



UNIVERSIDADE FEDERAL DE RORAIMA  
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM RECURSOS NATURAIS

ÂNGELA CRISTINE SCARAMUZZA DOS SANTOS

**INTERPRETAÇÕES PALEOAMBIENTAIS E PALEOECOLÓGICAS PARA O  
CRETÁCEO DA BACIA DO TACUTU COM BASE EM LENHOS**

BOA VISTA, RR

2015

ÂNGELA CRISTINE SCARAMUZZA DOS SANTOS

**INTERPRETAÇÕES PALEOAMBIENTAIS E PALEOECOLÓGICAS PARA O  
CRETÁCEO DA BACIA DO TACUTU COM BASE EM LENHOS**

Dissertação de mestrado apresentada ao Programa de Pós-graduação em Recursos Naturais, da Universidade Federal de Roraima, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Recursos Naturais.

Área de Concentração: Manejo e conservação de Bacias Hidrográficas

Orientadora: Profa. Dra. Elizete Celestino Holanda

BOA VISTA, RR

2015

Dados Internacionais de Catalogação na publicação (CIP)  
Biblioteca Central da Universidade Federal de Roraima

S237i Santos, Ângela Cristine Scaramuzza.

Interpretações paleoambientais e paleoecológicas para o Cretáceo da Bacia do Tacutu com base em Lenhos / Ângela Cristine Scaramuzza Santos. -- Boa Vista, 2015.

69 p : il.

Orientadora: Profa. Dra. Elizete Celestino Holanda.

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Roraima, Programa de Pós-Graduação em Recursos Naturais, Área de Concentração: Manejo e Conservação de Bacias Hidrográficas.

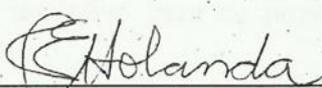
1 - . Paleobotânica. 2 - Gimnospermas. 3 - Bacia do Tacutu. 4 - Paleocologia I – Título. II. – Holanda, Elizete Celestino (orientadora).

CDU- 582

**ÂNGELA CRISTINE SCARAMUZZA DOS SANTOS**

**Interpretações paleoambientais e paleoecológicas para o  
cretáceo da bacia do Tacutu com base em lenhos**

Dissertação apresentada como pré-requisito para conclusão do Curso de Mestrado em Recursos Naturais da Universidade Federal de Roraima, defendida em 26 de agosto de 2015 e avaliada pela seguinte Banca Examinadora:



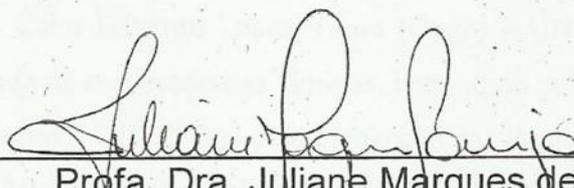
---

Profa. Dra. Elizete Celestino Holanda  
Orientadora – Universidade Federal de Roraima



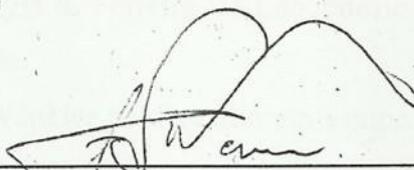
---

Prof. Dr. Vladimir de Souza  
Membro – Universidade Federal de Roraima



---

Profa. Dra. Juliane Marques de Souza  
Membro – Universidade Estadual de Roraima



---

Prof. Dr. Fabio Luiz Wankler  
Membro – Universidade Federal de Roraima

## AGRADECIMENTOS

Ao Programa de Pós-graduação em Recursos Naturais – PRONAT da Universidade Federal de Roraima.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico - CNPQ, pela bolsa de mestrado.

A minha querida orientadora e amiga Profa. Dra. Elizete Holanda, a qual tenho muito carinho e admiração, por aceitar o desafio de me orientar neste trabalho, pelas conversas diárias, ensinamentos, pelo incentivo para eu prosseguir nesta área e pela empolgação de sempre com a Paleontologia.

A querida Profa. Dra. Margot Guerra Sommer – UFRGS, que com muito carinho e dedicação me ajudou imensamente na identificação e nos parâmetros paleoecológicos.

À equipe do Laboratório de Paleobotânica da UNIVATES, Talyssa, Rafael Spiekerman, Josilene Manfroi, Roseane da Silva, Isa Carla, Mariela, José Rafael pela acolhida, e em especial ao Prof. Dr. André Jasper, por ceder o laboratório e equipamentos para a análise de algumas amostras.

Ao Prof. Dr. Calor Eduardo Lucas Vieira (Guga) – UNISINOS, pela acolhida no ITT-FÓSSIL, e pela ajuda na confecção das lâminas, bem como pela ajuda em paleobotânica.

Ao técnico Lauro (UNISINOS) pela confecção das lâminas.

Ao Prof. Dr. Vladimir pelo apoio durante este trabalho e pela acolhida no laboratório.

A Profa. Ma. Ana Tayla R. Ferreira, do Laboratório de Petrografia da UFRR, por cedê-lo para a análise das lâminas.

Ao Prof. Dr. Fábio Wankler pelo auxílio em campo e na confecção do Perfil do Morro do Tiro.

Ao Prof. Dr. Rafael Oliveira (em memória) pela alegria contagiante quando passava por mim no corredor do IGEO, sempre incentivando e dando conselhos.

Ao Laboratório de Paleontologia da Amazônia- LaPA, pela oportunidade e estrutura para o desenvolvimento deste trabalho.

A Andressa Paim, Flávio Pretto e ao Tarantino em Porto Alegre, a Lilian Maia em São Leopoldo e a Thais Laux em Lajeado, pela acolhida e recepção em suas casas, no período em que estive realizando a análise do material.

A Dra. Adriana Kloster pela disponibilização de materiais sobre Paleobotânica.

A Ma. Isabela Degani-Schmidt – UFRGS, que me auxiliou com os equipamentos e a tirar as fotos no microscópio.

Ao Frederick, estudante do curso de geologia, que nos auxiliou na confecção do mapa de pontos.

Aos meus colegas de pós-graduação, Rodrigo Guedes, Laylah Barbosa, Eliane Simas, Eduardo Britto, Ubiracy, João, Jacy e Érico Veríssimo, pela convivência e apoio durante o curso.

As minhas amigas e companheiras desde o início do mestrado Gabrielle Abreu (colega de laboratório), Patrícia Bombonati, Maryory Medina e Margarita Almansa, pela amizade, companheirismo, pelos momentos de descontração e pelos momentos de discussão e estudos durante todo período do curso.

Aos meus amigos estrangeiros Diana, Alina, Emília, Júlio, Marden, Luis Eduardo pelas horas de descontração e amizade.

Aos meus colegas de laboratório, Alicinéia Oliveira, André Barbosa, Camila Cruz, Diany Monteiro, Emanuelle Queiroz (Manu), Fabrício Menezes, Mateus Alves, Nazaré Barbosa e Raissa Castro, com quem tive a oportunidade de conviver diariamente estes anos, pelos ensinamentos de geologia, momentos de descontração, pelas brincadeiras, pelas conversas fiadas no LAPA, enfim, pessoas estas que vou levar para sempre na minha memória, e me acompanharam desde o início deste trabalho, me dando muita força e apoio para a sua conclusão.

Ao meu amigo querido, companheiro, colega de laboratório e namorado Mateus Menezes, pelas conversas, ajudas com relação a geologia, e pelos momentos de descontração e companhia nestes últimos meses.

Aos meus pais, Paulo Jair e Sandra Scaramuzza, pelo apoio incondicional, amor, compreensão e paciência, no qual sem isto não seria possível a realização deste trabalho, aos quais eu dedico este trabalho.

À minha irmã, Marina Scaramuzza e ao meu cunhado Luiz Cláudio, que sempre me incentivaram a prosseguir nos estudos e no meio acadêmico, mesmo implicando porque eu fico tempo demais na universidade.

A todas as pessoas que direta ou indiretamente contribuíram para a realização deste trabalho.

À Deus por ter me dado saúde, força e fé para concluir esta etapa da minha vida.

“É preciso força para sonhar e perceber que a estrada vai além do que se vê”.

Los Hermanos

## RESUMO

A paleobotânica estuda os vegetais fósseis, entre eles, os lenhos, que por sua vez, fornecem importantes informações a respeito da evolução da vida na Terra, bem como, auxiliam nas interpretações paleoecológicas, paleoambientais, paleoclimáticas e bioestratigráficas. O presente trabalho tem como objetivo identificar e tecer inferências sobre a paleoecologia dos lenhos fósseis da Bacia do Tacutu, bem como o seu contexto estratigráfico. Foram analisados sete espécimes, sendo seis procedentes do Rio Tacutu e um procedente do Morro do Tiro na Serra do Tucano. Para a análise das amostras foram elaboradas seções planas e lâminas delgadas em três seções (transversal, longitudinal radial e longitudinal tangencial) dos espécimes em estudo. Os lenhos de ambas as localidades apresentaram afinidade com o grupo das gimnospermas, possivelmente da Ordem Coniferales. Apenas a um espécime do Rio Tacutu foi possível identificar com precisão à Ordem Coniferales, Família Cheirolepidiaceae, gênero *Brachyoxylon*. Anéis de crescimento verdadeiros e falsos anéis foram encontrados em um espécime do Rio Tacutu, entretanto, a maior predominância foram de lenhos com crescimento contínuo, encontrados em ambas as localidades. Também foram verificadas pequenas lacunas ao longo da seção transversal, bem como a presença de manchas pretas no interior dos lúmens dos traqueídeos, características estas, aqui atribuídas à resposta das plantas a ataques de fitófagos. Os lenhos anteriormente descritos como procedentes da Formação Tacutu foram encontrados depositados em um paleopavimento às margens do Rio Tacutu e são aqui atribuídos à Formação Boa Vista, de idade cenozoica. A identificação taxonômica, no entanto, sugere que os lenhos sejam de idade cretácea, indicando que possivelmente eles foram retrabalhados e depositados em uma unidade mais jovem, fato corroborado pelas feições tafonômicas. Com relação ao padrão dos anéis de crescimento com predominância do tipo “O” foi possível sugerir para os espécimes do Rio Tacutu um paleoclima equatorial/tropical. No entanto, a ocorrência de um espécime com padrão do tipo “D” indica características de um paleoclima árido com verões úmidos. O único espécime da Serra do Tucano também apresentou padrão de crescimento do tipo “O”, sugerindo um paleoclima equatorial/tropical. As lacunas provocadas por fungos indicam a presença de umidade, mas o ataque pode ter se dado após o soterramento do lenho e não durante a vida e, portanto, podendo a umidade estar relacionada com o seu ambiente deposicional e não necessariamente com o seu habitat.

Palavras-chave: Paleobotânica. Gimnospermas. Bacia do Tacutu. Paleoecologia.

