 Pbe I	6	HL1	5,5	0,5
GIMNO <i>Incertae sedis</i>	485 Pbe G	3	HL2	3,0	1,0

Identificação	Nº coleção	Tipo pres.	Form.	comp. (cm)	larg. (cm)
GIMNO <i>Incertae sedis</i>	488 Pbe	1	WB	2,0	0,5
GIMNO <i>Incertae sedis</i>	489 Pbe A	2	HL2	8,0	2,0
GIMNO <i>Incertae sedis</i>	489 Pbe B	2	HL2	12,0	4,0
GIMNO <i>Incertae sedis</i>	492 Pbe A	3	SM	11,0	6,5
GIMNO <i>Incertae sedis</i>	492 Pbe C	3	SM	2,0	0,5
GIMNO <i>Incertae sedis</i>	494 Pbe B	6	SM	15,0	10,0
GIMNO <i>Incertae sedis</i>	494 Pbe C	6	SM	3,0	1,0
GIMNO <i>Incertae sedis</i>	496 Pbe	6	SM	2,0	0,5
GIMNO <i>Incertae sedis</i>	497 Pbe A	6	HL1	11,0	6,0
GIMNO <i>Incertae sedis</i>	497 Pbe C	6	HL1	6,0	2,0
GIMNO <i>Incertae sedis</i>	497 Pbe E	1	HL1	8,0	6,0
GIMNO <i>Incertae sedis</i>	497 Pbe I	1	HL1	3,5	0,5
GIMNO <i>Incertae sedis</i>	499 Pbe A	7	WB	6,0	4,0
GIMNO <i>Incertae sedis</i>	499 Pbe B	1	WB	11,0	4,5
GIMNO <i>Incertae sedis</i>	499 Pbe C	1	WB	4,0	3,0
GIMNO <i>Incertae sedis</i>	499 Pbe D	7	WB	13,0	3,5
GIMNO <i>Incertae sedis</i>	499 Pbe E	7	WB	5,5	1,0
GIMNO <i>Incertae sedis</i>	500 Pbe B	8	HL1	10,0	5,5
GIMNO <i>Incertae sedis</i>	500 Pbe D	8	HL1	11,0	3,0
GIMNO <i>Incertae sedis</i>	500 Pbe E	7	HL1	12,0	8,0
GIMNO <i>Incertae sedis</i>	502 Pbe	8	HL1	4,0	2,0
GIMNO <i>Incertae sedis</i>	503 Pbe C	3	HL2	3,0	2,0
GIMNO <i>Incertae sedis</i>	504 Pbe A	3	HL2	3,0	3,0
GIMNO <i>Incertae sedis</i>	504 Pbe D	3	HL2	4,0	3,0
GIMNO <i>Incertae sedis</i>	504 Pbe G	3	HL2	2,0	1,0
GIMNO <i>Incertae sedis</i>	504 Pbe H	3	HL2	2,5	1,5
GIMNO <i>Incertae sedis</i>	504 Pbe J	3	HL2	6,0	4,0
GIMNO <i>Incertae sedis</i>	504 Pbe N	6	HL2	2,0	1,0
GIMNO <i>Incertae sedis</i>	504 Pbe O	3	HL2	3,0	1,0
GIMNO <i>Incertae sedis</i>	504 Pbe Q	3	HL2	2,0	1,0
GIMNO <i>Incertae sedis</i>	504 Pbe R	3	HL2	5,0	3,0
GIMNO <i>Incertae sedis</i>	504 Pbe T	3	HL2	4,0	3,0
GIMNO <i>Incertae sedis</i>	504 Pbe U	3	HL2	2,0	1,5
GIMNO <i>Incertae sedis</i>	505 Pbe I	1	HL1	2,5	0,5
GIMNO <i>Incertae sedis</i>	505 Pbe U	6	HL1	3,0	2,0
GIMNO <i>Incertae sedis</i>	505 Pbe X	6	HL1	6,0	4,5
GIMNO <i>Incertae sedis</i>	507 Pbe	1	WB	3,0	1,0

(Tabela 19: continuação)

3.4.2 Angiospermas

Família: Lauraceae

Paraphyllanthoxylon Bailey

Paraphyllanthoxylon sp.

Amostra: 483 Pbe A

Formação: Hidden Lake, perfil estratigráfico nº 1 (Figura 5) – Coniaciano.

Preservação: fusênio rígido (Tipo 7). O fóssil apresenta boa preservação das características anatômicas, inclusive das pontuações. As fibras foram as células menos preservadas, não foi possível observar estratificação ou presença de septos. O parênquima axial também não foi

observado, no plano transversal está indistinto e nos longitudinais não foi possível verificar sua presença, pela má preservação.

Descrição: Lenho sem demarcação de anéis de crescimento, porosidade difusa, vasos com diâmetro tangencial médio de $98\mu\text{m}$ ($68 - 126\mu\text{m}$), múltiplos de 2 a 4, em arranjo radial e formando cachos, a frequência é de 25 a 37 vasos/ mm^2 , vasos solitários também ocorrem em menor frequência, 5 a 11 vasos/ mm^2 ; o parênquima axial é indistinto e as fibras apresentam paredes finas a espessas (Figura 58: a). Há conteúdo orgânico preenchendo os vasos, porém a falta de fluorescência sob luz ultravioleta, indica que não se trata de resina (Figura 58: b). As paredes celulares estão homogeneizadas e quebradas pela permineralização do material (Figura 58: c). Os elementos de vaso apresentam placa de perfuração simples e pontoações vasculares areoladas e alternas, medindo de 7 a $9\mu\text{m}$ (Figura 58: d, e, f). Os raios apresentam, em média, 10 (3-17) células de altura e 3 (1-4) células de largura; em micrometros, medem 242 ($129-437\mu\text{m}$) de altura (Figura 58: f, g, h). Os raios são formados por células procumbentes e apresentam de 1 a 2 camadas de células quadradas e/ou eretas marginais (Figura 58: i); as pontoações radio-vasculares são simples, medindo de 8 a $15\mu\text{m}$ (Figura 58: j, k). As células de raio apresentam drusas que podem ser originais do material (Figura 58: l).

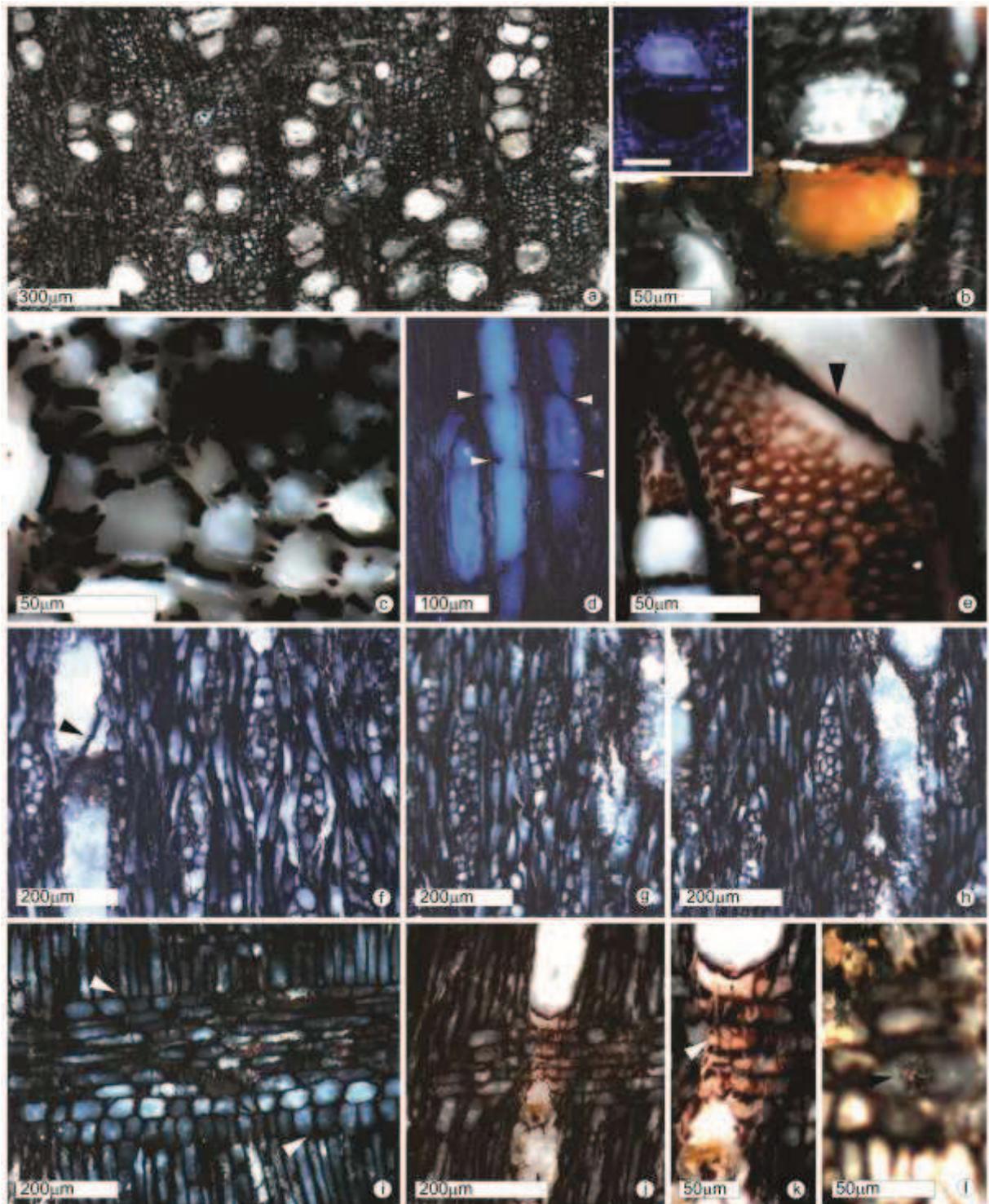


Figura 58 – *Paraphyllanthoxylon* sp. : Amostra 483 Pbe A, sob luz branca, a) plano transversal, b) detalhe de um vaso múltiplo de 2 com conteúdo orgânico, não fluorescente sob luz uv, c) paredes celulares homogeneizadas e quebradas pela permineralização; plano tangencial, d) sob luz uv, setas indicam restos das placas de perfuração simples, e) sob luz branca, seta preta indica placa de perfuração simples e seta branca indica pontoações vasculares areoladas e alternas, f) sob luz uv, seta indica placa de perfuração simples, g-h) raios parenquimáticos. Plano radial, raios parenquimáticos, i) sob luz uv, setas indicam as camadas de células quadradas e/ou eretas, j-k) sob luz branca, seta indica pontoações radio-vasculares simples, l) seta indica drusa no interior da célula procumbente radial.

Descrição do gênero: Anéis de crescimento indistintos ou distintos, porosidade difusa, vasos solitários ou em grupos radiais. Placa de perfuração simples, tiloses abundantes, fibras septadas. Raios uni- ou multisseriados, heterocelulares (BAILEY, 1924 *apud* FENG *et al.*, 2010).

Afinidade botânica: O fóssil descrito apresenta afinidade botânica com o gênero *Paraphyllanthoxylon* e é bastante similar à espécie *P. capense* Mädel com exceção das camadas de células quadradas e/ou eretas nos raios, que podem exceder 5 camadas, o que não ocorre neste fóssil e a presença de tiloses e septos nas fibras que não puderam ser observadas pelo modo de preservação do fóssil.

Discussão: As características deste fóssil estão relacionadas a muitas famílias e gêneros fósseis distintos descritos na literatura. Por isso, a comparação inclui basicamente os fósseis descritos que apresentam porosidade difusa, ocorrência de vasos solitários e múltiplos em arranjos radiais, placas de perfuração simples, pontoações vasculares alternas e radio-vasculares não similares às vasculares, além de raios heterocelulares (Tabela 20). Com estas características básicas, há o *Antarctoxylon juglandoides* Poole, Mennega et Cantrill, descrito para o Paleoceno da Ilha Seymour (POOLE *et al.*, 2003), porém a similaridade é mínima entre os fósseis e as diferenças existentes como a presença de anéis de crescimento, diâmetro e frequência dos vasos, tipo de pontoações radio-vasculares, tipo de parênquima e dimensões dos raios distintas, impede a associação entre eles; além disso o gênero *Antarctoxylon* Poole et Cantrill reúne todas as madeiras fósseis de Eudicotiledôneas da Antártica, do Cretáceo ao Terciário, com afinidade botânica incerta (POOLE & CANTRILL, 2001), o que não se aplica ao fóssil deste estudo. Outro fóssil que apresenta as características básicas similares é o *Clarnoxylon blanchardii*, relacionado à família Juglandaceae, descrito para o Eoceno médio dos Estados Unidos (MANCHESTER & WHEELER, 1993), porém apresenta as mesmas diferenças citadas para o *A. juglandoides*. Os outros fósseis similares, pertencentes ao gênero *Javelinoxylon*, relacionados às famílias Bombacaceae, Tiliaceae e Sterculiaceae, descritos para o Cretáceo tardio dos Estados Unidos e México (ESTRADA-RUIZ *et al.*, 2010; WHEELER *et al.*, 2010), diferem do fóssil deste estudo principalmente pela baixa frequência dos vasos, os tipos distintos de pontoações radio-vasculares e presença de estruturas estratificadas, como raios e vasos. O gênero *Paraphyllanthoxylon* é o que reúne melhor as características deste fóssil e suas espécies relacionam-se a 14 famílias (THAYN & TIDWELL, 1984). No entanto, não é possível assumir o nome específico *P. capense*, pela variação que existe nas características quantitativas, na composição do raio e ocorrência

geográfica da espécie. *P. capense* relaciona-se às famílias Lauraceae, Elaeocarpaceae, Anacardiaceae e Burseraceae (THAYN & TIDWELL, 1984). Será necessária a melhor análise das características quantitativas do fóssil, para a sugestão futura de um novo nome específico.

Ocorrência: O gênero *Paraphyllanthoxylon* ocorre desde o Cretáceo tardio ao Mioceno, na África do Sul, China, Estados Unidos, Europa (França, Inglaterra e Romênia), Índia, Japão e México (*InsideWood*, 2004). A espécie *P. capense* ocorre no Cretáceo superior da África do Sul (THAYN & TIDWELL, 1984).

Afinidade botânica com lenhos atuais: As características do fóssil aqui descrito estão fortemente relacionadas à família Lauraceae (*InsideWood*, 2004), no entanto, será necessária uma análise futura cuidadosa para relacioná-lo à possíveis gêneros atuais. A família é considerada pantropical, ocorrendo atualmente nas Américas do Sul (desde o Chile e Uruguai), Central e Norte (até o sul dos Estados Unidos), África (sul a norte), Ásia, Austrália e Europa (região do Mar Mediterrâneo) (STEVENS, 2001).

Família: Cunoniaceae

Weinmannioxylon Petriella 1972

Weinmannioxylon sp.

Amostra: 500 Pbe C

Formação: Hidden Lake, perfil estratigráfico nº 1 (Figura 5) – Coniaciano.

Preservação: fusênio rígido (Tipo 7). As características anatômicas não estão bem preservadas, principalmente as relativas aos vasos, raios e pontoações vasculares e radiovasculares.

Descrição: Lenho com anéis de crescimento indistintos, porosidade difusa, vasos com diâmetro tangencial médio de 54µm (43 – 70µm), maioria solitários, também ocorrem os múltiplos de 2, a frequência dos vasos solitários é de 44 a 55 vasos/mm² e de vasos múltiplos é de 5 a 10 vasos/mm²; o parênquima axial é difuso e, também pode ocorrer, paratraqueal escasso (Figura 59: a, b). Os elementos de vaso apresentam placa de perfuração escalariformes de até dez barras (Figura 59: c), as pontoações vasculares estão pouco preservadas, mas também são escalariformes (Figura 59: d). Os raios apresentam, em média, 11 (7-25) células de altura e de 1 a 3 células de largura; em micrometros, medem 528 (240-

1120 μ m) de altura (Figura 59: e, f, g). Os raios são formados por células procumbentes e apresentam uma camada de células quadradas e/ou eretas marginais (Figura 59: h). As paredes celulares estão homogeneizadas e quebradas (Figura 59: i, j, k).