## ABSTRACT

The paleobotany studies fossil plants, including the wood, which in turn provide important information about the evolution of life on Earth, as well as assist in paleoecological interpretations, paleoenvironmental, paleoclimatic and biostratigraphic. This study aims to identify and draw inferences about the paleoecology of fossil wood of the Tacutu Basin, and its stratigraphic context. Seven specimens were analyzed, six coming from the Tacutu River and founded the Morro do Tiro in the Serra do Tucano. For the analysis of the samples, flat sections and thin sections were prepared in three sections (transverse, radial longitudinal and tangential longitudinal) of the specimens studied. The wood of both locations showed affinity with the group of gymnosperms, possibly of the order Coniferales. Only one specimen of the Tacutu River was possible to identify precisely the order Coniferales, Cheirolepidiaceae Family, *Brachyoxylon* genre. Growth rings true and false rings were found in a specimen Tacutu River, however, the predominance were wood with continued growth, found in both locations. Also observed were small gaps along the cross section as well as the presence of black spots within the lumens of the tracheids, these features here assigned to the plant response to phytophagous attacks. The wood previously described as coming from Tacutu Formation were found deposited in a paleopaviment the banks of the Tacutu River and are hereby assigned to the Boa Vista Formation of Cenozoic age. The taxonomic identification, however, suggests that the logs are of Cretaceous age, indicating that possibly they were reworked and deposited at a younger unit, a fact corroborated by taphonomic features. Regarding the pattern of growth rings with predominance of type "O", it was possible to suggest for specimens of Tacutu River an equatorial / tropical paleoclimate. However, the occurrence of a specimen with pattern of type "D" indicates characteristics of a paleoclimates dry with wet summers. The only specimen of the Serra do Tucano also presents growth pattern of type "O" suggests an equatorial / tropical paleoclimate. The gaps caused by fungi indicate the presence of humidity, but the attack may have been given after burial of the wood and not during their lifetime and therefore can humidity be related to their depositional environment and not necessarily their habitat.

**Key words:** Paleobotany. Gymnosperms. Tacutu Basin. Paleoecological.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Seção esquemática da estratigrafia da Bacia do Tacutu .....	15
Figura 2 - Carta estratigráfica da Bacia do Tacutu no Estado de Roraima .....	16
Figura 3 - Diagrama do processo de fossilização .....	20
Figura 4 - Componentes Celulares: <b>A</b> - Sistema axial <b>B</b> - Sistema radial. <b>b-e-f</b> : estruturas encontradas especialmente em gimnospermas; <b>abcdf</b> : estruturas encontradas especialmente em angiospermas.....	22
Figura 5 - Mapa paleoclimático do Cretáceo Inferior .....	24
Figura 6 - Mapa paleoclimático do Cretáceo Superior.....	25
Figura 7 - Mapa de localização do graben do Tacutu .....	28
Figura 8 - Mapa de pontos das localidades da Bacia do Tacutu com a ocorrência dos lenhos fósseis (estrela vermelha) e as localidades do material aqui estudados (estrela amarela). Legenda: 1- Morro das Lamentações; Morro do Tiro; 3- Rio Tacutu; 4- Morro da Antena; 5- Morro da Sereia; 6- Rio Arraia.....	30
Figura 9 - Planos de cortes: Transversal, Longitudinal Radial e Longitudinal Tangencial	31
Figura 10 - Ilustração dos seis tipos de anéis de crescimento proposto por Creber e Chaloner (1984) para categorizar diferentes relações lenho inicial / lenho tardio. <b>Tipo “A”</b> - anéis sem muito lenho inicial; transições nítidas nas fronteiras lenho inicial / lenho tardio. <b>Tipo “B”</b> - anéis com uma ampla faixa de lenho tardio; a transição para o lenho tardio é mais gradual gradual. <b>Tipo “C”</b> - anéis com uma transição muito gradual do lenho inicial para lenho tardio; <b>Tipo “D”</b> - anéis com uma faixa fina de lenho tardio; lenho inicial / lenho tardio limite bem marcado. <b>Tipo “E”</b> - anéis similar ao tipo D, mas a transição para o lenho tardio não é tão nítida. <b>Tipo “O”</b> - anéis resultantes de uma situação em que todos os requisitos para o crescimento estão constantemente presentes; nenhuma mudança perceptível no diâmetro traqueídeos. Obs: A seta indica a direção de crescimento.....	34
Figura 11 - Perfil litoestratigráfico do Rio Tacuru mostrando a linha de pedra de onde procedem os troncos fossilizados. Abreviaturas: <b>mf</b> : muito fina, <b>f</b> : fina, <b>m</b> : média, <b>g</b> : grossa, <b>mg</b> : muito grossa. <b>A</b> - Detalhe da linha de pedra. <b>B</b> - Lenho fóssil depositado na linha de pedra .....	37

Figura 12 - Lenhos fósseis com diferentes tipos de abrasão. A- IGEO PB 83, B- IGEO PB51; IGEO PB 52; IGEO PB 122. Setas indicam fragmentação com superfície plana. Escala: 1cm .....	38
Figura 13 - Perfil do Morro do Tiro, Serra do Tucano. Abreviaturas: <b>s</b> - silte. <b>am</b> - areia média, <b>ag</b> - areia grossa, <b>amg</b> - areia muito grossa, <b>sx</b> - seixo. <b>A-B-C</b> : Fotos com detalhe das estruturas .....	40
Figura 14 - Fragmentos de lenhos em observação macroscópica. <b>A-B-D-E</b> , Vista lateral dos espécimes IGEO PB 21, 39, 58, 113. <b>C</b> - Vista transversal em seção plana (IGEO PB 58) Escalas = 2 cm (A-B; D-E); 1 cm (C).....	42
Figura 15 - Lenhos do Rio Tacutu. <b>A-B- Seção Transversal</b> : <b>A</b> - canais traumáticos (ct) com resinas traumáticas (rt) <b>B</b> -parênquima axial (pa) com coloração avermelhada (óxido de ferro) (IGEO PB 58) A- lente de aumento 50x. B- 100x. <b>C-Seção longitudinal tangencial</b> : Raios parenquimáticos unisseriados (r) (IGEO PB 113), lente de aumento 100x. <b>D</b> - Exemplo de vista transversal com a presença de parênquima axial (de WHEELER; LEHMAN, 2005). <b>E- Seção longitudinal radial</b> : Campos de cruzamentos (cc), sem pontoações (IGEO PB 39), lente de aumento 40x. Escalas: 20 µm..	44
Figura 16 - Fragmento de lenho em observação macroscópica (IGEO PB 47). <b>A</b> - Vista lateral. <b>B</b> - Vista transversal em seção plana. Escalas = 2 cm (A); 1 cm (B)	45
Figura 17 - Anatomia do lenho de <i>Brachyoxylon</i> (IGEO PB 47) <b>A-C Seção Transversal</b> : <b>A-B</b> . Anel de crescimento (ac) com parênquima axial (pa) e traqueídeos (t), <b>A</b> - lente de aumento de 10x, <b>B</b> - lente de aumento de 50x. <b>C</b> - Lacunas de origem traumáticas (l), lente de aumento de 10x. <b>D- Seção Longitudinal Radial</b> : Pontoações na parede radial dos traqueídeos, areoladas, unisseriadas e contínuas, lente de aumento 100x. <b>E-F- Seção Longitudinal Tangencial</b> : <b>E</b> - Raios parenquimáticos unisseriados (r), lente de aumento 100x. <b>F</b> - Parênquima axial (pa), lente de aumento 100x. <b>G-H- Seção Longitudinal Radial</b> : <b>G</b> - Pontoações na parede radial dos traqueídeos areolada unisseriadas espaçadas, lente de aumento 50x. <b>H</b> - Campo de cruzamento (cc) com pontoações (p) oculíporos do tipo cupressoide, com disposição araucariano, lente de aumento 50x. Escalas: 20 µm.....	47
Figura 18 - Fragmento de lenho em observação macroscópica (IGEO PB 312) <b>A</b> - Vista lateral. <b>B</b> - Vista transversal em secção plana. Escalas = 2 cm (A); 1 cm (B)	49
Figura 19 - Lenho da Serra do Tucano (IGEO PB 312). <b>A - Seção Transversal</b> : Vista transversal apresentando traqueídeos e canais traumáticos (ct), lente de aumento 10x. <b>B - Seção Longitudinal Tangencial</b> : Presença de raios parenquimáticos unisseriados (r) com alguns bisseriados, lente de aumento 50x. Escalas: 20 µm.....	50
Figura 20 - Padrão de anéis de crescimento. <b>A-F Seção Transversal</b> : <b>A-B</b> anel de crescimento verdadeiro (ac), IGEO PB 113, 47. Padrão tipo “D”, em lente de aumento de 40x. <b>C-D</b> falso anel (fa) e zona de crescimento (zc), IGEO	

PB 39 (C-50x, D-100x. <b>E-F-</b> ausência de anéis, padrão contínuo, tipo “O”. IGEO PB 21, 312. Escalas: 20 µm .....	52
Figura 21 - Lacunas e perfurações no xilema secundário. <b>A-</b> vista transversal do lenho em que podem ser observadas impregnações muito escuras provavelmente correspondendo a compostos fenólicos (cf) e lacunas traumáticas (lt) <b>B-</b> vista transversal de lacunas provocadas por desagregação de parede celular por ação de fitofagia. <b>C-</b> Detalhe de limite de lacuna originada por atividade de fungos evidenciando a ruptura da parede. Escala: 20 µm.....	55
Figura 22 - Diferentes tipos de degradação: <b>A-</b> Presença de matéria orgânica (mo) no lúmen (IGEO PB 21). <b>B- Podridão mole:</b> processo que se inicia pela degradação interna da parede secundária da célula; esporos (e) dispersos no lúmen dos traqueídeos (IGEO PB 312). <b>C-D Podridão branca sucessiva:</b> destruição progressiva das paredes celulares remanescendo por último a lamela média, C-Presença de haustórios (h) nos lúmens celulares. Lente de aumento 100x. Escala: 20 µm.....	56
Figura 23- Tipos de podridão branca <b>A-B Podridão branca sucessiva:</b> A- a degradação da parede celular inicia-se pelo lúmen e destrói principalmente a parede secundária. Podridão branca modificada de Rypacek (1966). <b>B-</b> observa-se as paredes celulares ainda mantendo certa integridade enquanto que na porção inferior remanesce apenas a lamela média. <b>C-D Podridão branca simultânea:</b> C- as paredes são destruídas em galerias. <b>D-</b> observa-se o ataque a todos os níveis da parede celular e a lamela média. E-F Podridão mole: de acordo com Schweingruber (2007). <b>F-</b> Podridão mole destacando as células deteriorada. Lente de aumento 100x. Escala: 20 µm. ....	58

## LISTA DE TABELA

Tabela 1 – Potencial de preservação de alguns compostos vegetais .....	19
Tabela 2 – Tabela com a procedência dos lenhos catalogados na coleção de Paleontologia	29
Tabela 3 – Medidas macroscópica dos espécimes em centímetros .....	41
Tabela 4 – Tabela síntese dos resultados obtidos.....	60

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	13
1.1	GEOLOGIA REGIONAL .....	14
1.2	PALEOBOTÂNICA.....	18
<b>1.2.1</b>	<b>Anéis de Crescimento</b> .....	21
<b>1.2.2</b>	<b>Paleoflora Cretácea</b> .....	21
<b>2</b>	<b>OBJETIVOS</b> .....	26
2.1	OBJETIVO GERAL.....	26
2.2	OBJETIVOS ESPECÍFICO .....	26
<b>3</b>	<b>MATERIAL E MÉTODOS</b> .....	27
3.1	ÁREA DE ESTUDO .....	27
3.2	MÉTODOS .....	29
<b>3.2.1</b>	<b>Identificação taxonômica</b> .....	32
<b>3.2.2</b>	<b>Análise do padrão dos anéis de crescimento</b> .....	33
<b>3.2.3</b>	<b>Interação planta-fungo</b> .....	33
<b>4</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	36
4.1	CONTEXTO ESTRATIGRÁFICO.....	36
4.2	DESCRIÇÃO TAXONÔMICA .....	39
4.3	DESENVOLVIMENTO DOS PADRÕES DE ANÉIS DE CRESCIMENTO	50
4.4	INTERAÇÃO PLANTA-FUNGO .....	53
<b>5</b>	<b>CONCLUSÕES</b> .....	61
	<b>REFERÊNCIAS</b> .....	63

## 1 INTRODUÇÃO

A paleontologia (do grego *palaios* = antigo, *onto* = ser, *logia* = estudo) é a ciência que estuda os fósseis (do latim = extraído da Terra), que são restos ou vestígios de organismos que se preservaram nas rochas há milhões de anos (MENDES, 1988). A paleobotânica (do grego *palaios* = antigo, *botaniché* = botânica), por sua vez, é o ramo da paleontologia dedicado a estudar os fósseis de plantas, assim como também os organismos fósseis que um dia estiveram enquadrados no Reino Plantae, mas que hoje estão incluídos nos Reinos Monera, Protistas e Fungi (TAYLOR; TAYLOR; KRINGS, 2009).

A paleobotânica nos fornece importantes informações a respeito da evolução da vida e da Terra e é frequentemente utilizada em interpretações paleogeográficas, paleoecológicas, paleoclimáticas e bioestratigráficas (TAYLOR; TAYLOR; KRINGS, 2009).

As interpretações paleoambientais estão associadas aos estudos paleoecológicos, que a partir dos fósseis visam reconstruir os ecossistemas passados, levando em consideração aspectos ecológicos, como distribuição e crescimento dos vegetais e aspectos tafonômicos, processo pelos quais os vegetais passam para se formar fósseis. Além disso, a presença de partes vegetais, especialmente estruturas reprodutivas bem preservadas em depósitos sedimentares, podem também indicar o ambiente deposicional continental, marinho, litorâneo e fluvial (IANUZZI; VIEIRA, 2005).

A anatomia interna dos lenhos fósseis permite-nos estabelecer a qual grupo botânico determinado fóssil pertenceu, ajudando a elucidar a evolução dos grupos extintos, e determinar épocas de origem e maior diversificação dos grupos atuais e extintos. Além disso, o estudo dos lenhos fósseis pode determinar aspectos paleoclimáticos, paleoambientais e paleoecológicos (TAYLOR; TAYLOR; KRINGS, 2009).

Dentre os registros fósseis Mesozoicos, mais especificamente o Cretáceo do Estado de Roraima, os lenhos fósseis são os mais abundantes, porém, ainda pouco estudados.

Dentro deste contexto, este trabalho visa, através da paleoflora aqui apresentada, identificar os lenhos fósseis da região, bem como buscar interpretações bioestratigráficas, paleoecológicas e paleoambientais para o Cretáceo da Bacia do Tacutu.

## 1.1 GEOLOGIA REGIONAL

A Bacia do Tacutu, também conhecida como graben do Tacutu, está situada geograficamente na fronteira entre o extremo norte do Brasil, Estado de Roraima, e a República Cooperativa da Guiana, distrito de Upper Takutu – Upper Essequibo (VAZ; WANDERLEY FILHO; BUENO, 2007). Uma hipótese para a origem da Bacia do Tacutu é que ela tenha se formado no final do Jurássico Superior e início do Cretáceo Inferior, quando a América do Sul e a África ainda estavam unidas na Gondwana. Esta formação esteve relacionada com o sistema de *rift* na atual região do Caribe, e essa abertura se propagou e evoluiu no Oceano Atlântico Norte, consequentemente separando a América do Sul da África (McCONNELL, 1969). Esses movimentos que ocorrem na superfície terrestre produzem falhas geológicas que ao se moverem formam (ou delimitam) estruturas denominadas de grabens (McCONNELL, 1969).

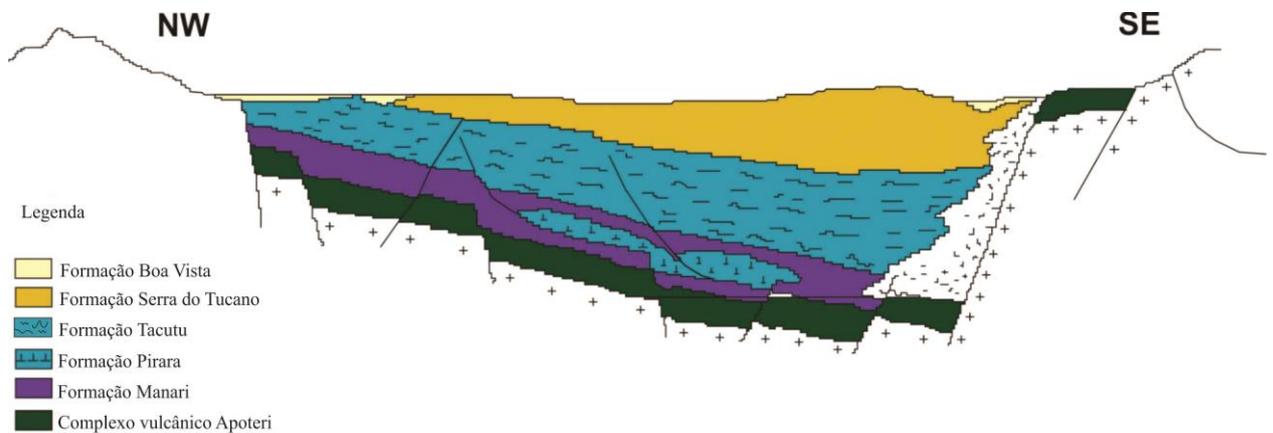
Santos (1984) propôs que a evolução do graben do Tacutu esteve condicionada a três fases distintas: a fase de *rift* ativo, *rift* passivo e a fase de pós *rift*.

A fase de *rift* ativo é caracterizada por um evento magmático no Mesozoico que ocorreu durante a abertura do Oceano Atlântico. No caso da Bacia do Tacutu, o processo ocorreu sob a forma de efusão por fissuras, gerando sucessivos derrames subaquosos de lavas toleíticas (Formação Apoteri), supostamente como resultado do derretimento parcial da litosfera causada por uma anomalia térmica da atmosfera (EIRAS; KINOSHITA, 1990; SANTOS, 1984).

A fase de *rift* passivo desenvolveu-se com a atividade de falhas na borda sudeste, no qual foram depositados sob condições áridas os conglomerados de borda, e nos lagos, folhelhos, siltitos, carbonatos e halitas da Formação Pirara, e com a evolução da sedimentação, depositaram-se as camadas vermelhas da Formação Tacutu, seguida pelos arenitos da Formação Serra do Tucano (SANTOS, 1984). A fase de pós *rift* é marcada pelo evento de aquiescência tectônica durante o Cretáceo Superior (REIS et al., 2006), no qual ocorreu um evento transformador transcorrente de idade miocênica-pleistocênica, resultante da colisão entre a placa continental da América do Sul e as placas de Nazca e do Caribe, que reestruturaram todo o graben, configurando a paisagem atual (EIRAS; KINOSHITA, 1988).

A Bacia do Tacutu admite sete principais unidades litoestratigráficas, que compreende desde o Mesozoico até ao Cenozoico (Figura 1), as Formações Apoteri, Manari, Pirara, Tacutu e Serra do Tucano, de idade Mesozoica (EIRAS; KINOSHITA; FEIJÓ, 1994), e Boa Vista e Areias Brancas, de idade Cenozoica (REIS; FARIA; MAIA, 2002).

Figura 1 - Seção esquemática da estratigrafia da Bacia do Tacutu.

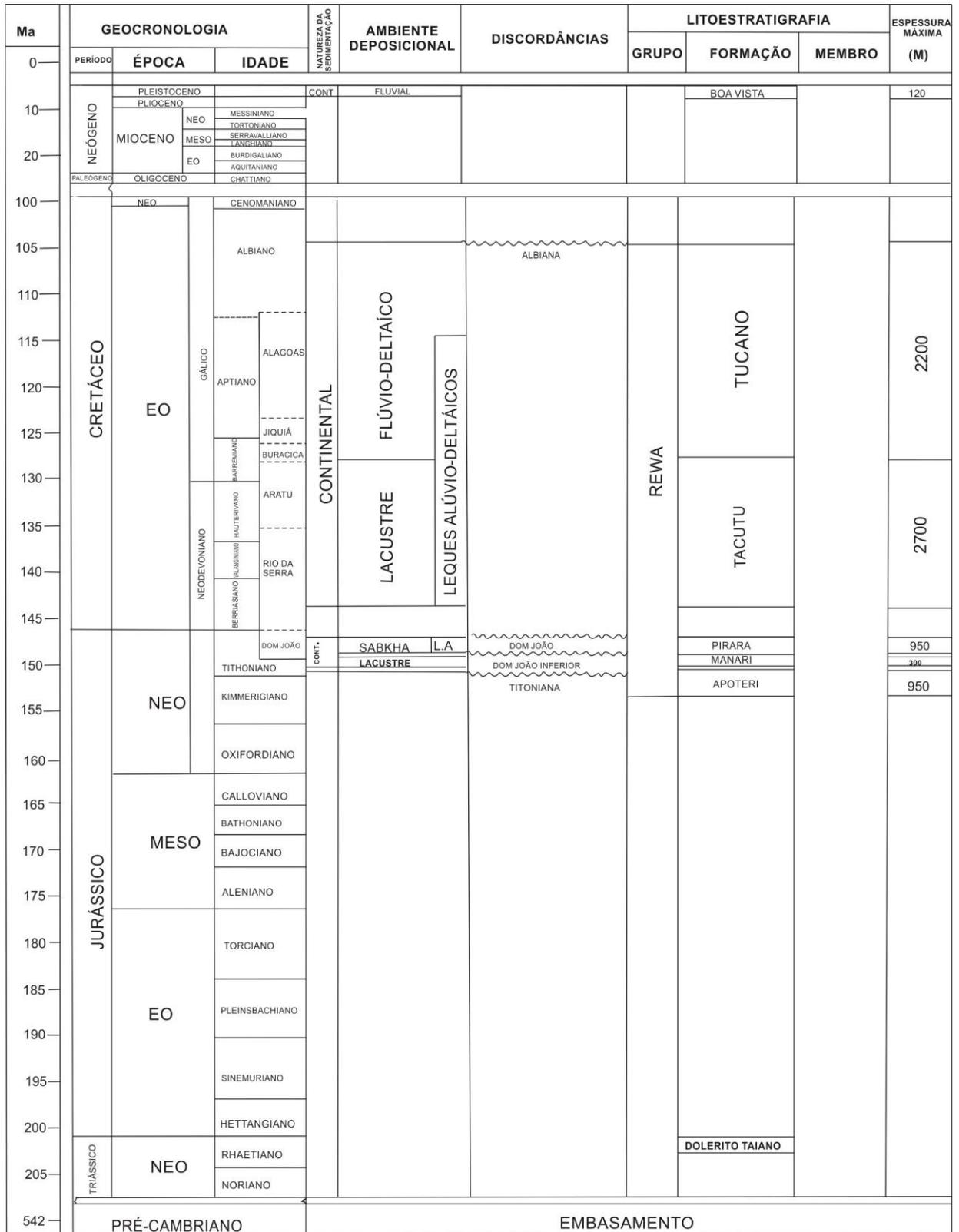


Fonte: Reis, Nunes e Pinheiro (1994).