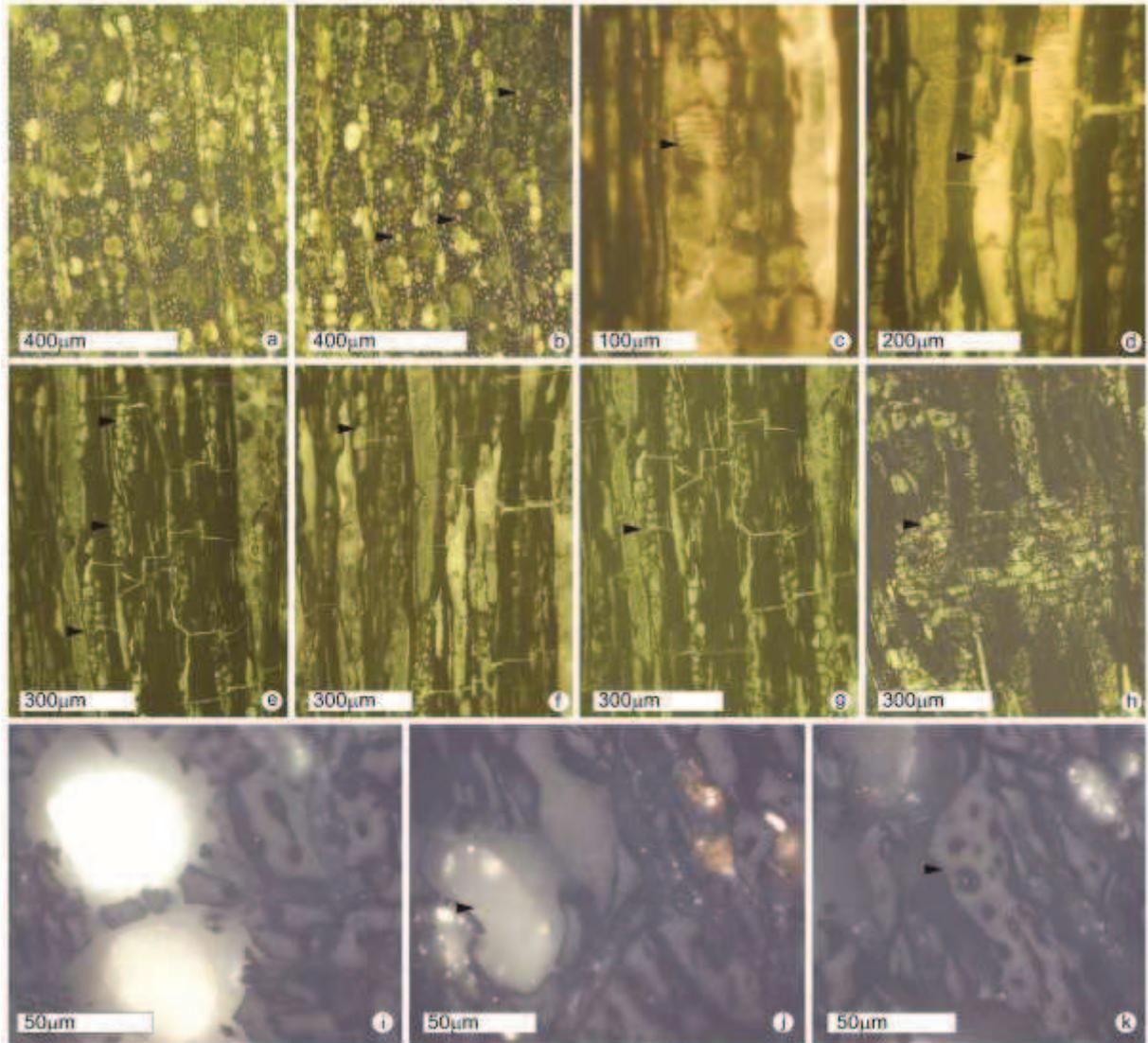


Figura 59 – *Weinmannioxylon* sp.: Amostra 500 Pbe C, a-b) plano transversal, setas indicam as células de parênquima axial. Plano tangencial, c) seta indica placa de perfuração escalariforme, d) setas indicam as pontoações vasculares escalariformes mal preservadas, e) setas indicam os raios, f) seta indica as células de parênquima axial, g) setas indicam os raios. Plano radial, h) raio mal preservado, seta indica camada marginal de células quadradas e/ou eretas. Plano transversal sob luz branca, paredes homogeneizadas e quebradas, semifusinitas e inertodetrinitas, i) vasos múltiplos de 2, j) seta indica vaso sem limites distintos, k) seta indica região fibrosa.

Descrição do gênero: Lenho fóssil angiospérmico, com porosidade difusa. Apresenta vasos pequenos, maioria solitários, alguns agrupados. Elementos de vaso longos a extremamente longos. Placas de perfuração e pontoações vasculares escalariformes. Pontoações radiovasculares grandes, elípticas, escalariformes a opostas. Parênquima axial apotraqueal, difuso ou agrupado em pequenas bandas. Raios heterogêneos, maioria com largura entre 1 a 4

células, ocorrendo até 6 células. As fibras apresentam pequenas pontoações areoladas (PETRIELLA, 1972).

Afinidade botânica: O material deste estudo apresenta afinidade botânica com os fósseis do gênero *Weinmannioxylon* Petriella. A espécie *W. nordenskjoldii* Poole, Cantrill, Hayes e Francis foi descrita para o Cretáceo das Ilhas James Ross e Livingston. A amostra 500 Pbe C apresenta maior afinidade com os fósseis desta espécie descritos para a Ilha Livingston e as amostras de *Weinmannioxylon* sp. descritas por TERADA *et al.* (2006) para o Eoceno médio da Argentina (Tabela 21). Além disso, as características anatômicas como anéis de crescimento indistintos ou pouco demarcados; porosidade difusa com maioria de vasos pequenos, solitários; placas de perfuração exclusivamente escalariformes 10-30 barras; raios usualmente uni- e bisseriados com substâncias amarronzadas; pontoações vasculares escalariformes a opostas; parênquima axial apotraqueal, difuso a difuso em agregados relaciona-os às famílias Cunoniaceae e Eucryphiaceae.

Discussão: O material apresenta afinidade botânica com a espécie *W. nordenskjoldii* (POOLE *et al.*, 2000) e com *Weinmannioxylon* sp. (TERADA *et al.*, 2006), porém, como há características importantes que não foram preservadas, o material deste estudo permanecerá apenas com a afinidade genérica.

Ocorrência: As espécies de *Weinmannioxylon* foram descritas para a América do Sul e Antártica. Para o Cretáceo, das Ilhas James Ross e Livingston, foram descritos fósseis de *W. nordenskjoldii* (POOLE *et al.*, 2000); para o Terciário da Argentina, descreveram-se os fósseis de *W. multiperfuratum* (PETRIELLA, 1972; POOLE *et al.*, 2000) e *W. pluriradiatum* (POOLE *et al.*, 2000); a ocorrência de *Weinmannioxylon* sp. foi registrada para o Terciário do Chile.

Afinidade botânica com lenhos atuais: O fóssil apresenta afinidade botânica maior com lenhos do gênero *Weinmannia* L., família Cunoniaceae, do que com gêneros da família Eucryphiaceae, segundo as descrições inseridas no sítio *InsideWood* (2004). Porém, será necessária uma análise futura cuidadosa para determinar à quais espécies do gênero a amostra relaciona-se. Este gênero é tipicamente tropical e ocorre atualmente nas Américas do Sul, Central e Norte (México), África do Sul, Madagascar e Australásia; tem 150 espécies de hábito arbustivo e arbóreo (HARLING, 1999).

Tabla 20 – Tabela comparativa da amostra 483 Pbe A e os fósseis similares descritos na literatura. Legenda: abreviaturas nomes genéricos: A. - *Antarctoxylon*; C. - *Clarnoxylon*; J. - *Javelinoxylon*; E. - *Paraphyllanthoxylon*. Abreviaturas características: A: anéis de crescimento (I: indistinto, D: distinto); P: porosidade (D: difusa, S: anel semi-poroso); Sol: solitários; Múlt.: múltiplos; Freq.: frequência; P.P: placa de perfuração (Simpl.: simples; Pont. V.: pontoações vasculares (Areol.: areolada; Alt.: alterna; Peq.: pequena; Bor. re.: bordas reduzidas); P. RV: pontoações radio-vasculares (Simpl.: simples; Irreg.: forma irregular; Escal.: escalariforme; Ov.: oval; Along.: alongada; Numer.: numerosas); Par. Axial: Parênquima Axial (I: indistinto; D: difuso; DA: difuso em agregados; PE: paratraqueal escasso; V: vasicêntrico; AL: apotraqueal em linhas; R: raro; AP: apotraqueal); Fibras Par.: parede (F: fina, E: espessa); Raios Comp.: composição (T1: formado exclusivamente por células procumbentes; T2: formado por células quadradas e/ou eretas marginais; T3: formado por células quadradas e/ou eretas procumbentes e mais de 5 camadas de células quadradas e/ou eretas marginais; T4: raios mistos, formados por células quadradas e/ou eretas misturadas); Estrat: estratificação; ? : característica não preservada ou não observada; - : característica não descrita.

Espécie	A P		Vasos						Fibras		Raios		Outras caract.
	Arranjo	Tamanho (µm)	Freq. (v/mm ²)	P.P.	Pont. V. (diâm. µm)	P. RV (µm)	Par. Axial Tipo	Par.	Septos	alt. (µm); larg. (cél.)	Comp.		
483 Pbe A	Múlt. 2-4 rd, raros sol.	98 (68-126)	Múlt. = 25 a 37 Solit. = 5 a 11	Simp.	Areol./alt. (7-9)	Simpl., irreg.(8-15)	I, PE, V	F-E	?	10 (3-17) cél, 129-437; 3 (1-4)	T2	Drusas (raio);	
<i>A. juglandoides</i> , Paleoceno, I. Seymour (POOLE <i>et al.</i> , 2003)	Múlt. 3-6 rd, raros sol.	65 (26-107)	28 (23-31)	Simp.	Areol./alt. (9-12,5)	Circular/oposta (5-13)	D, DA	F	Não	150-850 µm; 2-5 células	T2	Tiloses	
<i>C. blanchardii</i> , Eoceno médio, EUA (MANCHESTER & WHEELER, 1993)	Solit., mult. 2-3	92 (56-148)	-	Simpl.	Alt., agrupadas (5-7)	Alter., (5-7)	PE, V, AL	F-E	Não	175-494; 1-3	T3	Tiloses. Cristais em idióblastos e raios	
<i>J. multiporosum</i> , Cretáceo tardio, EUA (WHEELER <i>et al.</i> , 2010)	Mult. >8, raro Sol.	72-102	17-30	Simpl.	Alt., peq., bor. re.	Circular a escal.	R, PE	F-E	Sim	322-360; 1-3	T1, T2	Tiloses. Raios estrat.	
<i>Javelinoxylon</i> tipo 1, Cretáceo tardio, México (ESTRADA-RUIZ <i>et al.</i> , 2010)	(31%) Sol.; múlt. 2-3	94 (60-130)	8 (5-15)	Simpl.	Alt. 3,5(2-5)	Ov. a along. bor. re.	D, DA, V	F-E	Não	12 (7-21) cél ; 1-4	T2	Tiloses. Raro raios irr. estrat.	
<i>Javelinoxylon</i> tipo 2, Cretáceo tardio, México (ESTRADA-RUIZ <i>et al.</i> , 2010)	(40%) Sol., mult. 2-4	89 (70-145)	14 (9-24)	Simpl.	Alt. (3-6)	Circular a ov. bor. re.	V, PE, D	F-E	Sim e Não	2-33 cél.; 1-3 (2)	T1, T2	Tilose. Raios T1 estrat.	

Espécie	A P		Vasos							Fibras		Raios		Outras caract.
	Arranjo	Tamanho (µm)	Freq. (v/mm ²)	P.P.	Pont. V. (diâm. µm)	P. RV (µm)	Par. Axial	Fibras		Raios				
								Par.	Septos	alt. (µm); larg. (cél.)	Comp.			
<i>P. anazasii</i> , Cretáceo tardio, EUA (WHEELER & LEHMAN, 2000)	I D	Sol., mult. 2-3	93 - 120	10-20	Simpl.	Alt., areol. (8-11)	Simpl., irreg. (8-11)	I, R, PE	F-E	Não	311-377 ; 2-3, raro 1	T2	Tiloses	
<i>P. capense</i> , Cretáceo Superior, África do Sul (THAYN & TIDWELL, 1984)	I D	Solit, mult. 2-5, mais de 6 rd	Solit: 65-135, Mult.: 65-100	24-60	Simpl.	Alt, areol. (7,5-12,5)	Ov.irreg, bor. re	PE	F-E	Sim	2-45 cel (20); 1-5 (4)	T2, T3	Tiloses	
<i>P. hainanensis</i> , Eoceno, China (FENG <i>et al.</i> , 2010)	I D	Múlt. 2-5 rd, raros sol.	133 (81-210)	21-28	Simpl.	Alt., areol.	Ov, irreg, bor. re	?	F-E	Sim e Não	? ; 1-5	T2, T3	Tiloses. Raios fundidos. Cristais prismáticos nos raios.	
<i>P. marylandense</i> , Cretáceo, EUA (HERENDEEN, 1991)	I D	Sol. mult. 2-5	81 (55-114)	35-60	Simpl.	Alter., areol. (3-9)	Simpl., irreg.	I	F	Sim	220-1040; 1-4 (2-3)	T2, T4	Tiloses	
<i>P. pseudohobashiraishii</i> , Paleógeno, Japão (THAYN & TIDWELL, 1984)	P D	Solit, mult. 2-4 rd	Solit: 100-200, Mult.: 80-120	23-40	Simpl.	Oval / angular (8-11)	Along. (3-6 x 8-16)	PE	E	Sim	13-38 cel; 1-4	T2, T3	-	
<i>P. sahnii</i> , Terciário, Índia (THAYN & TIDWELL, 1984)	P D	Solit, mult. 2-5 rd	48-100	24-50	Simpl.	? (média)	Simpl. numer.	PE, D, AP	F-E	Sim	4-82 cel; 1-7	T2, T3	Tiloses	
<i>P. tertiarum</i> , Terciário, Índia (THAYN & TIDWELL, 1984)	P D	Solit, mult. 2-4 rd	75-130	20-25	Simpl.	Alter., areol. (grande)	?	D, AP, R	?	Sim	20-75 cel; 1-4 (2-3)	?	-	

(Tabela 20: continuação)

Tabela 21 - Comparação entre a amostra 500 Pbe C e os fósseis de *Weinmannioxylon* descritos na literatura. Legenda: A: anéis de crescimento (I: indistinto); P: porosidade (D: difusa); Sol: solitários; Freq.: frequência; P.P: placa de perfuração (Escal.: escalariforme); Pont. V.: pontoações vasculares; P. RV: pontoações radio-vasculares (Simpl.: simples; Arred.: arredondada; Escal.: escalariforme); Par. Axial: Parênquima Axial (D: difuso; PE: paratraqueal escasso; DA: difuso em agregados; R: raro; AP: apotraqueal); Fibras Par.: parede (F: fina); Raios Comp.: composição (T2: formado por células procumbentes e 1-2 camadas de células quadradas e/ou eretas marginais; T3: formado por células procumbentes e mais de 5 camadas de células quadradas e/ou eretas marginais; T4: raios mistos, formados por células procumbentes, quadradas e/ou eretas misturadas); ?: característica não preservada ou não observada.