A primeira e mais antiga unidade da Bacia é a Formação Apoteri. Esta unidade ocorre, na porção brasileira, na Serra de Nova Olinda (Norte do Município de Boa Vista), no Morro do Redondo (margem da BR 401) e no leito dos Rios Arraia e Tacutu, próximo ao Município de Bonfim (EIRAS; KINOSHITA, 1990). Esta unidade é constituída predominantemente por basaltos toleíticos, apresentando coloração cinza-escuro a esverdeado, geralmente oxidados, com granulação muito fina a afanítica, amigdaloidal e com fratura conchoidal, aspecto em formato de concha quando fragmentado (CRAWFORD; SZELEWSKI; ALVEY, 1985). Resultados geocronológicos K-Ar, apontam uma idade entre 178 e 114 Ma (Jurássico Médio – Cretáceo Inferior) para esta formação (SCHOBENHAUS et al., 1984).

A segunda unidade da Bacia é a Formação Manari. Esta unidade assenta-se discordantemente sobre os derrames basálticos da Formação Apoteri (Figura 2). Distribuiu-se de forma uniforme por quase toda a extensão do graben, sua espessura podendo chegar até aos 300 m, com base nos dados sísmicos realizados na Guiana (EIRAS; KINOSHITA, 1990). Segundo Eiras, Kinoshita e Feijó (1994) esta unidade aflora em uma porção do Rio Tacutu ao sul da cidade de Bonfim. Sua litologia é composta de siltitos, folhelhos cinza-claro e escuro, também esverdeado e preto, calcífero, piritoso, folhelhos castanho-escuro a avermelhado, anidríptico e calcissiltito creme-claro a acinzentado e dolomito-castanho-acinzentado a claro (EIRAS; KINOSHITA, 1990). As datações bioestratigráficas realizadas na Guiana apontam para esta formação uma idade neojurássica (HAMMEN; BURGER, 1966).

Figura 2 - Carta estratigráfica da Bacia do Tacutu no Estado de Roraima.



Fonte: Vaz, Wanderley Filho e Bueno (2007).

A Formação Pirara é constituída por rochas clásticas-evaporíticas e não aflorante na bacia. Ocorre discordantemente sobre a Formação Manari e interdígita-se lateralmente com os leques da borda sudeste (Figura 2). Esta unidade é caracterizada pela presença de halita halina a acinzentada e acastanhada, e folhelhos cinzentos, acastanhados, piritoso, com frequentes pseudomorfos de gipsita substituída por anidrita (COSTA; LIMA, 1981). Nesta formação, na porção guianense, foi registrado a presença de uma assembleia de palinomorfos denominados de *Classopolis* spp. e *Protoconiferus funarius* e de algumas diatomáceas não identificadas (CRAWFORD; SZELEWSKI; ALVEY, 1985). Sua idade Jurássico Superior é ainda inferida, devido aos dados bioestratigráficos realizados na Guiana não serem conclusivos (VAZ; WANDERLEY FILHO; BUENO, 2007).

A Formação Tacutu (Figura 2), localizada no leito do Rio Tacutu, compreende uma pequena camada vermelha, consistindo basicamente de siltito castanho-escuro a vermelho, calcífero, argiloso, contendo pseudomorfos de gipsita substituídos por anidrita ou calcita, com laminação plano paralela inclinada ou estratificação clinoascendente, subordinadamente, ocorrem arenito creme-claro a acastanhado, muito fino e fino, calcarenito creme-avermelhado, fino, bioclástico, folhelho castanho-avermelhado e calcífero (COSTA; LIMA, 1981). Através de estudos palinológicos da Guiana foi possível estimar sua idade em Cretáceo Inferior (HAMMEN; BURGER, 1966).

Segundo Crawford, Szelewski e Alvey (1985), na Guiana, esta unidade contém duas grandes assembleias de microfauna e microflora não marinhas, uma delas é rica em pólenes *Classopolis* sp. e a outra é caracterizada pela presença abundante de ostracodes de água doce, do gênero *Darwinula*, diatomáceas, tocas e megasporos piritizados. Nesta região também foram encontradas troncos fossilizados de coníferas do gênero *Pagiophyllum* (GIBBS; BARRON, 1993).

Souza et al. (2009) realizaram o primeiro registro de lenhos fósseis para esta formação na porção brasileira. Os lenhos desta região foram encontrados rolados na margem do Rio Tacutu, em bom estado de preservação e são objetos de estudo deste trabalho.

A Formação Serra do Tucano apresenta-se sob a forma de elevações suaves que atingem até 200 m de altitude e 2.200 m de espessura, formando a Serra do Tucano, feição fisiográfica que se destaca a planura do interior do graben (EIRAS; KINOSHITA, 1990). Esta formação é caracterizada por possuir na base da serra, arenitos castanhos, médio a grossos, com seixos gradando para o topo para caulínicos e friáveis, com estratificação cruzada e raras intercalações de siltitos (VAZ; WANDERLEY FILHO; BUENO, 2007). A idade desta formação, Cretáceo Superior, é inferida apenas por dados estratigráficos (Figura 2). Ao longo

da Formação Serra do Tucano foram descritas duas fácies sedimentares que estão inter-relacionadas: a fácies de canal (barras de granulação fina), representada por quartzo-arenitos maciços, creme a esbranquiçados, arenitos conglomeráticos com fragmento caulínicos e quartzosos (não-seixosos); e a fácies de *overbank* (planície de inundação), representada por uma sequência de arenitos finos, creme a amarelados e siltitos avermelhados via de regra oxidados, com estrutura de grandes fendas de ressecamento, laminação plano paralela (REIS; NUNES; PINHEIRO, 1994).

Na fácies de planície de inundação desta formação, foram registrados icnofósseis e impressões carbonosas de restos vegetais (SOUZA; SAMPAIO, 2007; LOPES; SOUZA; HOLANDA, 2011), o que corroborou um ambiente rico em matéria orgânica e por isso habitado por muitos organismos, entre eles, moluscos e artrópodes, e passível de preservação de partes delicadas de plantas. Lenhos fósseis ainda não registrados foram encontrados nesta formação e também são objeto de estudo deste trabalho.

A cobertura cenozoica da bacia é composta pelas Formações Boa Vista e Areias Brancas. A Formação Boa Vista é formada por arenitos, lateritas, argilitos e níveis conglomeráticos. Não há dados de superfície com informações bioestratigráficas capazes de datar esta unidade (EIRAS; KINOSHITA; FEIJÓ, 1994).

A Formação Areias Brancas é composta por campos de dunas e de areias, expostos em várias porções do domínio da sedimentação Boa Vista. Estes campos correspondem à atividades eólicas ocorridas no Pleistoceno Superior - Holoceno, cuja aridez encontra respaldo em um amplo corredor de deflação ao longo do último glacial (LATRUBESSE; NELSON, 2001).

## 1.2 PALEOBOTÂNICA

A paleobotânica fundamenta-se em dois principais aspectos: biológicos e geológicos. Os aspectos biológicos fornecem informações quanto à origem, taxonomia, evolução e diversidade das plantas, além de relacionar-se com pesquisas sobre sucessão florística e paleofitogeografia. Os aspectos geológicos referem-se ao ambiente de sedimentação o qual abrange, diacronicamente, os ambientes de vida e de fossilização, permitindo assim, uma dedução sobre o ponto de vista da história geológica de todo o Reino Plantae na dinâmica da Terra (GUERRA-SOMMER; PIRES, 2011; MUSSA, 2004).

As plantas são organismos que apresentam, ao longo do tempo geológico, uma preservação bastante peculiar, pois frequentemente são fragmentadas e suas partes, são geralmente depositadas em diferentes locais (FREITAS; HESSEL; NETO, 2008). Raramente apresentam tecidos mineralizados, dificultando assim, a sua preservação e o processo de fossilização. No entanto, quando possível, os tecidos ou estruturas que apresentam melhor potencial de preservação (Tabela 1) são os envoltórios de esporos e pólen, as cutículas da epiderme e os lenhos (FREITAS; HESSEL; NETO, 2008; IANNUZZI; VIEIRA, 2005).

Tabela 1 – Potencial de preservação de alguns compostos vegetais

<b>Tecido/Estrutura</b>	<b>Composto Orgânico Resistente*</b>	<b>Partes da Planta</b>
Exina	Esporopolenina <sup>1</sup>	Envoltório externo de esporos e grãos de pólen
Cutícula	Cutina <sup>2</sup>	Camada cerosa externa que recobre a superfície de várias porções aéreas da planta (caules jovens, folhas e estruturas reprodutivas)
Xilema	Lignina <sup>3</sup> e Celulose <sup>4</sup>	Porção lenhosa de sistema condutor (lignina reforça as paredes celulósicas)

\*Potencial de preservação: 1 > 2 > 3 > 4

Fonte: Iannuzzi e Vieira (2005).

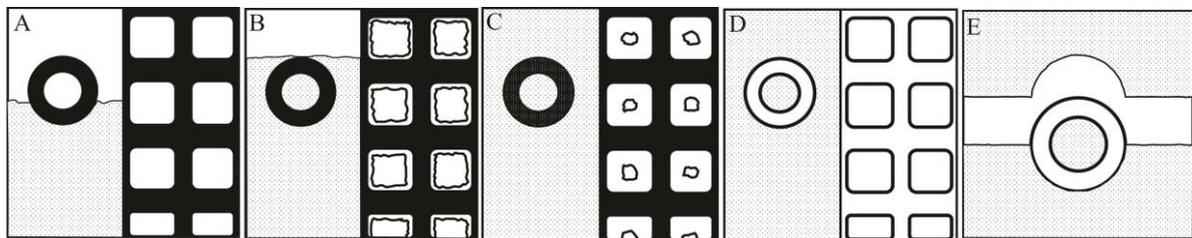
As condições favoráveis para preservação das plantas são, principalmente, o tipo de tecido de composição da planta e as condições em que foram submetidas antes da fossilização (ARNOLD, 1970). Por exemplo, as plantas que contêm grande quantidade de tecidos duros, como casca, madeira (lenho) e camadas cutinizadas, geralmente são melhores preservadas do que as que contêm tecidos moles como flores, folhas delicadas e finas (TAYLOR; TAYLOR; KRINGS, 2009).