Espécie	A		Vasos										Fibras		Raios		Outras caract.
	P	I	Arranjo	Tamanho (µm)	Freq. (v/mm ²)	P.P.	Pont. V. (diâm. µm)	P. RV (µm)	Par. Axial		Septos	alt. (µm); larg. (cél.)	Comp.				
									Tipo	Par.							
500 Pbe C		I D	Sol., aos pares	54 (43-70)	Sol. = 49-65 Múlt. = 5-10	Escal. (até 10)	Escalariforme	?	D, PE ?	?	?	528 (240-1120); 1-3	T2	-			
<i>Weinmannioxylon</i> sp., Terciário, Chile (TERADA <i>et al.</i> , 2006)		I D	Sol., aos pares	45 (25-90)	88 (64-130)	Escal. (10-25)	Escalariforme	Simpl. e arred.?	D, DA.	F	Não	392 (250-700); 1-2	T2	Raro filoses. Presença de substâncias nos raios. Cristais.			
<i>W. nordenskjöldii</i> , Cretáceo, I. Livingston (POOLE <i>et al.</i> , 2000)		I D	Sol., aos pares	69 (30-125)	111 (40-184)	Escal. (8-37)	Oposta, escal.	Oposta, escal.	D, R	F	Não	592 (120-1250); 1-4	T2, T3, T4	-			
<i>W. nordenskjöldii</i> , Cretáceo, I. James Ross (POOLE <i>et al.</i> , 2000)		I D	Sol., aos pares	63 (39-83)	135 (122-176)	Escal. 18 (12-23)	Areolada, oposta, escal.	Escal.	D, R	F	Não	1001 (400-1500); 1-3 (2)	T4	-			
<i>W. pluriradiatum</i> , Terciário, Argentina (POOLE <i>et al.</i> , 2000)		I D	Sol., poucos agrupados	93 (75-112)	23 (19-28)	Escal. (< 15)	Oposta, escal.	Oposta, escal.	D, AP, R, DA	F	Não	737 (300-1287); 1-7	T4	-			
<i>W. multiperforatum</i> , Terciário, Argentina (POOLE <i>et al.</i> , 2000)		I D	Sol., poucos agrupados	83 (67-90)	24 (14-30)	Escal. (> 15)	Oposta, escal.	Oposta, escal.	D, R, AP	F	Não	1009 (525-1875); 1(2-3)4	T4	-			

Incertae sedis

Amostra: 498 Pbe

Formação: Whisky Bay, perfil estratigráfico nº 2 (Figura 4) – Albiano a Coniaciano

Preservação: fusênio rígido (tipo 1).

Descrição: Apresenta grande fusão das paredes celulares. No plano transversal é possível observar apenas a ocorrência de vasos solitários e aos pares, muito alterados e preenchidos por calcita (Figura 60: a, b, g, h). No plano tangencial, observam-se os elementos de vaso completamente preenchidos pelos minerais, a placa de perfuração escalariforme e a fusão das paredes celulares e os lumens fechados (Figura 60: c, d, e, f).

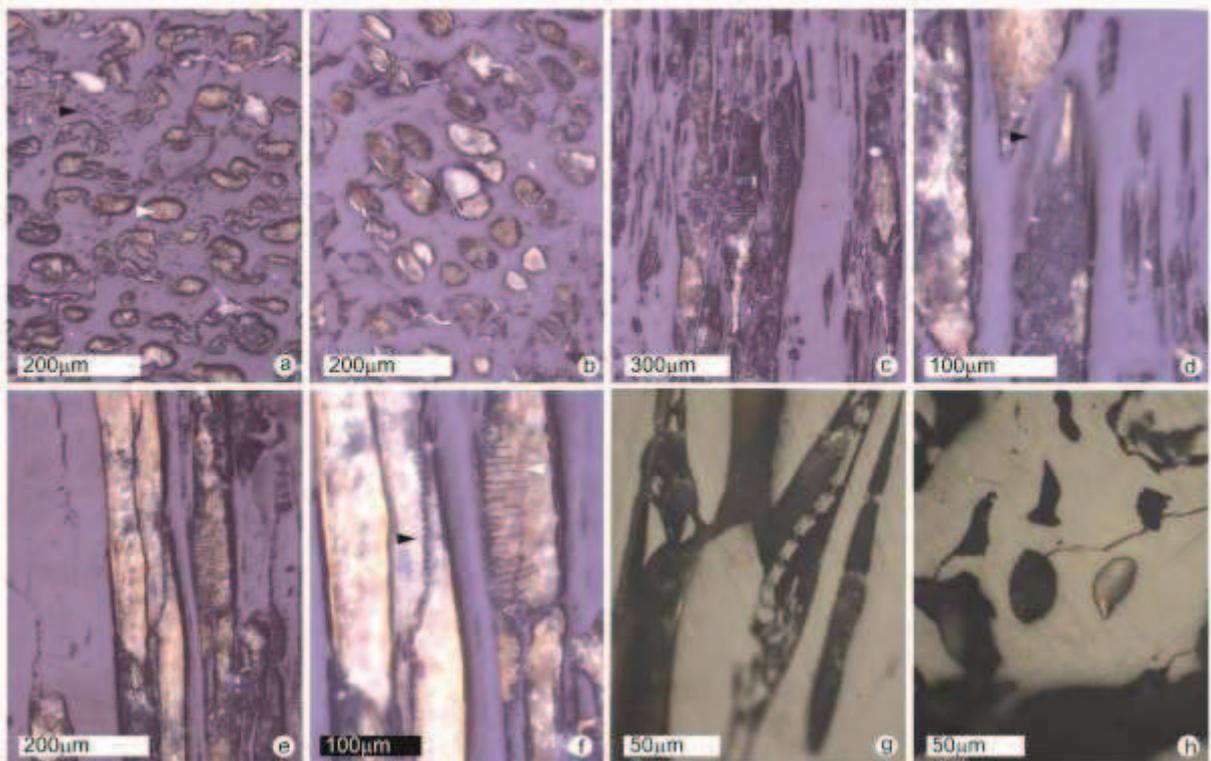


Figura 60 – Lenho angiospérmico. Amostra 498 Pbe sob luz branca, a-b) plano transversal, seta preta indica lúmen de célula parenquimática ou fibra, seta branca indica vaso solitário. Plano tangencial, c) geral, d) seta indica a região da placa de perfuração com as paredes homogeneizadas, e) paredes homogeneizadas, lumens fechados, f) elementos de vaso preenchidos por calcita, seta preta indica placa de perfuração escalariforme, seta branca indica barras da placa de perfuração. Detalhes das paredes homogêneas e medidas de reflectância das semifusinitas, g) $Rr = 1,24$, h) $Rr = 1,31$.

4 DISCUSSÃO

4.1 A BUSCA DO MÉTODO

O primeiro método utilizado, baseado na simples quebra e observação direta em microscopia de luz refletida para pesquisa de carvões (*charcoal*) em contexto arqueológico (WESTERN, 1963; VERNET, 1975; LENEY & CASTEEL, 1975), demonstrou ser inadequado para análise de material em contexto paleontológico e a insistência destas análises resultou apenas em equívocos e perda de tempo.

O acesso bastante limitado à anatomia dos fósseis levou a crer que o material era mal preservado. Posteriormente, verificou-se que os modos de preservação observados sob este método não correspondiam à realidade do material, com exceção da chamada “madeira vitrificada” (vitrênio), dos carvões leves e das compressões, as demais inferências estavam todas incorretas.

Ainda, como não era possível acessar características anatômicas, como por exemplo as pontoações, houve a tentativa de identificar grupos semelhantes entre os fósseis gimnospérmicos “em melhor estado de preservação”, através de caracteres anatômicos morfométricos (altura e largura de raios parenquimáticos, em número de células e micrometros; medidas de diâmetro, lúmen e espessura das paredes das traqueídes do lenho inicial). Dentre as amostras analisadas estavam madeiras permineralizadas, petrificadas e fusênios permineralizados onde o que se observava nem sempre eram os verdadeiros limites das células. No total foram tomadas três mil e quinhentas medidas de vinte sub-amostras que não puderam ser utilizadas neste trabalho pela total inconsistência dos resultados.

Nem mesmo a própria separação do material entre lenhos angiospérmicos e gimnospérmicos demonstrou ser eficiente. Todas as 170 sub-amostras foram observadas sob este método e em apenas uma foram visíveis características anatômicas angiospérmicas, mais um equívoco, ao final, foram observadas três sub-amostras angiospérmicas em apenas 90 observadas em blocos polidos, sob luz refletida com óleo de imersão e luz ultravioleta.

Outro fator importante é a péssima qualidade das imagens obtidas devida a dificuldade natural do foco, pela tridimensionalidade do material. O Dr. Pieter Baas (comunicação pessoal, 2009), anatomista da madeira e editor do periódico *IAWA Journal* analisou as imagens e considerou-as impúblicáveis, além disso, garantiu que ilustrações em nanquim não seriam aceitas em qualquer periódico de qualidade.

A utilização de microscopia eletrônica de varredura é tida como a metodologia mais apropriada para análise e documentação de carvões provenientes de incêndios, tanto em contexto arqueológico quanto paleontológico (SANDER & GEE, 1990, SCOTT, 2000; JONES *et al.*, 2002, EKLUND *et al.*, 2004; SCOTT, 2010; SCOTT & DAMBLON, 2010). Porém, para as amostras analisadas neste estudo, tornou-se impossível o resgate das características anatômicas devido às condições de preservação relacionadas ao crescimento de minerais na superfície dos planos de quebra dos fósseis, que impedem que o microscópio forme uma imagem tridimensional da anatomia da madeira. Esta metodologia poderia ter resultados melhores, caso o tratamento com ácido clorídrico não tivesse destruído as amostras. Mesmo motivo pelo qual a técnica da película de esmalte (ANGELES, 2001) não surtiu bons resultados, pois também parte do resgate de informações de superfície.

A confecção de lâminas petrográficas é comumente utilizada para a análise de lenhos fósseis permineralizados e carbonizados (FALCON-LANG & CANTRILL, 2001, TAYLOR *et al.*, 2009, SCOTT E DAMBLON, 2010), assim como a metodologia para corte em micrótomo descrita por SMITH & GANNON (1972). Ambas são metodologias muito demoradas e exigem amostras de dimensões maiores, pois o aproveitamento é muito baixo, sendo necessária a confecção de muitas lâminas por amostra para que se consiga observar todas as características anatômicas. O Dr. David Cantrill (comunicação pessoal, 2010) alertou que a cada 100 lâminas confeccionadas, aproveitam-se de 1 a 3, se utilizada a resina com ácido clorídrico em sua fórmula. Sendo assim, esta técnica tornou-se inviável para este estudo, uma vez que a maioria das amostras apresentam dimensões reduzidas, em média 2 a 5 cm de comprimento (Anexo A). As primeiras lâminas confeccionadas não puderam ser aproveitadas, pois as paredes celulares quebraram e não houve preservação dos tecidos. Por isso, esta técnica foi aplicada exclusivamente para a análise da matriz mineral dos fósseis.

SCOTT & DAMBLON (2010) publicaram os resultados das intensas discussões sobre a problemática e os caminhos das pesquisas de carvões ao longo do tempo geológico, durante o encontro internacional de pesquisadores de carvões (*IVth International Meeting of Anthracology*, Bruxelas, 2008). Esta publicação resume toda a dificuldade desta área de estudo, pois há uma grande variedade de carvões e, para cada tipo, pequenos grupos de pesquisadores utilizam diversas técnicas e enfoques. Os grupos isolam-se uns dos outros naturalmente, pela formação diversificada dos pesquisadores, idade do material e distinção das metodologias empregadas. O que acarreta em muitas repetições de pesquisas, confusões terminológicas e graves erros de interpretação. Foi esta publicação que incentivou a busca por

métodos além da Paleobotânica, pois aborda os sérios problemas práticos que o isolamento acadêmico traz.

Neste caminho, após quase três anos de tentativas frustradas, chegou-se ao Laboratório de Palinofácies e Fácies Orgânica (LAFO/UFRJ) e às adaptações para a técnica descrita por MENDONÇA FILHO *et al.* (2010) para a análise de maturação do querogênio.

Esta técnica mostrou ser a melhor opção neste estudo. Ainda, demonstra como a utilização da luz ultravioleta é imprescindível, pois as imagens dos fósseis permineralizados são formadas a partir do contraste entre as paredes celulares foscas e a fluorescência dos minerais no interior das células.

Os resultados indicam que a maioria das características passíveis de acesso em lenhos fósseis foram resgatadas, com alto grau de fidelidade e nitidez, viabilizando a identificação e documentação do material. Ainda, a nitidez com a qual pode-se observar detalhes das paredes celulares, incluindo a surpreendente preservação da região do tórus, demonstra a possibilidade de análise do estado de preservação do material, bem como de melhores inferências sobre as condições às quais a madeira foi submetida durante a diagênese destes fósseis.

As fotomicrografias apresentadas nas Figuras 37 a 48 e 51 a 60 ilustram a excelente preservação de todas as características anatômicas importantes que permaneciam ocultas nas técnicas anteriormente testadas.

Cabe aqui ressaltar que esta não se trata de uma nova técnica, ao contrário, ela é amplamente utilizada há décadas em estudos de carvões (*coal*) (TEICHMÜLLER & TEICHMÜLLER, 1975). JONES *et al.* (1993) utilizam preparação de blocos semelhante, inclusive pela fixação com o adesivo *Superbonder* para a análise de carvões (*charcoal*) originados em paleoincêndios do Carbonífero. O que ocorre é que os Paleobotânicos não a estão utilizando para a observação de características anatômicas e este trabalho demonstra que, aliada à luz ultravioleta, é uma importante ferramenta para a observação não só de carvões, mas também de lenhos permineralizados e petrificados. As fotomicrografias obtidas aqui são melhores em qualidade do que as apresentadas, por exemplo, por FALCON-LANG & CANTRILL (2001) que analisaram lenhos permineralizados e carbonizados da Ilha Livingston. Ainda, SCOTT & COLLINSON (2003) submeteram lâminas à microscopia de luz refletida com óleo de imersão e obtiveram boas imagens sob luz branca, o que indica que, se forem observadas lâminas sob luz ultravioleta, os resultados podem ser tão bons quanto os obtidos com os blocos polidos.

Em última análise, esta é uma técnica de baixo custo, relativamente rápida, onde não há qualquer desperdício de material, uma vez que os blocos podem ser guardados nas coleções e polidos sempre que necessário.

O tempo gasto entre o início desta pesquisa e a observação satisfatória do material é apenas mais um exemplo dos problemas terminológicos e de buscas incompletas por palavras chave, apontados por SCOTT & DAMBLON (2010).

4.2 MODOS DE PRESERVAÇÃO

Parte importante dos resultados deste estudo diz respeito à diferenciação macroscópica do material, que pode ser feita em todos os tipos de preservação a olho nu e com o auxílio de uma lupa conta fios (10x), com exceção da diferenciação entre os fusênios permineralizados Tipos 1 e 2. A chave dicotômica produzida servirá tanto para a melhoria de coletas futuras, como para ampliar a análise de estudos tafonômicos do material e dos processos formadores das rochas, uma vez que possibilitará a análise quantitativa de material nos afloramentos. O que está diretamente relacionado às possibilidades de interpretações de ambientes deposicionais com base em madeiras fósseis (JEFFERSON, 1987) e carvões (SCOTT, 2010).

Em razão da coloração externa enegrecida, todo o material coletado foi inicialmente tratado como sendo fragmentos de carvões originados a partir de paleoincêndios. No entanto, as análises macro- e microscópicas demonstraram que o material é composto por madeiras fósseis permineralizadas e/ou petrificadas (38%), compressões (~14%) e carvões (49%), destes, 43% originados em paleoincêndios e 6% originados por carbonificação.

O material foi transportado e depositado em ambiente marinho, profundo a raso, ocorrendo em siltitos, arenitos e ruditos. As relações entre os tipos de preservação e os processos tafonômicos envolvidos estão sintetizados na Figura 61.

A madeira fóssil divide-se em três tipos:

a) Tipo 3 – madeira permineralizada:

O preenchimento dos fósseis ocorre preferencialmente por calcita, podendo ocorrer caulinita em menor quantidade; em alguns fósseis há duas gerações de cristalização da calcita, indicando dois momentos distintos de permineralização.

Na amostra 480 e 495 Pbe, Formação Hidden Lake, perfil estratigráfico nº 2 (Figura 6), ambas coletadas em siltitos, há a ocorrência de muitos cristais de pirita associados à calcita, preenchendo as traqueídes. Na amostra 480 Pbe a pirita ocorre apenas em hábito poligonal (Figura 56: e), já a amostra 495 Pbe apresenta maior quantidade de cristais de hábito framboidal em comparação com os poligonais (Figuras 52: h, i, m).

A simples ocorrência de pirita associada aos minerais carbonáticos preenchendo os fósseis concorda com os modelos de permineralização documentados por SCOTT & COLLINSON (2003) e com a composição das rochas desta região da Península Antártica, descritas por PIRRIE *et al.* (1994).

Já a ocorrência de pirita framboidal poderia ser um indicativo das condições de oxigenação do ambiente de formação destes fósseis. Para a região de Cape Lamb²¹, Ilha Vega, PIRRIE *et al.* (1994) relatam a ocorrência comum de pirita framboidal nos arenitos siltosos e lamitos bioturbados dos afloramentos e também associada à cimentos carbonáticos preenchendo os poros de bioclastos.

Há uma discussão na literatura sobre a formação da pirita framboidal, pois ocorre em uma ampla gama de ambientes geológicos (sedimentos modernos, rochas sedimentares, tufos vulcânicos e veios hidrotermais) e pode estar ou não relacionada à ação bacteriana em substrato orgânico (GARCIA-GUINEA *et al.*, 1998).

WILKIN & BARNES (1996) exploram os aspectos da formação deste tipo de pirita e apontam quatro passos necessários ao processo: a) nucleação inicial e crescimento de um monossulfeto de ferro; b) reação do monossulfeto à greigita²²; c) agregação dos cristais de greigita; d) substituição da greigita por pirita (FeS₂). De acordo com os autores, esta formação depende não só das condições de oxigenação (óxicas-anóxicas) do ambiente, mas também das temperaturas, pois a greigita não tolera muito tempo condições hidrotermais, assim, o máximo de temperatura na qual a pirita framboidal pode ser formada é entre 150-210°C.

HARTMAN (1981) aponta para a provável ação de bactérias redutoras de sulfatos na formação de pirita framboidal em traqueídes de tecidos lenhosos depositados em lamias carbonáticas, ricas em ferro.

²¹ Cape Lamb: é a parte de uma sequência espessa, datada do Barremiano ao Eoceno, que aflora na região da Ilha James Ross.

²²Greigita: é um sulfeto de ferro (Fe₃S₄) relativamente comum nos sedimentos, é formada em meio anóxico. Sua estrutura cristalina é similar a da magnetita, porém possui magnetização espontânea cerca de um quarto do valor da associada à magnetita.

As resinitas formadas no interior das células e as porções carbonificadas das paredes celulares tem uma média de reflectância de $R_r = 0,54$, indicando um estágio de carbonificação equivalente a um carvão sub-betuminoso. Lembrando que, as partículas carbonificadas ocorrem em maior frequência nas regiões deformadas dos fósseis.

O preenchimento destas amostras é similar aos cimentos carbonáticos documentados por PIRRIE *et al.* (1994). Partindo destes dados e, lembrando que o processo de permineralização por calcita, descrito por SCOTT & COLLINSON (2003) é direcionado pela ação bacteriana, então sugere-se que a presença de pirita framboidal neste material está mesmo relacionada à ação de bactérias. No entanto, seria interessante a análise acurada dos siltitos da Formação Hidden Lake para verificar se a ocorrência de pirita framboidal é exclusiva dos fósseis ou é comum nestas rochas, como ocorre com os siltitos da Ilha Vega.

b) Tipo 5: madeira petrificada

Este modo de preservação ocorre exclusivamente em amostras da Formação Santa Marta. As amostras 481 e 501 Pbe ocorrem em arenitos muito finos e a amostra 492 não tem a localização no perfil estratigráfico conhecida.

A média de reflectância das partículas carbonificadas, na região das paredes celulares e das resinitas no interior das células, é de $R_r = 0,36$, indicando baixa carbonificação, entre linhito e carvão sub-betuminoso.

A petrificação por calcita ocorre frequentemente no registro fossilífero pela abundância natural deste mineral (SWEENEY *et al.*, 2009). Para a Península Antártica não é diferente, um exemplo são os lenhos fósseis analisados por FRANCIS & POOLE (2002), coletados em afloramentos cretáceos da sub-bacia James Ross, que também são petrificados por calcita, com exceção dos lenhos de contexto vulcanoclástico, que são petrificados por sílica. O material petrificado analisado neste estudo apresenta boa preservação das características anatômicas, assim como os fósseis analisados por FRANCIS & POOLE (2002).

c) Tipo 8 – madeira permineralizada e petrificada

Este tipo de preservação foi observado em exemplares coletados em arenito muito grosso (amostra 500 Pbe) e siltito (amostra 502 Pbe), da Formação Hidden Lake (Figura 5).

O que difere este tipo dos anteriores é a grande degradação das paredes celulares, em luz ultravioleta é possível observar a coloração castanha avermelhada das paredes, indício da sua composição orgânica (Figura 48: d). Segundo BOLZON *et al.* (2004) este aspecto,

constituído por paredes celulares afastadas, células achatadas e paredes rompidas é considerado como resultado da degradação do lenho anterior aos processos de infiltração e precipitação dos minerais.

O material está permineralizado e em estágio inicial de petrificação, na Figura 48-b observam-se porções de parede celular substituídas, porém com aparente lumen “vazio”. Para BOLZON *et al.* (2004) essas características estão relacionadas ao início do processo de infiltração e nucleação dos minerais a partir das paredes celulares.

A reflectância $R_r = 0,34$ indica carbonificação entre lenhito e carvão sub-betuminoso, como o Tipo 5. No entanto, não há a presença de resinita, as partículas medidas estão presentes apenas em porções das paredes celulares (Figura 48: h).

Neste caso, a má preservação das características deve-se pela degradação do lenho anterior ao início do processo de permineralização, exatamente como o proposto por SWEENEY *et al.* (2009).

O processo de carbonificação está relacionado com a atividade de fungos e/ou bactérias, seguido por estágios geoquímicos. Quando a permineralização – petrificação e a carbonificação ocorrem num mesmo material, funcionam como processos tafonômicos competitivos. Assim, materiais com boa preservação das estruturas celulares indicam que a permineralização ocorreu relativamente cedo, antes que a degradação ou carbonificação alterassem o material. Já materiais com má preservação celular indicam que a permineralização foi tardia ao processo de carbonificação (SWEENEY *et al.*, 2009).

Neste contexto, pode-se inferir que o Tipo 5 foi formado a partir da degradação do lenho previamente à infiltração e nucleação dos minerais. Há regiões bem permineralizadas, incluindo fraturas do material preenchidas por calcita, assim como há regiões onde o processo não prosseguiu pela degradação das paredes celulares. Já o Tipo 8, sofreu petrificação antes que a degradação atingisse o lenho inicial, preservando suas características celulares, exatamente como o observado por BOLZON *et al.* (2004), que a compactação pelo peso dos sedimentos e alteração das paredes celulares inicia-se pelo lenho tardio.

O Tipo 3, que apresenta a melhor preservação das características anatômicas, apresenta maior carbonificação principalmente em áreas que foram deformadas pelo peso dos

sedimentos. Sugere-se que estes fósseis, ao contrário dos tipos anteriores, foram formados por carbonificação e permineralização ocorrendo ao mesmo tempo.

Ainda, há a possibilidade da petrificação por calcita ferrosa da amostra 485 Pbe F (Figura 40), pois suas paredes estão muito bem preservadas e apresentam reflectância sem a ocorrência de partículas carbonificadas. Talvez seja o mesmo caso observado por SCOTT & COLLINSON (2003), onde a calcita ferrosa forma uma parede marrom e pensa-se que a matéria orgânica está preservada.

Os carvões analisados, dividem-se em:

a) Tipo 1 – Fusênio rígido

As amostras foram coletadas em siltitos e arenitos muito finos a muito grossos das Formações Whisky Bay (amostras 488 Pbe, 498 e 499 Pbe) e Hidden Lake (amostras 479, 483, 484, 497 e 505 Pbe). A média de reflectância é de $R_r = 0,87$ e $R_r = 1,26$.

b) Tipo 2 – Fusênio rígido

Os fragmentos (amostra 489 Pbe) estavam depositadas em arenito muito fino da Formação Hidden Lake (Figura 6). A média de reflectância é $R_r = 0,64$.

c) Tipo 7 – Fusênio rígido

As amostras foram coletadas em siltitos das Formações Whisky Bay (amostra 499 Pbe) e Hidden Lake (amostras 483 e 487 Pbe) e em arenito muito grosso da Formação Hidden Lake (amostra 500 Pbe). A média de reflectância é $R_r = 0,66$ e $R_r = 0,77$.

Todos os carvões citados apresentam características de fusênio, formado por semifusinita. Atualmente, aceita-se que este tipo de carvão origina-se em paleoincêndios (JONES *et al.*, 1993; SCOTT, 2010).

Os fusênios rígidos são todos permineralizados por calcita. SCOTT (2010) relata que a permineralização de carvões, originados pela pirólise, ocorre geralmente em contextos vulcânicos, como o caso dos troncos queimados em fluxos piroclásticos²³, coletados na Ilha Livingston e analisados por FALCON-LANG & CANTRILL (2001). FRANCIS & COFFIN também indicam a presença de carvões permineralizados em rochas vulcanoclásticas da Bacia

²³ Os carvões estavam preenchidos por ignimbritos (rochas vulcânicas formadas a partir de lavas dacíticas ou riolíticas).

Larsen. JONES *et al.* (1993) analisaram carvões em estágios intermediários de carbonização e observaram, a partir de carvões de contexto vulcânico da Escócia, que os lenhos menos carbonizados estavam parcialmente permineralizados e eram raros os preenchidos por minerais carbonáticos.

SWEENEY *et al.* (2009) analisaram fragmentos de carvões com paredes homogêneas e estrutura “*bogen*” em abundância, preenchidos exclusivamente por calcita, para o Turoniano do Novo México e explicam que a calcita é formada dentro dos carvões porque a madeira quando queima diminui a sua resistência à correntes elétricas e o carvão se comporta mais como grafite, no que diz respeito à condutividade elétrica, por isso atrai cátions (Ca^{2+}). Isto explica a ocorrência de fósseis permineralizados por calcita fora do contexto de queima por fluxo piroclástico e da ocorrência de fusênios leves associados a cinzas vulcânicas (Renato Ramos, comunicação pessoal, 2012), ricas em silicatos.

As diferenças entre os tipos de fusênio rígido 1 e 2 são apenas microscópicas. E estão relacionadas à intensidade da pirólise e a transformação dos componentes das paredes celulares.

O fusênio tipo 1 (Figura 41) apresenta paredes celulares homogêneas, segundo JONES *et al.* (1993) a homogeneização das paredes ocorre a partir de 220°C, o que é concordante com a média de reflectância, que indica uma temperatura de formação aproximada entre 250° e 350°C (SCOTT, 2000). As estruturas “*bogen*” tanto no sentido tangencial quanto radial indicam pressão de compactação em sentidos perpendiculares, o que pode ser reflexo de mais de um evento de soterramento.

Já o fusênio tipo 2 (Figura 42) apresenta indícios de degradação das paredes celulares, refletindo uma queima parcial, corroborados pela média de reflectância que sugere uma temperatura mais baixa, por volta de 200° a 250°C (SCOTT, 2000). Neste caso as paredes celulares também estão homogêneas, porém, há regiões com quebra na região da lamela média e rachaduras nas paredes, o que indica temperaturas maiores de queima, acima de 340° (JONES & CHALONER, 1991), o que não é incoerente, uma vez que a variação num mesmo material de células não carbonizadas a carbonizadas pode variar em espaço de 1 a 2mm (JONES *et al.*, 1993).

O fusênio tipo 7 aparenta petrificação (Figura 47), principalmente em regiões onde as paredes celulares ainda apresentam a região da lamela média e coloração acastanhada das paredes celulares sob luz ultravioleta (Figura 47: b), o que segundo TYSON (1995) é um

indício de baixa alteração²⁴ dos componentes orgânicos das paredes celulares. Esta condição de pouca alteração é corroborada pelas médias de reflectância, que se comparadas ao trabalho de SCOTT (2000) indicam temperaturas baixas por volta de 200° a 250°C e, segundo JONES & CHALONER (1991) e JONES *et al.* (1993), para a manutenção da lamela média as temperaturas devem variar entre 180° a 220°C. Neste caso também há a variação desde paredes celulares pouco alteradas até homogêneas. O interessante é constatar a forma de quebra das paredes celulares semelhantes, as homogêneas quebram obedecendo padrões geométricos, da mesma maneira que as paredes celulares pouco alteradas. Ainda, a aparente petrificação nas regiões menos afetadas pela pirólise está de acordo com o fato de que paredes celulares muito alteradas não são substituídas, pois o processo de mineralização necessita do substrato orgânico SWEENEY *et al.* (2009).

d) Tipo 6 – Fusênio leve

As amostras foram coletadas em siltitos da Formação Hidden Lake (amostra 483 Pbe) e Santa Marta (amostra 493 Pbe), arenitos muito finos a muito grossos das Formações Hidden Lake (amostras 484, 497, 504 e 505 Pbe) e Formação Santa Marta (amostra 501 Pbe). Ainda, há os fósseis coletados na Formação Santa Marta sem localização conhecida no perfil estratigráfico (amostras 482 e 494 Pbe). As médias de reflectância são $R_r = 0,40$ e $R_r = 0,82$.

A reflectância observada concorda com as características de fusênios compostos por semifusinita, de paredes homogêneas, formados em baixas temperaturas variando a partir de 230° a 340°C (JONES & CHALONER, 1991; SCOTT, 2000). A ocorrência de início de lamela média (Figura 46: h) está de acordo com a baixa reflectância ($R_r = 0,5$ a $0,8$), segundo SCOTT (2000) a lamela permanece em madeiras até temperaturas abaixo de 300°C, reflectâncias entre aproximadamente $R_r = 0,5$ e abaixo de $R_r = 1,5$, esta variação deve-se à composição diferenciada das paredes, que varia de acordo com a planta (SCOTT, 1989).

Os fósseis coletados na Formação Hidden Lake apresentam pouca permineralização e os coletados na Formação Santa Marta, não apresentam permineralização alguma. Isso reflete a disponibilidade de ânions e cátions no ambiente deposicional, como já dito anteriormente, os carvões atraem cátions (ex.: Ca^{2+}) e exatamente na Formação Santa Marta estão associados a

²⁴O material vegetal perde sua cor matriz através da degradação, podendo ser de forma rápida - geralmente degradação oxidativa (em que este material preserva algumas características de sua estrutura original) ou vagarosamente (física - tração). As estruturas vão escurecendo gradativamente, variando tons de marrom claro a marrom escuro - fitoclasto não opaco - até chegar à cor preta - fitoclasto opaco (TYSON, 1995).

cinzas vulcânicas (Renato Ramos comunicação pessoal, 2012), ricas em ânions (SiO_4) (RAINEY & JONES, 2010).

e) Tipo 4 – Vitrênio

Este tipo de carvão é formado por carbonificação da matéria orgânica, depositada em áreas pantanosas (turfeiras). A formação de vitrênio ocorre, segundo STACH (1975), em ambiente de inundação, porém, de baixa profundidade. Os fragmentos de vitrênio analisados neste estudo ocorrem nas Formações Whisky Bay, Hidden Lake e Santa Marta, com ambientes de sedimentação marinhos, profundo a raso, (Figura 10) não estão associados a outros litotipos (durênio ou clarênio), o que demonstra que foram formados em outro local e posteriormente transportados.

A reflectância média deste tipo calculada a partir da amostra coletada na Formação Hidden Lake (487 Pbe E), forneceu um resultado de $R_r = 0,71$, indicando um estágio intermediário de carbonificação, no *rank* de carvões betuminosos (Figura 20). Isso significa que trata-se de material vegetal que foi depositado na turfeira há um tempo considerável, uma vez que o tempo é um fator muito importante para o processo (TEICHMÜLLER & TEICHMÜLLER, 1975).

Os fragmentos foram coletados nas Formações Whisky Bay a 31,5m (Figura 2 – amostra 511 Pbe) em arenito muito grosso, Hidden Lake em siltito entre 42 e 43m (Figura 6 – amostra 487 Pbe) e Santa Marta, com posição no perfil estratigráfico e litologia desconhecidas.

Na Formação Whisky Bay (Figura 2), a partir de 28m até 32m é notória a diminuição de energia no aporte de sedimentos. Partindo da formação de rudito médio a grosso (28m) a arenitos e siltito (32m), correspondente aos fluxos gravitacionais típicos desta formação (Figura 10).