O tipo de preservação mais comum dos lenhos é a permineralização (Figura 3), que ocorre quando o fragmento do lenho é imerso em um ambiente aquoso com alta concentração de minerais dissolvidos, e os poros ou pequenas cavidades do lenho são preenchidos por um mineral, neste caso, a sílica, SiO<sub>2</sub>, mineral que frequentemente substitui a celulose e a lignina contida nas plantas (FREITAS; HESSEL; NETO, 2008; MENDES, 1988).

O diagrama abaixo (Figura 3), explica de que maneira ocorre o processo de fossilização nos lenhos, e de que forma ele atua sobre um caule oco (IANNUZZI; VIEIRA, 2005;

THOMAS; SPICER, 1987). Os sedimentos são representados pelas áreas pontilhadas no desenho, e a matéria orgânica original (alteradas ou não) pelas áreas em preto. O caule é depositado sobre um substrato em ambientes aquosos (Figura 3A). Posteriormente é soterrado e a sua cavidade interna é preenchida por sedimentos e logo ocorre uma rápida precipitação intracelular de alguns minerais que ocorriam dissolvidos no meio líquido circundante (Figura 3B e C). Logo em seguida o preenchimento das cavidades celulares e intersticiais do caule darão origem ao processo de “permineralização” (Figuras 3D e E).

Figura 3 – Diagrama do processo de fossilização.



Fonte: Thomas e Spicer (1987).

As plantas vasculares são plantas que possuem tecidos especializados como o xilema e o floema para transporte de água e sais minerais que alimentam a célula (RAVEN; EVERT; EICHHORN, 2007). O xilema e o floema formam o sistema vascular e ambos são separados em primários e secundários. O xilema e o floema primários, são formados a partir do **procâmbio** e estão organizados somente no sistema **axial**. Já o xilema e floema secundário, são originados a partir do **câmbio**, e contribuem para o crescimento em espessura do corpo vegetal, em consequência da adição de novas células, e estão organizados em dois sistemas distintos: o **axial** e o **radial** (COSTA et al., 2006).

As células do sistema axial (Figura 4A), possuem seu maior eixo orientado no sentido vertical, já as células do sistema radial (Figura 4B), possuem seu maior eixo no sentido horizontal (COSTA et al., 2006). Em seu estágio completo de desenvolvimento, o xilema secundário constitui a madeira, ou lenho.

As plantas vasculares são divididas em dois grupos: Pteridófitas (não possuem semente) e as Espermatófitas (possuem semente). Dentro do grupo das espermatófitas encontramos as gimnospermas e as angiospermas (RAVEN; EVERT; EICHHORN, 2007).

As gimnospermas são mais simples, pois apresentam apenas estruturas como traqueídeos (Figura 4Ab) e raios geralmente unisseriados (tecido xilemático) as vezes com

parênquima axial como mostra a Figura 4Ae, células crivadas e albuminosas (tecido floemático). Já as angiospermas, além de possuírem traqueídeos e raios bisseriados ou multisseriados apresentam outras estruturas, como fibrotraqueídeos, fibra libriformes, parênquima axial e os elementos de vasos (tecido xilemático), representados na Figura 4A (COSTA et al., 2006; RAVEN; EVERT; EICHHORN, 2007).

### 1.2.1 Anéis de Crescimento

Em árvores de clima temperado, a atividade cambial cessa nos períodos em que a temperatura é mais baixa, o que as vezes se prolonga desde o fim do verão até a primavera seguinte, quando a temperatura eleva e o câmbio se torna outra vez ativo. Cada vez que o câmbio retoma a atividade, deixa um sinal representado pela diferença entre as células formadas antes da parada de seu funcionamento e as que representam a atividade cambial no decorrer de um ano. Esse sinal é chamado de anel anual de crescimento (COSTA et al., 2006).

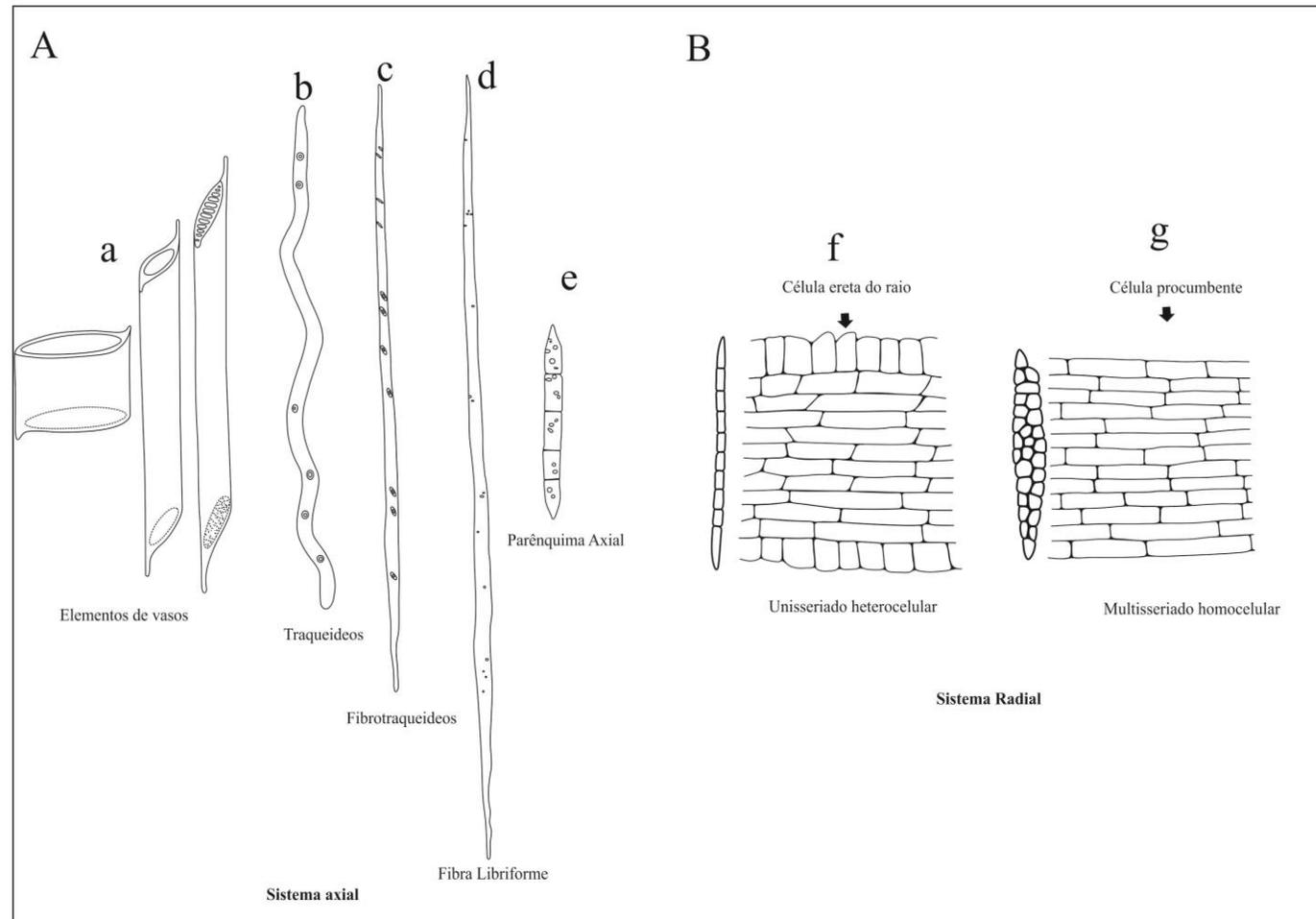
Em anéis de crescimento típicos, normalmente distinguem-se, duas regiões. O **lenho inicial** (primaveril) é a porção de um anel produzida no início da estação de crescimento (primavera). Essa região apresenta células com maiores lúmens e coloração mais clara. E o **lenho tardio** (outonal) é a última camada formada na estação de crescimento. Apresenta células de menores lúmens e paredes mais espessas, apresentando em conjunto, aspecto mais escuro (COSTA et al., 2006; RAVEN; EVERT; EICHHORN, 2007).

A diferenciação dos vasos pode ser devido a alternância das épocas secas e chuvosas, como consequência da disponibilidade de água. Através do padrão de desenvolvimento dos anéis de crescimento é possível fazer deduções paleoecológicas, paleoclimáticas e paleoambientais.

### 1.2.2 Paleoflora Cretácea

O intervalo entre o Jurássico Superior - Cretáceo Inferior foi caracterizado pelo avanço na separação entre o Gondwana e a Laurásia, que deu origem a um vasto oceano que se desenvolveu entre esses dois continentes (SCOTESE, 2003). O nível eustático dos mares era alto, inundando extensas áreas da Laurásia gerando o desenvolvimento de mares epicontinentais. No Gondwana, a fragmentação ocorreu de forma mais intensa, formando bacias de *rifts* na porção nordeste da América do Sul (PIRES; GUERRA-SOMMER, 2011).

Figura 4- Componentes Celulares.



Legenda: **A**- Sistema axial **B**- Sistema radial. **b-e-f**: estruturas encontradas especialmente em gimnospermas; **abcd**: estruturas encontradas especialmente em angiospermas.

Fonte: Costa et al. (2006) e Esau (1974).

O Cretáceo Inferior foi caracterizado pela fase de *icehouse*. Neste período havia neve e gelo durante o inverno, e as florestas temperadas cobriam as regiões polares (Figura 5). A América do Sul ainda se encontrava conectada com a África e representava um clima árido. Este período foi caracterizado pelo aparecimento dos primeiros registros de angiospermas (RICARDI-BRANCO, 2010). A ascensão das angiospermas ocorreu em paralelo com a correspondente redução no número e variedade de musgos, licopódios, equisetáceas, samambaias e cicadáceas, porém em menor proporção em relação à diversidade geral das coníferas (COX; MOORE, 2011).