Marcelo de Araujo Carvalho (comunicação pessoal, 2012) analisou a palinologia desta Formação e aponta que, até 30,8m há a frequência bastante alta de dinoflagelados, comuns ao ambiente marinho. Porém a partir de 31,8m não há a ocorrência de dinoflagelados, mas sim alta frequência de fitoclastos grandes, indicando a proximidade com a fonte, além de muitos esporos de pteridófitas. Estas condições correspondem ao aporte de sedimentos continentais que ocorrem em sua maioria por fluxos turbidíticos (TYSON, 1993).

Desta maneira, a ocorrência de fragmentos de vitrênio a 31,5m e fusênio permineralizado em aproximadamente 32m, explica-se pela redeposição de sedimentos de uma turfeira. O que se propõe é que o fluxo gravitacional iniciado no ambiente marinho atingiu os depósitos de uma turfeira próxima. A redeposição de carvões de turfeiras ocasionada por inundações catastróficas em ambiente marinho foi apontada por BEGOSSI & FÁVERA (2002) para depósitos da Formação Rio Bonito, Bacia do Paraná.

Já na Formação Hidden Lake os depósitos entre de 36 – 45m indicam a predominância de ruditos e arenitos grossos de estrutura maciça ou estratificados, ocasionalmente intercalados a siltitos. Estes depósitos tem gênese relacionada a fluxos gravitacionais possivelmente provenientes de enxurradas periódicas, como também fluxos trativos e decantação de finos relacionadas a diminuição brusca de energia destes eventos deposicionais. Estes depósitos relacionados a fluxos de alta energia concordam com o grande aporte de sedimentos vulcanoclásticos típicos desta Formação (WHITHAM *et al.*, 2006), uma vez que atividade vulcânica explosiva é seguida por chuvas torrenciais (PRESS *et al.*, 2007). Nestes depósitos o vitrênio pode ter sido transportado ao ambiente marinho por enxurradas de superfície, porém, a reflectância deveria ser mais baixa do que a medida ($R_r = 0,71$). Mas este dado pode ter sido influenciado pela atividade magmática da região, pois os aumentos de temperatura em regiões com atividade tectônica intensa interferem no processo de formação de carvões (TEICHMÜLLER & TEICHMÜLLER, 1975). Neste caso, a matéria das turfeiras da região poderiam sofrer carbonificação e aumento do *rank* em um tempo menor.

Este intervalo também é relacionado à associação de *assoalho da bacia* sugerindo um período de intensificação dos altos estruturais intrabasinais, de onde eram gerados abundantes fluxos gravitacionais, bem como depósitos de deslizamentos. Os intervalos de arenitos finos e pelitos intercalados, e as camadas lamíticas, indicam períodos de baixa energia, com deposição por decantação de finos ou fluxos de baixa concentração (MACIEL, 2011).

A deposição dos fragmentos de fusênios relativamente grandes e angulosos em Formações com alternância de litologias entre lamitos e arenitos é concordante com lenhos pouco transportados em fluxos fluviais (SWEENEY *et al.*, 2009). Situação semelhante à litologia das Formações Hidden Lake e Santa Marta de onde foram coletados os fusênios. MACIEL (2011) indica a ocorrência maior de fitoclastos e esporos nos pontos da Formação Hidden Lake, porém também com ocorrência de dinoflagelados. Comparando com os

resultados obtidos para a Formação Whisky Bay, provenientes de fluxos gravitacionais (já citados), pode-se inferir que realmente a condição de aporte de sedimentos continentais seja menos violenta na Formação Hidden Lake, compatível com fluxos fluviais.

No que diz respeito ao tamanho dos fusênios e intensidade do transporte, é necessário considerar que:

Os carvões podem ser resultado da queima de grandes troncos ou de galhos. Se forem resultado da queima de galhos, realmente o transporte em pequenas distâncias seria o ideal para a obtenção de fragmentos centimétricos. No entanto, se os fragmentos forem resultado da queima de troncos, as possibilidades podem ser outras:

a) A temperatura do fogo e o diâmetro são muito importantes, as regiões mais externas da madeira sofrem pirólise a temperaturas mais altas que as regiões internas (JONES *et al.*, 1993). No caso dos carvões deste estudo, todas as medidas de reflectância apontam a formação em temperaturas baixas (até 350°C), porém ASCOUGH *et al.* (2010) argumentam que a acurácia da relação entre reflectância e temperatura de formação permanece em carvões produzidos em temperaturas acima de 300° a 400°C, pois os carvões produzidos em temperaturas mais baixas são muito suscetíveis à oxidação no ambiente deposicional, o que interfere na reflectância. A saída é combinar dados químicos à reflectância para inferir temperaturas mais precisas de formação. Ou seja, os fusênios deste estudo podem ter sido formados em temperaturas mais baixas do que as inferidas anteriormente e terem sofrido oxidação posterior à deposição. Suas dimensões, neste caso, podem ser reflexo de transporte em distâncias maiores.

b) Os fósseis realmente foram produzidos nas temperaturas inferidas, neste caso, talvez o transporte tenha ocorrido em distâncias menores do que as da opção a).

Para elucidar esta questão, bem como fazer inferências sobre o transporte dos lenhos permineralizados e petrificados, é necessária a continuidade das análises, partindo para a estimativa dos diâmetros mínimos dos órgãos formadores destes fósseis, finalmente possível para pequenos fragmentos de carvões, pela técnica empregada por DUFRAISSE & GARCÍA-MARTÍNEZ (2011), baseada nas relações trigonométricas dos ângulos formados pelos raios parenquimáticos. Além disso, as análises de difração de raio-X e químicas, como por exemplo, a quantificação de carbono.

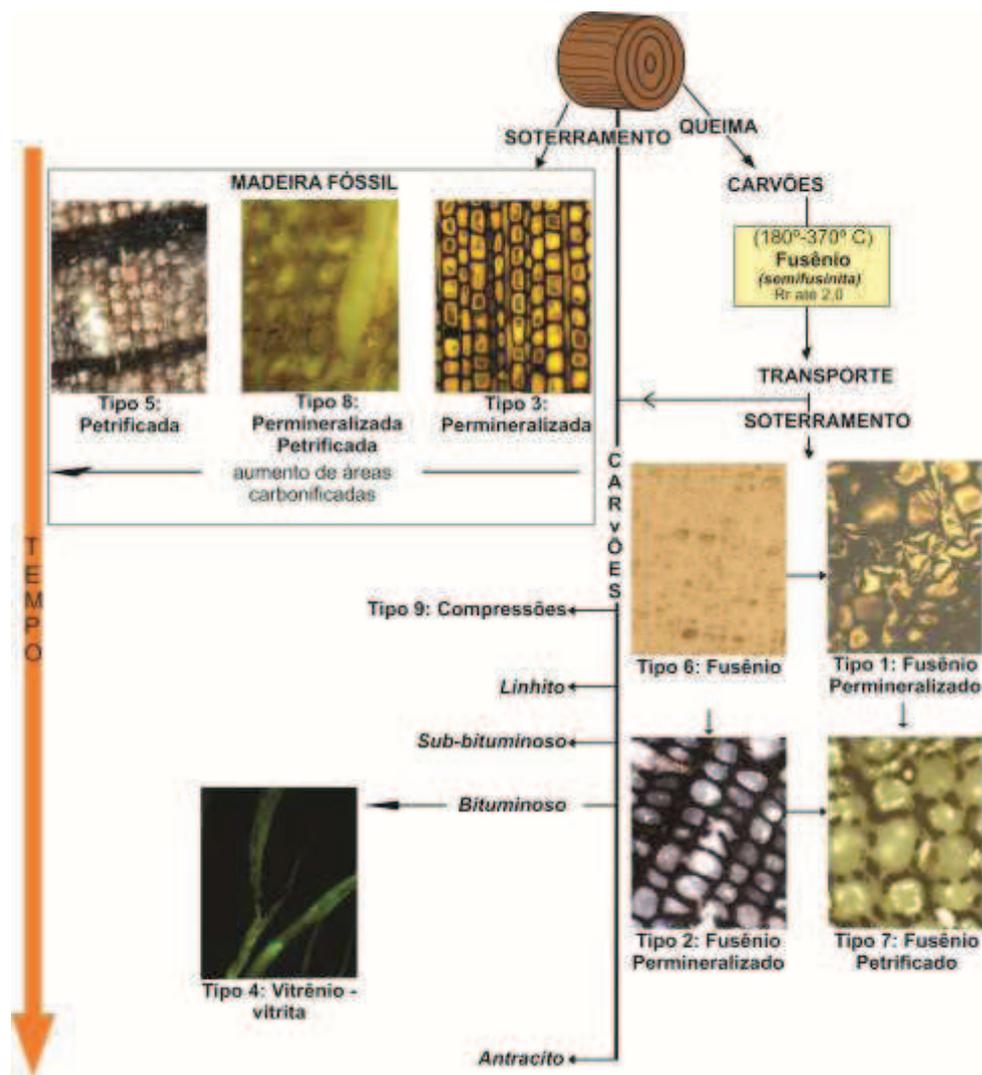


Figura 61 – Síntese dos modos de preservação observados nos fósseis deste estudo e seus processos formadores.

4.3 IDENTIFICAÇÕES

O acesso às características anatômicas ocorreu há apenas dez meses, o que impossibilitou a análise da totalidade das sub-amostras, porém a amostragem para a confecção dos blocos polidos contemplou todas as amostras coletadas, com exceção das compressões.

As análises anatômicas demonstraram que quase a totalidade dos fósseis analisados são fragmentos de lenhos gimnosperâmicos, sendo apenas três de lenhos angiosperâmicos. Muitos dos fósseis gimnosperâmicos não identificados (Tabela 19) não apresentam características anatômicas preservadas, mas alguns não puderam ser identificados pela posição oblíqua dos planos, resultado da movimentação do material durante a inclusão e/ou lixamento oblíquo do bloco, natural pela falta de prática da autora. Como não houve tempo hábil para novo

lixamento e polimento, o material foi incluído na categoria *incertae sedis*, é possível em futuras análises que sejam identificados mais exemplares.

Todos os fósseis gimnospérmicos identificados neste trabalho, com exceção dos pertencentes ao gênero *Agathoxylon*, são registrados como primeiras ocorrências para a Ilha James Ross.

Formação Whisky Bay – Albiano a Coniaciano

Infelizmente, os fósseis não puderam ser identificados pela má preservação das características anatômicas. Porém, há 7 exemplares de fósseis gimnospérmicos e um exemplar de fóssil angiospérmico.

Os lenhos desta idade são pouco estudados na região das Ilhas James Ross e Vega, para o Albiano há o registro de apenas 1 fóssil descrito de *Agathoxylon* (OTTONE & MEDINA, 1998), o Cenomaniano da Ilha James Ross é representado pela descrição da angiosperma *Weinmannioxylon nordenskjoeldii* (POOLE *et al.*, 2000c). Para o Turoniano, não há registros e o Coniaciano é representado principalmente pela angiosperma *Antarctoxylon* (CANTRILL & POOLE, 2005).

A flora fóssil lenhosa da Península Antártica deste intervalo temporal é conhecida através das descrições para a Ilha Alexander (308 fósseis do Albiano) e Ilha Livingston (450 fósseis do Coniaciano), ambas na região de ante-arco, e tem-se que as floras do Albiano eram dominadas por membros das famílias de gimnospermas, Podocarpaceae e Araucariaceae, com menor proporção de Cupressaceae e Taxodiaceae. As primeiras angiospermas surgiram nestas floras a partir do Cenomaniano – Turoniano (CANTRILL & POOLE, 2005).

É necessária a intensificação e insistência das análises dos fósseis da Formação Whisky Bay, uma vez que não há muitos registros para a paleoflora lenhosa da região de retro-arco, que pode ou não ser distinta das floras de ante-arco.

Formação Hidden Lake – Coniaciano

Esta é a Formação que apresenta os fósseis melhor preservados, sendo aqui descritos os lenhos das gimnospermas *Agathoxylon* sp. (1 sub-amostra), *Cupressinoxylon parenchymatosum* (9 sub-amostras), *Taxodioxylon* sp.1 (4 sub-amostras), *Taxodioxylon* sp.2 (5 sub-amostras), *Podocarpoxyylon* sp.1 (7 sub-amostras), *Podocarpoxyylon* sp.2 (1 sub-

amostras) e fósseis não identificados de gimnospermas (33 sub-amostras). As angiospermas, *Paraphyllantoxylon* sp. (1 sub-amostra) e *Weinmannioxylon* sp. (1 sub-amostra).

A composição florística encontrada é corroborada pelos fósseis de gimnospermas descritos para esta idade na Península Antártica. A paleoflora coniaciana era dominada pelo gênero *Podocarpoxyton*, seguido pelos gêneros pertencentes à família Araucariaceae e *Sahnioxylon*; os componentes menos representativos eram os gêneros da família Cupressaceae (*Taxodioxyton* e *Cupressinoxyton*) (CANTRILL & POOLE, 2005).

Já as angiospermas mais representativas eram *Weinmannioxylon* e *Hedycaryoxyton*, porém a mais abundante no registro é *Antarctoxyton* (CANTRILL & POOLE, 2000). A abundância exorbitante de *Antarctoxyton* deve-se às características muito amplas atribuídas a este gênero. Todo fóssil de angiosperma (eudicotiledônea) com relações incertas são atualmente diagnosticados como *Antarctoxyton* (POOLE & CANTRILL, 2001).

Neste estudo, reconhece-se a primeira ocorrência de *Paraphyllantoxylon* sp. para a Península Antártica, este gênero ocorre no Cretáceo do Hemisfério Norte (China, Estados Unidos, Europa, Japão e México) e Hemisfério Sul (África do Sul e Índia). Como a região da Península Antártica era de intercâmbio florístico para o Gondwana (FRANCIS *et al.*, 2006), considera-se plausível a ocorrência deste fóssil para a Ilha James Ross.

Novamente, a flora lenhosa é muito mais conhecida para a região de ante-arco, 450 fósseis analisados para o Coniaciano da Ilha Livingston contra 41 para as Ilhas James Ross e Vega (*Antarctoxyton*). Durante esta idade, a paleoflora lenhosa da região de ante-arco é considerada como uma verdadeira flora mista (CANTRILL & POOLE, 2005).

Formação Santa Marta – Coniaciano tardio a Campaniano

Das 16 sub-amostras coletadas nesta Formação, apenas cinco foram identificadas, todas como a gimnosperma *Phyllocladoxylon antarcticum*. Outras cinco são gimnospermas, mas não puderam ser identificadas.

O gênero identificado pertence à família Podocarpaceae e tem sua primeira ocorrência para o Campaniano médio, tornando-se o elemento mais abundante da flora durante o Maastrichtiano, juntamente com gêneros da família Araucariaceae. Durante este intervalo, os fósseis de *Podocarpoxyton* vão diminuindo a sua frequência e dando lugar aos fósseis da família Araucariaceae, seguidos pelo aumento da ocorrência dos fósseis de *Taxodioxyton* e

Cupressinoxylon, há também o desaparecimento de *Sahnioxylon* durante o Campaniano médio. Entre as angiospermas, os fósseis de eudicotiledôneas lenhosas com relações definidas com as famílias Lauraceae, Illiciaceae, Eucryphiaceae, Atherospermataceae e Nothofagaceae tomam o lugar antes ocupado pelos fósseis descritos como *Antarctoxylon*, sendo este o menor componente da flora até o Campaniano médio e *Nothofagoxylon* o gênero de maior representatividade. Comparativamente com as outras idades do Cretáceo, este intervalo é o mais explorado para as floras das Ilhas James Ross e Vega, contando com 88 fósseis para o Santoniano e 55 para o Campaniano (CANTRILL & POOLE, 2005).

Pela natureza do material, não é possível inferir sobre a abundância dos componentes da flora, uma vez que múltiplas sub-amostras podem fazer parte de um único indivíduo ou não.

Inferências climáticas, como resgate de temperaturas, índices de pluviosidade, quantidade de gás carbônico atmosférico, normalmente resgatados de lenhos fósseis, também não foram possíveis, pois estas informações podem ser obtidas apenas a partir de lenhos provenientes de tronco (WHEELER, 1991). Lenhos originados em galhos sofrem muita influência no crescimento de suas células, inclusive pela ação da gravidade e sua posição na árvore, não refletindo necessariamente condições ambientais (SCHWEINGRUBER, 2007).