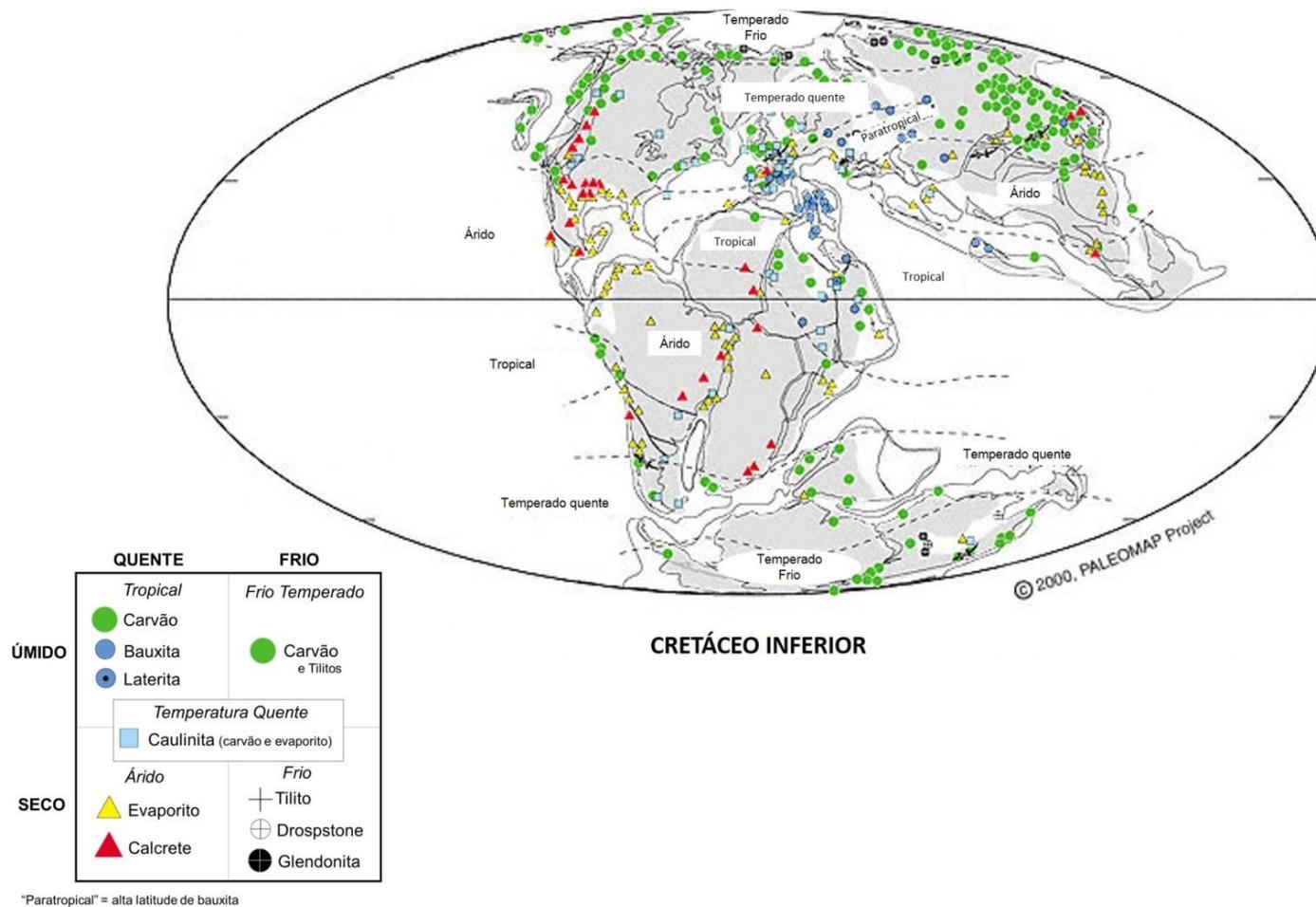
Já o Cretáceo Superior foi marcado por sérias mudanças climáticas globais. O clima tornou-se mais quente do que hoje, não havia mais grandes quantidades de gelo nas regiões polares, e a separação total da América do Sul e da África (Figura 6) tornaram o clima mais tropical e árido para a América do Sul (SCOTESE, 2003).

Para o Cretáceo Inferior do Brasil foi registrada uma assembleia de coníferas silicificadas em depósitos de arenitos eólicos procedentes da Bacia do Paraná, Formação Botucatu, na região de Uberlândia, Estado de Minas Gerais (PIRES et al., 2011). São troncos de tamanhos variados, com a presença de grandes espécimes que estão segmentados continuamente e chegam a alcançar 5 m de comprimento e espécimes compostos de pequenos fragmentos compactados, aproximadamente 30 cm de comprimento (PIRES et al., 2011).

Para o Mesocretáceo do Maranhão foi registrado na Formação Alcântara (Albino Superior – Cenomaniano Inferior) a presença de coníferas possivelmente da família Araucareaceae (ARAÚJO et al., 2011).

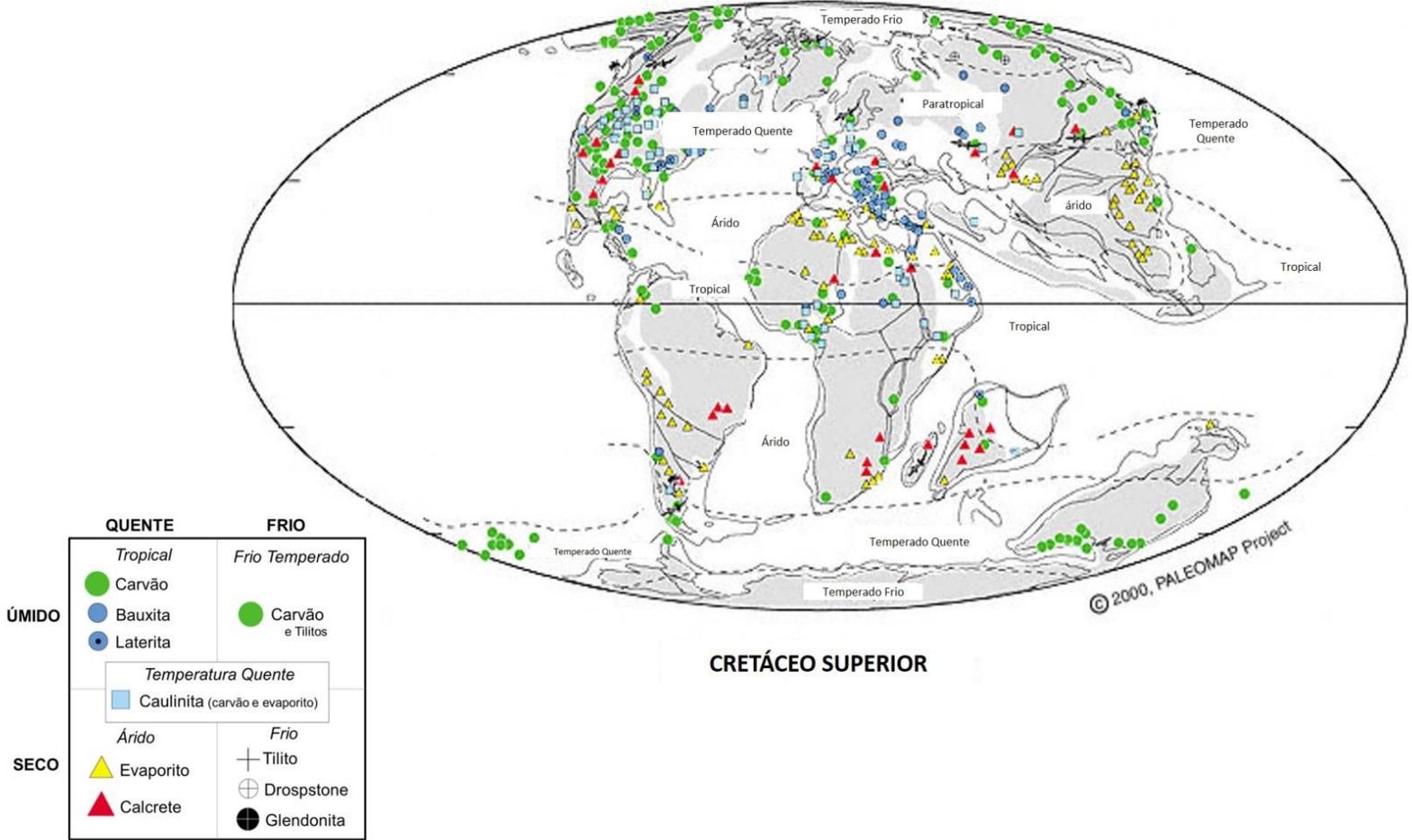
No Estado de Roraima, Souza et al. (2009) constataram a ocorrência de lenhos fósseis provenientes da Bacia do Tacutu, de idade Cretácea. Os lenhos foram encontrados rolados nas margens do Rio Tacutu e variam de pequenos troncos até fragmentos com 70 cm ou mais e de quatro até 20 cm de diâmetro.

Figura 5- Mapa paleoclimático do Cretáceo Inferior.



Fonte: Scotese (2003)

Figura 6 - Mapa paleoclimático do Cretáceo Superior.



Fonte: Scotese (2003)

## 2 OBJETIVOS

Nesta seção serão apresentados o objetivo geral e os objetivos específicos deste trabalho

### 2.1 OBJETIVO GERAL

Tecer inferências sobre a paleoecologia e contexto estratigráfico dos lenhos fósseis da Bacia do Tacutu, Cretáceo, Estado de Roraima.

### 2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Identificar e comparar taxonomicamente os lenhos fósseis do Rio Tacutu e da Serra do Tucano.
- Contextualizar estratigraficamente a ocorrência de lenhos fósseis no Rio Tacutu e na Serra do Tucano.
- Verificar a existência de anéis de crescimento nos lenhos fósseis e o padrão de desenvolvimento dos mesmos.
- Tecer inferências paleoecológicas com base na composição taxonômica dos lenhos fósseis.

### 3 MATERIAL E MÉTODOS

O material estudo está catalogado na subcoleção de Paleobotânica da Coleção de Paleontologia do Laboratório de Paleontologia da Amazônia (LaPA), Instituto de Geociências, Universidade Federal de Roraima, sob a sigla IGEO PB. No total, estão catalogados até o momento 182 fragmentos de lenhos. Destes, 125 são provenientes do Rio Tacutu, 38 da Serra do Tucano e 19 do Rio Arraia. Destes, foram estudados apenas sete espécimes, sendo seis provenientes do Rio Tacutu e um da Formação Serra do Tucano.

#### 3.1 ÁREA DE ESTUDO

A área estudada compreende os limites da Bacia do Tacutu, localizada na região nordeste do Estado de Roraima, abrangendo os municípios de Bonfim e Boa Vista. A região limita-se ao norte com o município de Normandia, a leste com a República Cooperativa da Guiana, a oeste com os municípios de Boa Vista e Cantá e, ao sul, com o município do Cantá (Figura 7).