5 CONCLUSÕES

- Apesar da demora em acessar as características anatômicas dos fósseis, considera-se que este estudo cumpriu todos os objetivos propostos: foi possível acessar e documentar com clareza e nitidez as características dos lenhos; os fósseis que mantiveram as características anatômicas preservadas foram descritos, identificados e os processos formadores dos fósseis foram diagnosticados.

- A primeira hipótese “todos os fósseis são carvões” é rejeitada, demonstra-se neste estudo que os fósseis são enegrecidos externamente, porém o material não é composto apenas por carvões formados em paleoincêndios. Há também a ocorrência de madeira fóssil permineralizada, petrificada e carvões formados por carbonificação.

- A segunda hipótese “a flora da Ilha James Ross para o Cretáceo era dominada por Angiospermas” também é rejeitada. A maior parte do material é composta por lenhos gimnospérmicos, sendo reconhecidos apenas três exemplares de eudicotiledôneas.

- A terceira hipótese “os estudos destes fragmentos fósseis são importantes para a compreensão da evolução geológica das suas Formações de origem” é corroborada pelos resultados obtidos sobre os modos de preservação. Através destes fósseis lenhosos é possível fazer inferências sobre as condições dos ambientes de sedimentação.

- A primeira contribuição deste trabalho refere-se à técnica utilizada para a análise dos fósseis. A inclusão em bloco polido e observação em luz refletida sob luz branca e ultravioleta, amplamente utilizada na Geologia, mostrou ser excelente também para a análise de lenhos fósseis preservados por permineralização, petrificação, carbonificação e carbonização. A qualidade do acesso às características anatômicas, a relativa rapidez de preparo das amostras, a ausência de desperdício de material e a preservação por tempo indeterminado do material incluído faz deste método o melhor para análises anatômicas de fragmentos fósseis.

- Este trabalho contribui para a compreensão dos modos de preservação dos fósseis lenhosos da Ilha James Ross, bem como para a interação das análises geológicas futuras e a Paleobotânica. A chave dicotômica para reconhecimento dos modos de preservação em campo poderá auxiliar na interpretação das litologias e dos ambientes de sedimentação, uma vez que os fósseis poderão ser analisados como clastos, corretamente interpretados em sua origem. Além disso, as coletas de material serão mais precisas e, através desta ferramenta, serão possíveis as análises tafonômicas em campo.

- As gimnospermas descritas são comuns para a flora da Península Antártica. No entanto, para a Ilha James Ross, todas são descritas pela primeira vez, com exceção de *Agathoxylon* sp.

- A angiosperma *Weinmannioxylon* sp. é comum para a flora da Península Antártica, no entanto, *Paraphyllantoxylon* sp. é reconhecida apenas para o Cretáceo da África do Sul e Índia, sendo sua primeira ocorrência para a Península Antártica.

- Este trabalho demonstra que o material pode ser uma fonte importante de dados, mas para isso será necessária a continuação das análises. Para que sejam possíveis as interpretações dos ambientes de sedimentação e dos processos tafonômicos envolvidos na formação dos fósseis, é necessário que se faça a estimativa dos diâmetros mínimos das amostras, análises em difração de raio-X, análises químicas como quantificação de carbono. Ainda, análise apurada das rochas das Formações. A continuidade na observação anatômica dos fósseis também é importante, possivelmente mais amostras serão identificadas.

- A intensificação das pesquisas de material vegetal, proveniente das Formações Whisky Bay, Hidden Lake e Santa Marta, é de grande importância para a melhoria do conhecimento sobre a flora da região de retro-arco, muito pouco explorada se comparada com a região de ante-arco. A comparação entre as regiões se faz necessária, já que essas floras não precisam ser idênticas, afinal durante o Cretáceo havia um arco magmático ativo entre elas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- A.P.G. [= Angiosperm Phylogeny Group] III. 2009. An update of the Angiosperm Phylogeny Group classification for the orders and families of flowering plants: APG III. **Bot. J. Linnean Soc.** **161**: 105-121.
- ANDERSON, J.M.; ANDERSON, H.M.; ARCHANGELSKY, S.; BAMFORD, M.; CHANDRA, S.; DETTMANN, M.; HILL, R.; MCLOUGHLIN, S.; RÖSLER, O. 1999. Patterns of Gondwana plant colonisation and diversification. **Journal of African Earth Sciences** **28(1)**: 145-167.
- ANGELES, G. 2001. New techniques for the anatomical study of charcoalfied wood. **IAWA Journal** **22 (3)**: 245–254.
- ASHWORTH, A.; CANTRILL, D.J. 2004. Neogene vegetation of the Meyer Desert Formation (Sirius Group) Transantarctic Mountains, Antarctica. **Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology**, **213**, 65-82.
- AXELROD, D.I. 1984. An interpretation of Cretaceous and Tertiary biota in polar regions. **Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology** **45**:105-147.
- BAMFORD, M.K.; PHILIPPE, M. 2001. Jurassic – Early Cretaceous Gondwanan homoxylous woods: a nomenclatural revision of the genera with taxonomic notes. **Review of Palaeobotany and Palynology** **113**: 287-297.
- BAMFORD, M.K.; ROBERTS, E.M.; FAMORYSISSOKO, B.; MAMADOU, L.; BOUARE, C.; MAUREEN, D.; O’LEARY, A. 2002. An extensive deposit of fossil conifer wood from the Mesozoic of Mali, southern Sahara. **Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology** **186**: 115-126.
- BARALE, G.; PHILIPPE, M.; TORRES, T.; COVACEVICH, V. 1994. Triassic floras from Williams Point, Livingston Island (South Shetland Islands, Northern Antarctica). **C.R. Acad. Sci. Paris** **319(II)**: 141-147.
- BARALE, G.; PHILIPPE, M.; TORRES, T.; THEVENARD, F. 1995. Reappraisal of the Triassic flora from Williams Point, Livingston Island, South Shetland Islands, Antarctica: Systematical, biostratigraphical and paleogeographical implications. **Serie Científica INACH** **45**: 9-38.
- BENITES, E.J.F.; RENDEIROS, G.; NOGUEIRA, M. 2010. **Utilização de Carvão e Subprodutos da carbonização vegetal na Agricultura: Aprendendo com as Terras Pretas de Índio**. Acessado em: http://www.biochar.org/joomla/images/stories/Cap_22_Vinicius.pdf, último acesso: março de 2012.
- BIDLACK, J.; MALONE, M.; BENSON, R. 1992. Molecular Structure and Component Integration of Secondary Cell Walls in Plants. **Proc. Okla. Acad. Sci.** **72**:51-56.
- BOLZON, R.T.; SILVA, J.L.S.; MACHADO, L.G. 2004. Fossildiagênese de lenhos do Mesozóico do Estado do Rio Grande do Sul, Brasil. **Revista Brasileira de Paleontologia** **7(2)**:103-110.
- BROWN, R.E.; SCOTT, A.C.; JONES, T.P. 1994. Taphonomy of plant fossils from the Viséan of East Kirkton, West Lothian, Scotland. **Transactions of the Royal Society of Edinburgh: Earth Sciences** **84**: 267-274.
- BUCHER, K.; GRAPES, R. 2011. **Petrogenesis of Metamorphic Rocks**. Elsevier. Springer-Verlag. Pp. 420.
- CANTRILL, D.J. 2000. A petrified cycad trunk from the Late Cretaceous of the Larsen Basin, Antarctica. **Alcheringa** **24(4)**: 307-318.
- CANTRILL, D.J.; POOLE, I. 2005. Taxonomic turnover and abundance in Cretaceous to Tertiary wood floras of Antarctica: implications for changes in forest ecology. **Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology** **215**: 205-219.

- CARLQUIST, S. 1985. Observations on functional wood histology of vines and lianas: vessel dimorphism, tracheids, vasicentric tracheids, narrow vessels, and parenchyma. **Aliso** **11**: 139-157.
- CÉSARI, S.N.; MARENSSI, S.A.; SANTILLANA, S.N. 2001. Conifers from the Upper Cretaceous of Cape Lamb, Vega Island, Antarctica. **Cretaceous Research** **22**: 309-319.
- CHALONER, W.G.; McELWAIN, J. 1997. The fossil plant record and global climatic change. **Review of Palaeobotany and Palynology** **95**, 73-82.
- CHAPMAN, J.L.; SMELLIE, J.L. 1992. Cretaceous fossil wood and palynomorphs from Williams Point, Livingston Island, Antarctic Peninsula. **Review of Palaeobotany and Palynology**, **74**: 163-192.
- CLIMANTICA. 2011. Procesos fisicoquímicos y bioquímicos para la formación del carbón en las cuencas. <http://unidades.climantica.org/es/unidades/02/consecuencias-dos-combustibles-fosiles/o-carbon-orixe-e-formacion/3>. Último acceso: março/2012.
- CRAME, J.A. 1992. Late Cretaceous palaeoenvironments and biotas: an Antarctic perspective. **Antarctic Science** **4**(4), 371-382.
- CRAME, J.A., LOMAS, S.A., PIRRIE, D.; LUTHER, A. 1996. Late Cretaceous extinction patterns in Antarctica. **Journal of the Geological Society** **153**, 503-506.
- CRAME, J.A., PIRRIE, D.; RIDDING, J.B. 2006. Mid-Cretaceous stratigraphy of the James Ross Basin, Antarctica. In: **Cretaceous-Tertiary high-latitude palaeoenvironments, James Ross Basin, Antarctica**. Francis, J.E., Pirrie, D., Crame, J.A. (Eds), The Geological Society, London, pp 7-20.
- DEL VALLE, R.A.; FOURCADE, N.H. 1992. Sedimentary basins on the east flank of the Antarctic Peninsula: proposed nomenclature. **Antarctic Science** **4**, 477-478.
- DETTMANN, M.E.; THOMSON, M.R.A. 1987. Cretaceous palynomorphs from the James Ross Island area, Antarctica - a pilot study. **British Antarctic Survey, Bulletin**, **77**, 13-59.
- DOYLE, J.A.; DONOGHUE, M.J. 1993. Phylogenies and angiosperm diversification. **Paleobiology** **19**:141-167.
- DUSEN, P. (1908): Über die Tertiäre flora der Seymour-Insel. **Wiss. Ergebn. Schwed. Sudpol. Exped.(1901-03)****3**: 1-27.
- DUTRA, T.L.; BATTEN, D.J. 2000. Upper Cretaceous floras of King George Island, West Antarctica, and their palaeoenvironmental and phytogeographic implications. **Cretaceous Research** **21**: 181-209.
- ECKENWALDER, J.E. 2009. **Conifers of the World**. Timber Press, Portland. Pp. 77 – 630.
- EKLUND, H.; CANTRILL, D.J.; FRANCIS, J.E. 2004. Late Cretaceous plant mesofossils from Table Nunatak, Antarctica. **Cretaceous Research** **25**, 211-218.
- ESTRADA-RUIZ, E; MARTÍNEZ-CABRERA, H.I.; CEVALLOS-FERRIZ, S.R.S. 2010. Upper Cretaceous woods from the Olmos Formation (Late Campanian – Early Maastrichtian), Coahuila, Mexico. **American Journal of Botany** **97**(7): 1179–1194.
- FALCON-LANG, H.J.; CANTRILL, D.J. 2000. Cretaceous (Late Albian) Coniferales of Alexander Island, Antarctica. I. Wood taxonomy. **Review of Palaeobotany Palynology**, **111**: 1-17.
- FALCON-LANG, H.J.; CANTRILL, D.J. 2001. Gymnosperm woods from the Cretaceous (mid-Aptian) Cerro Negro Formation, Byers Peninsula, Livingston Island, Antarctica: The arborescent vegetation of a volcanic arc. **Cretaceous Research** **22**, 277-293.
- FALCON-LANG, H.J.; CANTRILL, D.J.; NICHOLS, G.J. 2001. Biodiversity and terrestrial ecology of a mid-Cretaceous, high-latitude floodplain, Alexander Island, Antarctica. **Journal of Geology Society of London** **158**:709-725.

- FALCON-LANG, H.J; CANTRILL, D.J. 2002. Terrestrial palaeoecology of an Early Cretaceous volcanic archipelago, Byers Peninsula and President Head, South Shetlands Islands, Antarctica. **Palaios** 17:535-549.
- FARJON, A. 2001. **World checklist and bibliography of conifers**. The Royal Botanic Garden, Kew, 2^a Ed. pp.
- FARQUHARSON, G.W. 1984. Late Mesozoic non-marine conglomerate sequences of the northern Antarctic Peninsula (The Botany Bay Group). **British Antarctic Survey Bulletin**, 65: 1-32.
- FENG, X.X.; YI, T.M.; JIN, J.H. 2010. First record of Paraphyllanthoxylon from China. **IAWA Journal**, 31 (1): 89–94.
- FIGUEIRAL, I.; MOSBRUGGER, V. 2000. A review of charcoal analysis as a tool for assessing Quaternary and Tertiary environments: achievements and limits. **Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology** 164, 397–407.
- FOWERAKER, E.C. 1934. The distribution of the podocarpaceae. *Te Kura Ngahere*, 3(4): 160–165.
- FRAKES. A. 1979. **Climates throughout geologic time**. Elsevier. Amsterdam. 310p.
- FRANCIS, J. E. 1986. Growth rings in Cretaceous and Tertiary wood from Antarctica and their paleoclimatic implications. **Palaeontology** 29(4): 665-684.
- FRANCIS, J. E. 2000. Fossil wood from Eocene high latitude forests, McMurdo Sound, Antarctic. *In: Paleobiology and Palaeoenvironments of Eocene Rocks, McMurdo Sound, East Antarctica*. Stilwell, J. D. ; Feldmann, R. M. (eds.). Antarctic Research Series 76:253-260. American Geophysical Union. Washington, D.C.
- FRANCIS, J. E. AND HILL, R.S. 1996. Pliocene Fossil Plants from the Transantarctic Mountains: Evidence for Climate from Growth Rings and Fossil Leaves. **PALAIOS Special Thematic Issue on 'Skeletal records of ecologic change'**, 11: 389-39.
- FRANCIS, J.E.; COFFIN, M.F. 1992. Cretaceous fossil wood from the Raggatt Basin, Southern Kerguelen Plateau (Site 750). **Proceedings of the Ocean Drilling Program, Scientific Results, Vol. 120**.
- FRANCIS, J.E.; CRAME, J.A.; PIRRIE, D. 2006. Cretaceous-Tertiary high-latitude palaeoenvironments, James Ross Basin, Antarctica: introduction. *In: Cretaceous-Tertiary high-latitude palaeoenvironments, James Ross Basin, Antarctica*, Francis, J.E., Pirrie, D., Crame, J.A. (Eds). The Geological Society, London, pp 1-6.
- FRANCIS, J.E.; FRAKES, L.A. 1993. Cretaceous climates. **Sedimentol. Rev.** 1:17-30.
- FRANCIS, J.E.; MARENSSI, S.; LEVY, R.; HAMBREY, M.; THORN, V. C.; MOHR, B.; BRINKHUIS, H.; WARNAAR, J.; ZACHOS, J.; BOHATY, S; DECONTO, R. 2008. From Greenhouse to Icehouse – The Eocene/Oligocene in Antarctica. *In: Developments in Earth & Environmental Sciences*. F. Florindo, F. ; Siebert, M. (Eds.) Elsevier. Pp. 309 -367.
- FRANCIS, J.E.; POOLE, I. 2002. Cretaceous and early Tertiary climates of Antarctica: evidence from fossil wood. **Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology** 182, 47-64.
- FRIIS , E. M.; SKARBY, A. 1981. Structurally preserved angiosperm flowers from the Upper Cretaceous of southern Sweden. **Nature** 291 : 485 – 486.
- GARCIA-GUINEA, J.; MARTINEZ-FRÍAS, J.; HARFFY, M. 1998. Cell-Hosted Pyrite Framboids in Fossil Woods. **Naturwissenschaften** 85, 78–81.
- GASTALDO, R. A. (ed.). 1989. Plant Taphonomy— Organic Sedimentary Processes. **Special Issue Review of Palaeobotany and Palynology** 58: 1 – 94.
- GERARDS, T.; DAMBLON, F.; WAUTHOZ, B.; GERRIENNE, P. 2007. Comparison of cross-field pitting in fresh, dried and charcoaled softwoods. **IAWA Journal**, 28 (1): 49–60.