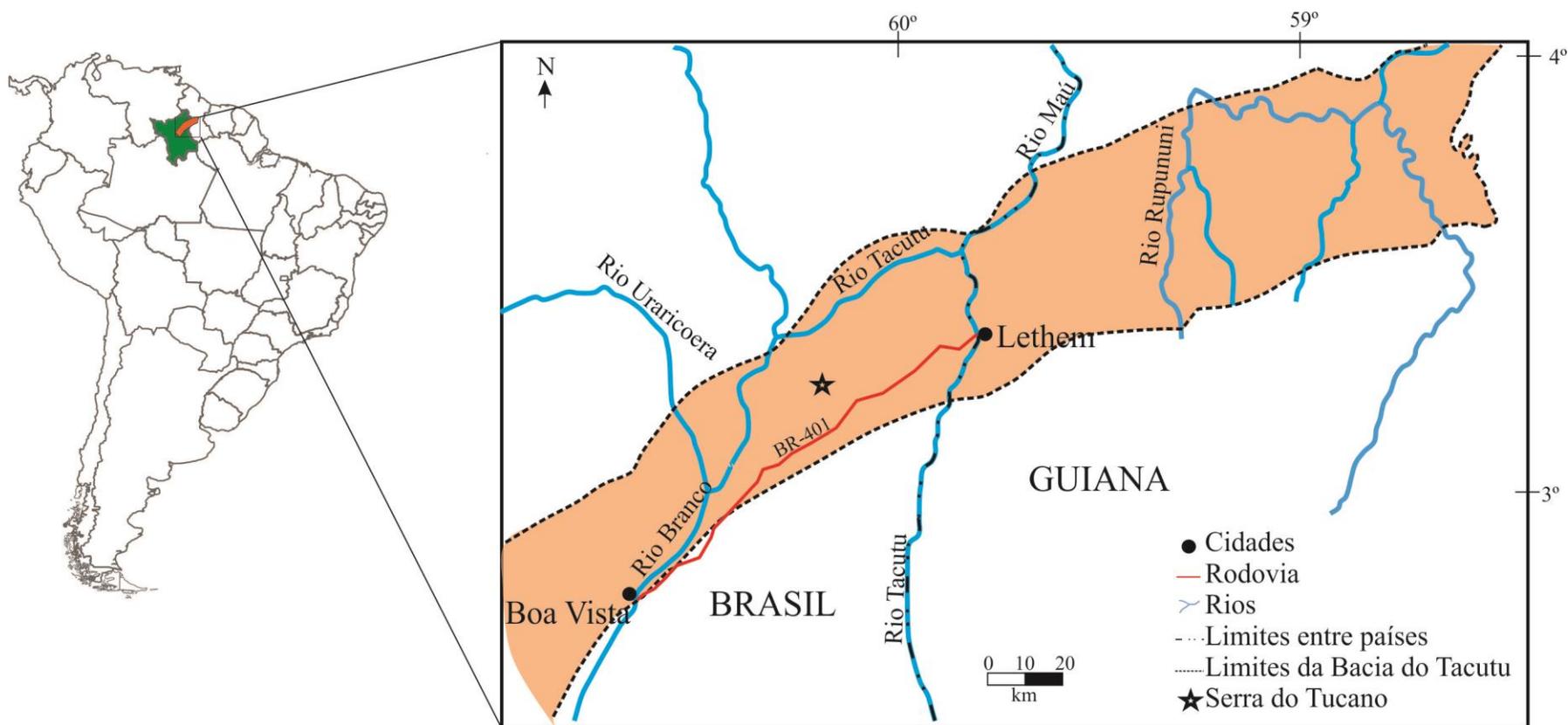
A fisiogeografia desta região é caracterizada por uma planície média acerca de 100 m acima do nível do mar, predominando uma vegetação do tipo cerrado/savana (EIRAS; KINOSHITA, 1990). O acesso as áreas se faz pela BR-401, sentido Boa Vista - Bonfim – Boa Vista (Figura 7).

Foram realizadas cinco expedições de campo no período de cinco de dezembro de 2014 a 20 de abril de 2015 para fins de levantar dados a respeito da geologia e procedência estratigráfica do material estudado.

Os lenhos catalogados na coleção ocorrem depositados às margens do Rio Tacutu, na Serra do Tucano (Morro da Sereia, Morro da Antena, Morro das Lamentações e Morro do Tiro) e às margens do Rio Arraia (Tabela 2). Porém, neste estudo, foram analisados apenas os espécimes procedentes do Rio Tacutu e Serra do Tucano (Morro do Tiro), os espécimes do Rio Arraia não foram incluídos, pois os mesmos foram encontrados após a seleção e elaboração das lâminas.

O mapa de pontos (Figura 8) mostra as localidades de ocorrência dos lenhos fósseis dentro da Bacia do Tacutu catalogados na Subcoleção de Paleobotânica do IGeo/UFRR. As estrelas amarelas representam as localidades dos espécimes estudados neste trabalho.

Figura 7 – Localização do graben do Tacutu.



Fonte: Adaptado de Gibbs e Barron (1993)

Tabela 2 – Tabela com a procedência dos lenhos catalogados na coleção de Paleontologia.

<b>ESPÉCIMES</b>	<b>LOCALIDADE</b>
IGEO PB 326, 347, 348, 351-352, 354-358	Morro da Sereia, Vicinal Tucano Bom 170, Serra do Tucano, Município de Bonfim
IGEO PB 304, 305, 307, 311, 312*	Morro do Tiro, Serra do Tucano, Município de Bonfim.
IGEO PB 21*, 39*, 47*, 58*, 113*, 318-325, 330*, IGEO PB 334 – 337, 376-380	Margem direita do Rio Tacutu. Município de Bonfim.
IGEO PB 338	Morro da Antena, Serra do Tucano, Município de Bonfim.
IGEO PB 26	Morro das Lamentações, Vicinal Tucano Bom 170, Serra do Tucano, Município de Bonfim.
IGEO PB 359-379	Rio Arraia, Município de Bonfim.

\*Espécimes analisados neste estudo.

### 3.2 MÉTODOS

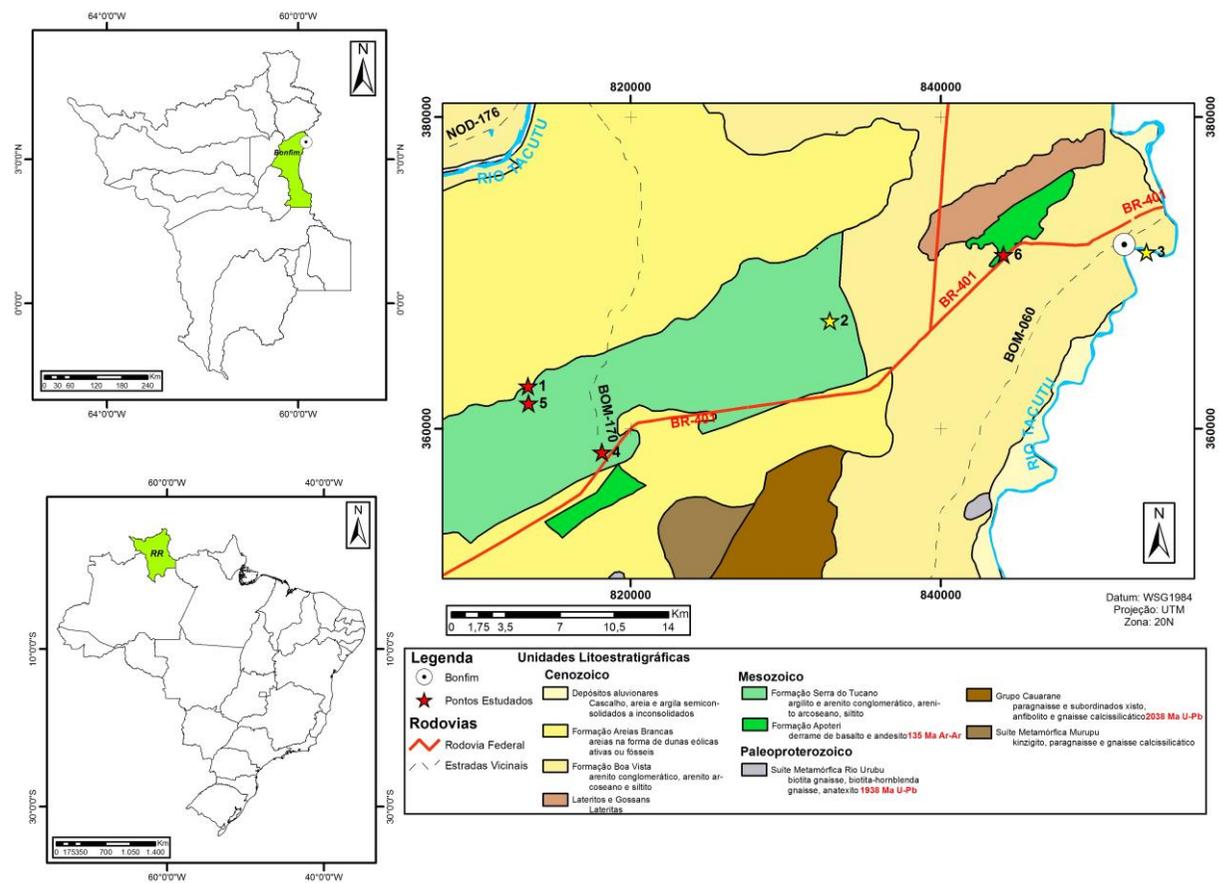
A preparação das amostras foi realizada nas dependências do Instituto Tecnológico de Micropaleontologia da Universidade do Vale do Rio dos Sinos (ITT FÓSSIL - UNISINOS), em São Leopoldo, Estado do Rio Grande do Sul.

Para a análise das amostras e a identificação taxonômica, bem como análise do padrão dos anéis de crescimento dos lenhos foi necessário, primeiramente, a preparação laboratorial, que consistiu em três etapas: seleção dos espécimes a serem analisados, cortes em seções planas dos lenhos e elaboração de lâminas petrográficas delgadas.

No total foram selecionados e cortados 10 espécimes. Sendo seis do Rio Tacutu e quatro da Serra do Tucano. Porém, dos quatro espécimes da Serra do Tucano, três, durante o procedimento de corte em seção plana se desfragmentaram impossibilitando a confecção das lâminas, ficando apenas um espécime para esta localidade. Esta fragmentação foi atribuída ao fato dos espécimes encontrarem-se altamente silicificados.

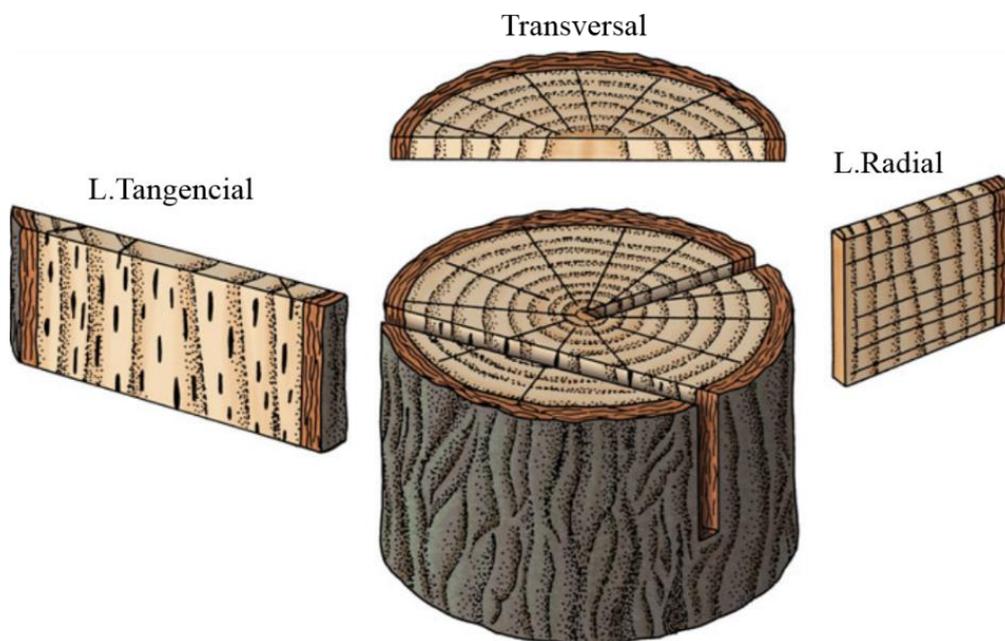
Nas amostras que permitiram a confecção das lâminas, foram elaboradas três lâminas em três planos, transversal, longitudinal radial e longitudinal tangencial (Figura 9), totalizando 21 lâminas.