- GLASSPOOL, I.J.; EDWARDS, D.; AXE, L., 2004. Charcoal in the Silurian as evidence for the earliest wildfire. **Geology** **32**, 381–383.
- GOTHAN, W. 1908. Die fossilen Holzer von der Seymour und Snow Hill-Insel. **Wiss. Ergebn. Schwed. Sudpol. Exped. (1901-03)****3**: 1-33.
- GREENWOOD, D.R. 2005. Miocene wood from the LaTrobe Valley coal measures, Victoria, Australia. **Alcheringa** **29**: 351-363.
- HALLAM, A. 1985. A review of Mesozoic climates. **Journal of the Geological Society**, **142**: 433-445.
- HAMBREY, M. J.; SMELLIE, J. L. 2006. Distribution, lithofacies and environmental context of Neogene glacial sequences on James Ross and Vega islands, Antarctic Peninsula. In: **Cretaceous-Tertiary high-latitude palaeoenvironments, James Ross Basin, Antarctica**, Francis, J.E., Pirrie, D., Crame, J.A. (Eds). The Geological Society, London, pp 187-201.
- HAMMER, O; HARPER, D.A.T. 2006. **Paleontological data analysis**. Blackwell Publishing. Pp. 370.
- HAMMER, O; HARPER, D.A.T.; RYAN, P.D. 2001. PAST: Paleontological Statistics Software package for education and data analysis. **Palaeontologia Electronica** **4(1)**: 9pp.
- HARLAND, M.; FRANCIS, J.E.; BRETNALL, S.J.; BEERLING, D.J. 2007. Cretaceous (Albian–Aptian) conifer wood from Northern Hemisphere high latitudes: Forest composition and palaeoclimate. **Review of Palaeobotany and Palynology** **143**: 167–196.
- HARLING, G. 1999. Cunoniaceae. In: **Flora de Ecuador**, G. Harling & L. Anderson (Eds.) 61: 1–74.
- HASS, H.; ROWE, N.P. 1999. Thin sections and wafering . In: **Fossil Plants and Spores: Modern Techniques**. T. P. Jones, N. P. Rowe (eds). The Geological Society , London. Pp. 76 – 81.
- HATHWAY, B., 2000. Continental rift to back-arc basin: Jurassic-Cretaceous stratigraphical and structural evolution of the Larsen Basin, Antarctic Peninsula. **Journal of Geological Society** **157**, 417-432.
- HATHWAY, B.; RIDING, J.B. 2001. Stratigraphy and age of the Lower Cretaceous Pedersen Formation, northern Antarctic Peninsula. **Antarctic Science**, **13**: 67-74.
- HERENDEEN, P.S. 1991. Lauraceous wood from the mid-Cretaceous Potomac group of eastern North America: *Paraphyllanthoxylon marylandense* sp. nov. **Review of Palaeobotany and Palynology**, **69**: 277-290.
- HUNT, J.M. 1995. **Petroleum Geochemistry and Geology**. Second Edition. W.H. Freeman & Co, USA, pp 361-365.
- IAWA COMITEE 1989. International Association of Wood Anatomists. List of microscopic features for hardwood identification. **IAWA Bulletin** **10**: 220-332.
- IAWA COMITEE 2004. International Association of Wood Anatomists. IAWA List of Microscopic Features for Softwood Identification. In: Richter, H.G., Grosser, D., Heinz, I., Gasson, P.E. (Eds), **IAWA Journal** **25(1)**, 1-70.
- ICCP – International Committee for Coal and Organic Petrology. 2001. The new inertinite classification (ICCP System 1994). **Fuel** **80**, 459– 471.
- ICCP – International Committee for Coal Petrology. 1971. **International Handbook of Coal Petrography**, Supplement to the 2nd edn. Centre National de la Recherche Scientifique.
- INERSON, J.R.; CRAME, J.A.; THOMSON, M.R.A. 1986. Lithostratigraphy of the Cretaceous strata of west James Ross Island. **Cretaceous Research** **7**, 141-159.
- INSIDEWOOD. 2004-onwards. Publicado na Internet. <http://insidewood.lib.ncsu.edu/search> [último acesso: 02/ 2012].

- JASPER, A.; UHL, D.; GUERRA-SOMMER, M.; HAMAD, A.M.B. ABU; MACHADO, N.T.G. 2011. Charcoal remains from a tonstein layer in the Faxinal Coalfield, a Lower Permian coal succession in Southern Paraná Basin, Brazil. **Anais da Academia Brasileira de Ciências** **83**:471-481.
- JEFFERSON, T.H. 1982. Fossil forests from the lower Cretaceous of Alexander Island, Antarctica. **Palaeontology** **25**(4): 681-708.
- JEFFERSON, T.H. 1987. The preservation of conifer wood: examples from the lower Cretaceous of Antarctica. **Palaeontology** **30**(2): 233-249.
- JONES, T.P.; ASH, S.; FIGUEIRAL, I. 2002. Late Triassic charcoal from Petrified Forest National Park, Arizona, USA. **Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology** **188**, 127-139.
- JONES, T.P.; CHALONER, W.G. 1991. Fossil charcoal, its recognition and palaeoatmospheric significance. **Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology (Global and Planetary Change Section)** **97**, 39-50.
- JONES, T.P.; SCOTT, A.C.; MATTEY, D.P. 1993. Investigations of “fusain transition fossils” from the Lower Carboniferous: Comparisons with modern partially charred wood. **Internat. J. Coal Geol.** **22**:37-59.
- KABE, T.; ISHIHARA, A.; QIAN, E.W.; SUTRISNA, I.P.; KABE, Y. 2004. **Coal and coal-related compounds: structures, reactivity and catalytic reactions**. Kodansha & Elsevier. Pp. 315.
- KALKREUTH, W. 1997. **Geologia do Carvão**. Porto Alegre, Brasil: apostila do Curso de pós-graduação em geociências.
- KENRICK, P.; CRANE, P.R. 1997. The origin and early evolution of plants on land. **Nature** **389**: 33-39.
- KRASSILOV, V.A. 1978. Araucariaceae as indicators of climate and palaeolatitudes. **Review of Palaeobotany and Palynology**, **26**: 113-124.
- KUNTZMAN, L. 2007. Araucariaceae (Pinopsida): Aspects in palaeobiogeography and palaeobiodiversity in the Mesozoic. **Zoologischer Anzeiger** **246**: 257-277.
- KWIECINSKA, B; PETERSEN, H.I. 2004. Graphite, semi-graphite, natural coke, and natural char classification—ICCP system. **International Journal of Coal Geology** **57**: 99-116.
- LEMOIGNE, Y.; TORRES, T. 1988. Sahnioxylon antarcticum n.sp. et interprétation de la double zonation des bois secondaires du genre de structure Sahnioxylon Bose et Sah. **C.R. Acad. Sci. Paris.** **306**(II): 939-945.
- LENEY, L.; CASTEEL, R.W. 1975. Simplified procedure for examining charcoal specimens for identification. **Journal of Archaeological Science** **2**: 153-159.
- LEO, R.F.; BARGHOORN, E.S. 1976. Silicification of Wood. **Botanical Museum Leaflets, Harvard University**, **25**(1).
- LEWANDOWSKI, J.H. 2009. **Petrologia e geoquímica das camadas de carvão e sua relação com gás natural determinado no poço CBM 001-ST-RS, Bacia do Paraná**. Dissertação. Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
- MACIEL, M.B.C. 2011. **Análise palinofaciológica da Formação Hidden Lake (Coniaciano - Cretáceo), Bacia Larsen, Ilha James Ross, Península Antártica**. Dissertação. Universidade Federal do Rio de Janeiro.
- MANCHESTER, S.R.; WHEELER, E.A. 1993. Extinct Juglandaceous wood from the Eocene of Oregon and its implications for xylem evolution in the Juglandaceae. **IAWA Journal**, **14** (1): 103 -111.
- MENDONÇA FILHO, J.G.; ARAUJO, C.V.; BORREGO, A.G.; COOK, A.; FLORES, D.; HACKLEY, P.; HOWER, J.C.; KERN, M.L.; KOMMEREN, K.; KUS, J.; MASTALERZ, M.; MENDONÇA, J.O.; MENEZES, T.R.; NEWMAN, J.; RANASINGHE, P.; SOUZA, I.V.A.F.; SUAREZ-RUIZ, I.; UJIÉ, Y. 2010. Effect of

- concentration of dispersed organic matter on optical maturity parameters: Interlaboratory results of the organic matter concentration working group of the ICCP. **International Journal of Coal Geology** **84**, 154-165.
- MERLOTTI, S. 2011. Método de estudo paleoanatómico aplicado à taxonomia de lenhos gimnospérmicos gondvânicos (Paleozóico Superior). **Pesquisas em Geociências**, **38 (1): 29-53**.
- NISHIDA, M. 1981. Petrified woods from the Tertiary of Quiriquina Island (a preliminary report). *In: A report of the paleobotanical survey to southern Chile*. Nishida, M. (Ed.), Faculty of Science, Chiba University, Chiba. Pp. 38-40.
- NISHIDA, M. 1984. The anatomy and affinities of the petrified plants from the Tertiary of Chile II. Araucarioxylon from Quiriquina Island, near Concepción. *In: Contributions to the botany in the Andes I*. Nishida, M. (Ed.), Academia Scientific Book, Tokyo. Pp. 87-90.
- NISHIDA, M.; KAZUHIKO, U.; TERADA, K; YAMADA, T.; HERRERA, M.R.; HINOJOSA, L.F. 2006. Preliminary report on permineralized plant remains possibly from the paleocene Chorrillo Chico Formation, Magallanes Region, Chile. *In: Post-Cretaceous floristic changes in Southern Patagonia, Chile*. Nishida, M. (Ed.), Faculty of Science and Engineering, Chuo University, Tokyo. Pp. 11-28.
- NISHIDA, M.; NISHIDA, H.; OHSAWA, T. 1989. Comparison of the petrified woods from the Cretaceous and Tertiary of Antarctica and Patagonia. **Proc. NIPR Symp. Polar Biol.** **2: 198-212**.
- NISHIDA, M.; OHSAWA, T.; RANCUSI, M. 1990. Miscellaneous notes on the petrified coniferous woods from central Chilean Patagonia, XI Region, Chile. *In: A report of the paleobotanical survey to Patagonia, Chile*. Nishida, M. (Ed.), Faculty of Science, Chiba University, Chiba. Pp. 21-29.
- NORDT, L.; ATCHLEY, S.; DWORKIN, S.I. 2002. Paleosol barometer indicates extreme fluctuations in atmospheric CO₂ across the Cretaceous-Tertiary boundary. **Geology** **30:703-706**.
- OTTONE, E.G.; MEDINA, F.A. 1998. A wood from the early Cretaceous of James Ross Island, Antarctica. **Ameghiana** **35: 291-298**.
- PANTI, C.; PUJANA, R.R.; ZAMALOA, M.C. & ROMERO, E.J. 2012. Araucariaceae macrofossil record from South America and Antarctica. **Alcheringa** **36(1):1-22**.
- PETRIELLA, B. 1972. Estudio de maderas petrificadas del Terciario inferior del area central de Chubut (Cerro Bororo). **Rev. Mus. Plata Sección Paleontología** **6: 159-254**.
- PHILIPPE, M. 2011. How many species of Araucarioxylon? **Comptes Rendus Palevol** **10: 201-208**.
- PHILIPPE, M., 1993. Nomenclature générique des trachéidoxyles mésozoïques à champs araucarioïdes. **Taxon** **42, 74-80**.
- PHILIPPE, M.; BAMFORD, M.K. 2008. A key to morphogenera used for Mesozoic conifer-like woods. **Review of Palaeobotany and Palynology** **148: 184-207**.
- PHILIPPE, M.; BARALE, G; COVACEVICH, V; TORRES, T. 1993. First study of in situ fossil woods from the Upper Cretaceous of Livingston Island, South Shetland Islands, Antarctica: palaeoecological investigations. **C.R. Acad. Sci. Paris** **317(11): 103-108**.
- PHILIPPE, M.; TORRES, T.; BARALE, G; THEVENARD, F. 1995. President Head, Snow Island, a key point for Antarctic Mesozoic Paleobotany. **C.R. Acad. Sci. Paris** **321(IIA): 1055-1061**.
- PHILIPPE, M.; TORRES, T.; ZHANG, W.; ZHENG, S. 1999. *Sahnioxylon*, bois mésozoïque à aire disjointe: Chine, Inde et Antarctique occidentale. **Bull. Soc. Géol. France** **170(4): 513-519**.

- PHILIPPE, M.; BAMFORD, M.K.; MCLOUGHLIN, S.; ALVES, L.S.R.; FALCON-LANG, H.J.; GNAEDINGER, S.; OTTONE, E.G.; POLE, M.; RAJANIKANTH, A.; SHOEMAKER, R.E.; TORRES, T.; ZAMUNER, A. 2004. Biogeographic analysis of Jurassic–Early Cretaceous wood assemblages from Gondwana. **Review of Palaeobotany and Palynology** **129**: 141–173.
- PIRRIE, D. 1989. Shallow marine sedimentation within an active margin basin, James Ross Basin, Antarctica. **Sediment. Geol.** **63**:61-82.
- PIRRIE, D.; DITCHFIELD, P.W.; MARSHALL, J.D. 1994. Burial diagenesis and pore-fluid evolution in a Mesozoic back-arc basin: The Marambio Group, Vega Island, Antarctica. **Journal of Sedimentary Research**, **A64(3)**: 541-522.
- PIRRIE, D.; DUANE, A.M.; RIDING, J.B. 1992. Jurassic-Tertiary stratigraphy and palynology of the James Ross Basin: review and introduction. **Antarctic Science** **4(3)**: 259-266.
- POOLE I.; VAN BERGEN, P.F. 2006. Physiognomic and chemical characters in wood as palaeoclimate proxies. **Plant Ecology**. **182**: 175-195.
- POOLE, I. 2000. Fossil angiosperm wood: its role in the reconstruction of biodiversity and palaeoenvironment. **Botanical Journal of the Linnean Society** **134**: 361-381.
- POOLE, I.; CANTRILL, D.J. 2001. Fossil woods from Williams Point Beds, Livingston Island, Antarctica: a late Cretaceous southern high latitude flora. **Palaeontology** **44(6)**:1081-1112.
- POOLE, I.; CANTRILL, D.J.; HAYES, P.; FRANCIS, J.E. 2000c. The fossil record of Cunoniaceae: new evidence from late Cretaceous wood of Antarctica? **Review of Palaeobotany and Palynology** **111**: 127-144.
- POOLE, I.; CANTRILL, D.J.; UTESCHER, T. 2005. A multi-proxy approach to determine Antarctic terrestrial palaeoclimate during the Late Cretaceous and Early Tertiary. **Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology** **222**: 95–121.
- POOLE, I.; DOLEZYCH, M.; KOOL, J.; VAN DER BURGH, J.; VAN BERGEN, P.F. 2006. Do stable carbon isotopes of brown coal woods record changes in Miocene palaeoecology? **Palaeogeography, Palaeoecology, Palaeoclimatolog** **236**: 345-354.
- POOLE, I.; FRANCIS, J.E. 1999. The first record of fossil atherospermataceous wood from the upper Cretaceous of Antarctica. **Review of Palaeobotany and Palynology** **107**: 97–107.
- POOLE, I.; FRANCIS, J.E. 2000. The First Record of Fossil Wood of Winteraceae from the Upper Cretaceous of Antarctica. **Annals of Botany** **85**: 307-315.
- POOLE, I.; GOTTWALD, H. 2001. Monimiaceae *sensu lato*, an element of Gondwanan polar forests: Evidence from the late Cretaceous-early tertiary wood flora of Antarctica. **Australian Systematic Botany** **14**: 207–230.
- POOLE, I.; GOTTWALD, H.; FRANCIS, J.E. 2000a. *Illicioxylon*, an Element of Gondwanan Polar Forests? Late Cretaceous and Early Tertiary Woods of Antarctica. **Annals of Botany** **86**: 421-432.
- POOLE, I.; HUNT, R.J.; CANTRILL, D.J. 2001. A fossil wood flora from King George Island: ecological implications for an antarctic Eocene vegetation. **Annals of Botany** **88**: 33-54.
- POOLE, I.; MENNEGA, A.M.W.; CANTRILL, D.J. 2003. Valdivian ecosystems in the late Cretaceous and early Tertiary of Antarctica: further evidence from myrtaceous and eucryphiaceous fossil wood. **Review of Palaeobotany and Palynology** **124**: 9-27.
- POOLE, I.; RICHTER, H.G.; FRANCIS, J.E. 2000b. Evidence for Gondwanan origins of *Sassafras* (Lauraceae)? Late Cretaceous fossil woos of Antarctica. **IAWA Journal** **21(4)**: 463–475.
- PYNE, S.J.; ANDREWS, P.L.; LAVEN, R.D., 1996. **Introduction to Wildland Fire**. J. Wiley and Sons, New York. 769 pp.
- RAVEN, P.H.; EVERT, R.F.; EICHHORN, S.E. 1999. **Biology of Plants**. Sixth Edition edition. W. H. Freeman Publishers.

- READ, J.; FRANCIS, J. 1992. Responses of some Southern Hemisphere tree species to a prolonged dark period and their implications for high-latitude Cretaceous and Tertiary floras. **Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology** **99**:271-290.
- REES, P. M. 1993. Caytoniales in Early Jurassic floras from Antarctica. **Geobios** **26** : 33 – 42.
- REES, P. M.; CLEAL, C.J. 2004. Lower Jurassic floras from Hope Bay and Botany Bay, Antarctica. **Special Papers in Palaeontology** **72**: 5 – 90.
- RIDING, J.B.; CRAME, J.A. 2002. Aptian to Coniacian (Early-Late Cretaceous) palynostratigraphy of the Gustav Group, James Ross Basin, Antarctica. **Cretaceous Research**, **23**: 739-760.
- SANDER, P.M., GEE, C.T., 1990. Fossil charcoal: techniques and applications. **Review of Palaeobotany and Palynology** **63**, 269-279.
- SCHWEINGRUBER, F.H. 2007. **Wood structure and environment**. Springer - Verlag, Berlin.
- SCOTT, A.C. 1989. Observations on the nature and origin of fusain. **International Journal of Coal Geology**, **12**: 443-475.
- SCOTT, A.C. 2000. The pre-Quaternary history of fire. **Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology** **164**, 281-329.
- SCOTT, A.C. 2009. Forest fire in the fossil record. In: **Fire Effects on Soils and Restoration Strategies**. Cerdà, A., Robichaud, P. (Eds.), Science Publishers Inc., New Hampshire, pp. 1–37.
- SCOTT, A.C. 2010. Charcoal recognition, taphonomy and uses in palaeoenvironmental analysis. **Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology** **291**, 11-39.
- SCOTT, A.C. AND JONES, T.P. 1991. Microscopical observations of recent and fossil charcoal. **Microsc. Anal.**, **24**: 13-15.
- SCOTT, A.C.; CONLINSON, M. 2003. Non-destructive multiple approaches to interpret the preservation of plant fossils: implications for calcium-rich permineralizations. **Journal of the Geological Society** **160**: 857–862.
- SCOTT, A.C.; DAMBLON, F. 2010. Charcoal: Taphonomy and significance in geology, botany and archaeology. **Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology** **291**, 1–10.
- SCOTT, A.C.; GLASSPOOL, I.J. 2007. Observations and experiments on the origin and formation of inertinite group macerals. **International Journal of Coal Geology** **70**, 55-66.
- SCURFIELD, G. 1979. Wood petrification: an aspect of biomineralogy. **Aust. J. Bot.**, **27**: 377-390.
- SCURFIELD, G.; SEGNET, E.R. 1984. Petrification of wood by silica minerals. **Sedimentary Geology**, **39**: 149-167.
- SJÖSTRÖM, E. 1993. **Wood Chemistry: Fundamentals and Applications**. Academic Press.
- SMITH, F.H.; GANNON, B.L. 1972. Sectioning of charcoals and dry ancient woods. **American Antiquity** **38**, 468-472.
- SOLTIS, P.S.; SOLTIS, D.E. 2004. The origin and diversification of Angiosperms. **American Journal of Botany** **91** (10):1614 –1626.
- SPICER, R.A.; AHLBERG, A.; HERMAN, A.B.; KELLEY, S.P.; RAIKEVICH, M.I.; REES, P.M. 2002. Palaeoenvironment and ecology of the middle Cretaceous Grebenka flora of northeastern Asia. **Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology**, **184**, 65-105.
- SPICER, R.A.; CHAPMAN, J.L. 1990. Climate change and the evolution of high-latitude terrestrial vegetation and floras. **Trends Ecol. Evol.** **5**: 279-284.
- SPICER, R.A.; PARRISH, J.T.; GRANT, P.R. 1992. Evolution of vegetation and coal-forming environments in the late Cretaceous of North Slope of Alaska. In: **Controls on the**

- Distribution and Quality of Cretaceous Coals.** McCabe, P.J.; Parrish, J.T. (Eds.). Geol. Soc. Am., Spec. Paper 267:177-192.
- STACH, E. 1982. The lithotypes of humic and sapropelic coals. *In: Textbook of Coal Petrography.* Stach, E.; Mackowsky, M.Th.; Teichmüller, M.; Taylor, G.H.; Chandra, D.; Teichmüller, R. (Eds.), Borntraeger, Stuttgart, 535 pp.
- STACH, E.; MACKOWSKY, M.TH.; TEICHMÜLLER, M.; TAYLOR, G.H.; CHANDRA, D.; TEICHMÜLLER, R. 1975. **Textbook of Coal Petrography.** Borntraeger, Stuttgart, 428 pp.
- STEVENS, P. F. 2001-onwards. Angiosperm Phylogeny Website. Version 9, June 2008. <http://www.mobot.org/MOBOT/research/APweb/>.(último acesso: março/2012).
- STOCKEY, R.A. 1994. Mesozoic Araucariaceae: morphology and systematic relationships. **J. Plant Res.** 107, 493–502.
- STUBBLEFIELD, S.P.; TAYLOR, T.N. 1986. Wood decay in silicified Gymnosperms from Antarctica. **Botanical Gazette** 147(1): 116-125.
- SUAREZ-RUIZ, I. & WARD, C.R. 2008. Basic Factors Controlling Coal Quality and Technological Behavior of Coal. *In: Applied Coal Petrology: The Role of Petrology in Coal Utilization.* Suárez-Ruiz, I.; Crelling, J.C. (Eds.).Elsevier. pp. 9-59.
- SÜSS, H.; SCHULTKA, S. 2001. First record of Glyptostroboxylon from the upper Jurassic of Tendaguru, Tanzania. Botanical Journal of the upper Jurassic of Tendaguru, Tanzania. **Botanical Journal of the Linnean Society** 135, 421-429.
- SWEENEY, I.J.; CHIN, K.; HOWER, J.C.; BUDD, D.A.; WOLFE, D.G. 2009. Fossil wood from the middle Cretaceous Moreno Hill Formation: Unique expressions of wood mineralization and implications for the processes of wood preservation. **International Journal of Coal Geology** 79: 1–17.
- TAYLOR, E.L.; RYBERG, P.E. 2007. Tree growth at polar latitudes based on fossil tree ring analysis. **Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology** 255: 246–264.
- TAYLOR, E.L.; TAYLOR, T.N.; CUNEO, N.R. 1992. The present is not the key to the past: a polar forest from the Permian of Antarctica. **Science** 257(5077) 1675-1678.
- TAYLOR, G.H.; TEICHMÜLLER, M.; DAVIS, C. (Eds.) 1998. **Organic Petrology: A new handbook incorporating some revised parts of Stach's Textbook of Coal Petrology.** Gebrüder-Borntraeger. Pp. 704.
- TAYLOR, T.N.; TAYLOR, E.L.; KRINGS, M. 2009. **Paleobotany: The Biology and Evolution of Fossil Plants.** Elsevier, USA.
- TEICHMÜLLER, M.; TEICHMÜLLER, R. 1975. The geological basis of coal formation. *In: Stach's Textbook of Coal Petrology.* STACH, E; MACKOWSKY, M.TH.; TAYLOR, G.H., CHANDRA, D., TEICHMÜLLER, M; TEICHMÜLLER, R. (Eds.) Gebrüder Borntraeger, Alemanha. Pp. 5 – 53.
- TEICHMÜLLER, M.; TEICHMÜLLER, R. 1979. Diagenesis of Coal (Coalification). *In: Diagenesis in sediments and sedimentary rocks.* LARSEN, G.; CHILINGAR, G.V. (Eds.), Elsevier. Pp. 207-249.
- TERADA, K.; ASAKAWA, T.O.; NISHIDA, H. 2006. Fossil wood from Arroyo Cardenio, Chile Chico Province, Aisen (XI) Region, Chile. *In: Post-Cretaceous Floristic Changes in Southern Patagonia, Chile.* Nishida, H. (ed.), ChuoUniv., Tokyo, pp. 57-65.
- THAYN, G.E.; TIDWELL, W.D., 1984. A review of the genus *Paraphyllanthoxylon*. **Review of Palaeobotany and Palynology**, 43: 321-335.
- TIFFNEY, B. H. 1977. Dicotyledonous angiosperm flower from the Upper Cretaceous of Martha's Vineyard, Massachusetts. *Nature* 265 : 136 – 137 .
- TIWARI, S.P.; YADAV, D; KUMAR, P.; CHAUHAN, D.K. 2012. Comparative palynology and wood anatomy of *Taxodium distichum* (L.) Rich. and *Taxodium mucronatum* Ten. **Plant. Syst. Evol.** Publicado online: DOI 10.1007/s00606-011-0582-4.

- TORRES, T. G. 1984a. Identificación de madera fósil del Terciario de la Isla Ray Jorge, Islas Shetland del Sur, Antártica. **Mem. III Congr. Latino-amer. Paleontol**, **555-565**.
- TORRES, T. G. 1984b. *Nothofagoxylon antarcticus* n. sp., madera fósil del Terciario de la Isla Rey Jorge, Islas Shetland del Sur, Antártica. **Ser. Cient. INACHI**, **31**, **39-52**.
- TORRES, T. G.; VALENZUELA, E.; GONZALEZ, I. 1982. Paleoxilología de Península Byers, Isla Livingston, Antártica. III Congr. Geológico Chileno, 321-342.
- TORRES, T.G. 1985. Plantas fósiles en la Antártica. **Boletín Antártico Chileno** **5 (2)**: **17-31**.
- TORRES, T.G. 1993. Primer hallazgo de madera fósil en Cabo Shirreff, isla Livingston, Antártica. **Ser. Cient INACH** **43**:**31-39**.
- TORRES, T.G.; PHILIPPE, M.; GALLEGUILLOS, H.; HAUCK, F. 1995. Nuevos descubrimientos restos vegetales en la Isla Snow. **Boletín Antártico Chileno** **14(1)**: **25-28**.
- TORRES, T.G.; BARALE, G.; MEON, H.; PHILIPPE, M.; THEVENARD, F. 1997. Cretaceous floras from Snow Island (South Shetland Islands, Antarctica) and their biostratigraphic significance. *In: The Antarctic Region: Geological Evolution and Processes*. Ricci, C.A. coord. Terra Antarctica Publication, Siena. Pp.: 1023-1028.
- TORRES, T.G.; GALLEGUILLOS, H.; MEON, H.; PHILIPPE, M.; BARALE, G. 2001. Mesozoic and Cenozoic flora from south Shetland islands, Antarctica. *In: Polos Opuestos? Estudio comparado*. Berguno, J. (Ed.), Instituto Antártico Chileno. Publ. 91-95.
- TORRES, T.G.; LEMOIGNE, Y. 1989. Hallazgos de maderas fósiles de angiospermas y gimnospermas del Cretácico Superior en punta Williams, isla Livingston, islas Shetland del Sur, Antártica. **Serie Científica - Instituto Antartico Chileno** **39**, **9-29**.
- TORRES, T.G.; MARENSSI, S.; SANTILLANA, S. 1994. Fossil wood of La Meseta Formation, Seymour Island, Antarctica. **Serie Científica - Instituto Antartico Chileno** **44**, **17-38**.
- TORRES, T.G.; SANTANA, E.; DUMONT, J.F.; GALLEGUILLOS, H. 2004. Nuevos hallazgos de maderas fósiles en la Isla Dee, Shetland del Sur, Antártica. **Boletín Antártico Chileno** **23(2)**: **22-35**.
- TORRES, T.G.; VALENZUELA, E.; GONZALEZ, I. 1982. Paleoxilología de la península Byers, Isla Livingston, Antártica. **III Congreso Geológico Chileno I** : **321-342**.
- TORRES, T.G.; BIRO, L. 1986. Xilotomía de coníferas fósiles de la isla Quiriquina. **Revista Científica Comunicaciones** **37**:**65-80**.
- TYSON, R.V. 1993. Palynofacies analysis. *In: JENKINS, D.G. (ed.) Applied Micropaleontology*. Amsterdam, Kluwer Academic Publishers. p. 153-191.
- TYSON, R.V. 1995. **Sedimentary organic matter, organic facies and palynofacies**. London, Chapman & Hall, 615 p.
- VERNET, J.L. 1973. Etude sur l'histoire de la végétation du sud-est de la France au Quaternaire, d'après les charbons de bois principalement. **Paléobiologie Continentale**, **4-1**, Montpellier.
- VINEY, M. 2011. Petrified Wood: The Silicification of Wood by Permineralization. **Petrifiedwoodmuseum.org**. [ultimo acceso: marzo/2012].
- WARD, C.R.; SUAREZ-RUIZ, I. 2008. Introduction to Applied Coal Petrology. *In: Applied Coal Petrology: The Role of Petrology in Coal Utilization*. Suárez-Ruiz, I.; Crelling, J.C. (Eds.).Elsevier. pp. 1-18.
- WEIBEL, R. 1996. Petrified wood from an unconsolidated sediment, Voervadsbro, Denmark. **Sedimentary Geology** **101**: **31-41**.
- WESTERN, A.C. 1963. Wood and Charcoal in Archaeology. **Science in Archaeology** **150-160**.

- WHEELER, E. A. 1991. Paleocene dicotyledonous trees from Big Bend National Park, Texas: variability in wood types common in the Late Cretaceous and early Tertiary, and ecological inferences. **American Journal of Botany** **78**:658-671.
- WHEELER, E.A.; BAAS, P. 1993. The Potentials and Limitations of Dicotyledonous Wood Anatomy for Climatic Reconstructions. **Paleobiology**, **19**(4): 487-498.
- WHEELER, E.A.; LEHMAN, T.M. 2000. Late Cretaceous woody dicots from the Aguja and Javelina Formations, Big Bend National Park, Texas, USA. **IAWA Journal**, **21** (1): 83 – 120.
- WHEELER, E.A.; LEHMAN, T.M.; GASSON, P.E. 1994. Javelinoxylon, an Upper Cretaceous Dicotyledonous Tree from Big Bend National Park, Texas, with Presumed Malvacean Affinities. **American Journal of Botany**, **81**(6): 703-710.
- WHITHAM, A.G.; INESON, J.R.; PIRRIE, D. 2006. Marine volcanoclastics of the Hidden Lake Formation (Coniacian) of James Ross Island, Antarctica: an enigmatic element in the history of the back-arc basin. In: **Cretaceous-Tertiary high-latitude palaeoenvironments, James Ross Basin, Antarctica**. Francis, J.E., Pirrie, D., Crame, J.A. (Eds). The Geological Society, London, pp 21-48.
- WIEMANN, M.C., DILCHER, D.L., MANCHESTER, S.R., 2001. Estimation of mean annual temperature from leaf and wood physiognomy. **Forest Science** **47**: 141– 149.
- WILKIN, R.T.; BARNES, H.L. 1997. Formation processes of framboidal pyrite. **Geochimica et Cosmochimica Acta** **61**(2): 323-339.
- YANG, X.J.; ZHENG, S.L. 2003. A new species of *Taxodioxyton* from the Lower Cretaceous of the Jixi Basin, eastern Heilongjiang, China. **Cretaceous Research** **24**: 653–660.
- ZENID, G.J.; CECCANTINI, G.C.T. 2007. **Identificação macroscópica de madeiras**. Laboratório de Madeira e Produtos Derivados, IPT, São Paulo. Pp. 24.