Figura 8- Mapa de pontos das localidades da Bacia do Tacutu com ocorrência de lenhos fósseis (estrela vermelha) e as localidades do material estudados aqui (estrela amarela).



Legenda: 1- Morro das Lamentações; 2 Morro do Tiro; 3- Rio Tacutu; 4- Morro da Antena; 5- Morro da Sereia; 6- Rio Arraia.  
Fonte: CPRM (2004)

Figura 9- Planos de cortes transversal, longitudinal radial e longitudinal tangencial.



Fonte: Kück e Wolff (2014)

O corte em seção plana consistiu na etapa inicial do processo de preparação das lâminas, no qual foi realizado um corte transversal nos espécimes separando-o em duas partes. Após os cortes, foi escolhida a melhor parte para a confecção das lâminas que incluiu aquelas com maior tamanho, melhor preservada, anéis de crescimento visíveis a olho nu, entre outros seguindo os critérios propostos por Guerra-Sommer e Pires (2010).

Após a escolha utilizando-se de uma máquina manual com serra diamantada os espécimes foram cortados.

Após o corte, as amostras foram lixadas com abrasivo carbureto de silício (220, 400, 600) para que não ficassem ásperas. Em seguida a lâmina de vidro foi foscada no carbureto de silício 600 a fim de dar uma melhor aderência na lâmina. Após lavou-se as amostras e as lâminas de vidro com água, para depois colocá-las para secar em estufa a 50° C por 24 horas.

Após tirar as amostras da estufa, colou-as na lâmina de vidro foscada com araldite, e então a lâmina de vidro também foi colada em uma outra placa de vidro maior e mais espessa para trabalhar no desbaste das amostras. Depois disso, as amostras foram novamente levadas para estufa a 50° C por 24 horas até ficarem secas.

Após a retirada das lâminas da estufa foi retirado o excedente de rocha das amostras utilizando uma máquina serrada lubrificada com água. Após, foram lixadas em máquina politriz até a obtenção da espessura desejada, com carbureto de silício 220 e 400. Posteriormente, para o acabamento final, as amostras foram desbastadas utilizando carbureto de 600 e 800 até atingir a espessura desejada.

O grau de polimento foi controlado através da observação em microscópio ótico, visto que a espessura da lâmina é diferenciada com relação a lâminas petrográficas de rocha.

As fotografias macroscópicas foram tiradas no laboratório de Paleontologia da Amazônia (LaPA) com máquina fotográfica modelo Samsung PL120. As fotos microscópicas das lâminas petrográficas foram tiradas em microscópio de luz transmitida modelo AxioScope A1 Zeiss, equipado com câmera AxioCam MRc e software AxioVision 4.8 realizadas no Laboratório de Paleobotânica da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS).

### 3.2.1 Identificação taxonômica

Esta etapa foi realizada nas dependências do Laboratório de Petrologia, no Laboratório de Paleontologia da Amazônia (LaPA), ambos da Universidade Federal de Roraima, nas dependências do Laboratório de Paleobotânica da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS) em Porto Alegre, e na Universidade do Vale do Taquari de Ensino Superior (UNIVATES), em Lajeado, também no Rio Grande do Sul.

A identificação taxonômica dos lenhos consistiu na análise anatômica macroscópica e microscópica.

A análise **macroscópica** consistiu na observação externa do lenho fóssil, sendo observado características como cor (externa e interna), poros, tipo de sedimento preenchido, presença de medula, entre outras características visíveis a olho nu. Esta análise foi realizada a olho nu e com auxílio de uma lupa.

A análise **microscópica** consistiu na observação das estruturas internas detalhadas, como os tipos de pontoações, largura, altura e comprimento das células dos traqueídeos, etc. Esta observação foi realizada em microscópio petrográfico modelo Carl Zeiss Axio LabA1.

As descrições seguiram, na medida do possível, alguns guias de identificação como o Iawa List of Microscopic Features for Softwood Identification (GERARDS et al., 2007; IAWA COMMITTEE, 2004), bem como chaves de identificação de Bamford e Phillippe (2001) e Phillippe e Bamford (2008), entre outros, além da comparação com trabalhos já realizados,

como por exemplo, Gnaedinger (2007, 2012), Pires et al. (2011) e Torres e Phillippe (2002). As estruturas anatômicas foram mensuradas segundo a literatura específica e as medidas analisadas estatisticamente utilizando o programa Palaeontological Statistics – PAST, versão 2.17 (HAMMER; HARPER; RYAN, 2001).

### **3.2.2 Análise do padrão dos anéis de crescimento**

Devido a pequena quantidade de espécimes analisados neste trabalho, não foi possível fazer a análise total dos padrões dos anéis de crescimento que inclui as medidas de sensibilidade média (SM) e anual (AS) proposta por Fritts (1976). No entanto, foi possível fazer uma descrição dos diferentes tipos de padrão de acordo com a classificação dos anéis de crescimento proposto por Creber e Chaloner (1984) e adaptado por Brison, Phillippe e Thevernard (2001), que visa fornecer subsídios quanto à interpretação dos anéis de crescimento em lenhos fósseis. A classificação dos anéis é baseada na relação lenho inicial, lenho formado durante a primavera, na primeira fase do período vegetativo, suas células são caracterizadas por apresentarem paredes finas e lúmens grandes /lenho tardio, lenho formado durante o verão/outono, na segunda fase do período vegetativo e é constituído por células com paredes espessas e lúmens menores (FERRI, 1996).

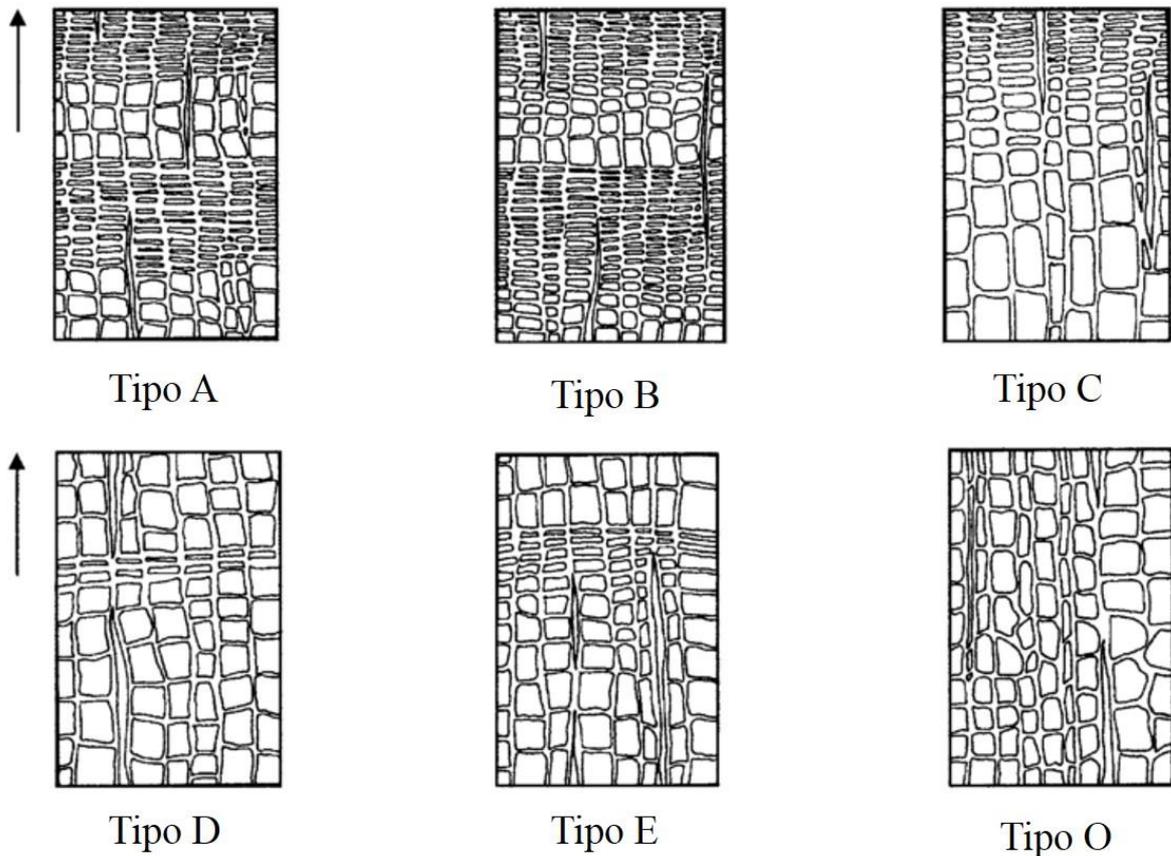
Sendo assim, de acordo com Creber e Chaloner (1984) são identificados seis padrões de desenvolvimento de anéis de crescimento (Tipos “A”, “B”, “C”, “D”, “E” e “O”), todos eles relacionados a determinadas condições ambientais bem estabelecidas (Figura 10) conforme a adaptação de Brison, Phillippe e Thevernard (2001).

### **3.2.3 Interação planta-fungo**

Na natureza, são muitos os tipos de interações que ocorrem entre os organismos, um exemplo disto, é a interação planta – fungo, no qual os fungos agem como micro-organismos decompositores eficientes na biodegradação da madeira. Essa degradação inicia-se com a penetração da hifa fúngica através do lúmen da célula vegetal (CARVALHO et al., 2009).

Para firma-se no substrato, o fungo promove uma intensa secreção de metabólitos extracelulares, especialmente enzimas, que levam à conversão dos componentes da parede celular vegetal em moléculas menores, as quais podem ser transportadas através da membrana plasmática fúngica e adentrar o metabolismo intracelular (CARVALHO et al., 2009).

Figura 10- Ilustração dos seis tipos de anéis de crescimento proposto por Creber e Chaloner (1984) para categorizar diferentes relações lenho inicial / lenho tardio.



Legenda: **Tipo “A”**- anéis sem muito lenho inicial; transições nítidas nas fronteiras lenho inicial / lenho tardio. **Tipo “B”**- anéis com uma ampla faixa de lenho tardio; a transição para o lenho tardio é mais gradual gradual. **Tipo “C”**- anéis com uma transição muito gradual do lenho inicial para lenho tardio; **Tipo “D”**- anéis com uma faixa fina de lenho tardio; lenho inicial / lenho tardio limite bem marcado. **Tipo “E”**- anéis similar ao tipo D, mas a transição para o lenho tardio não é tão nítida. **Tipo “O”**- anéis resultantes de uma situação em que todos os requisitos para o crescimento estão constantemente presentes; nenhuma mudança perceptível no diâmetro traqueídeos. Obs: A seta indica a direção de crescimento.

Os fungos decompositores podem ser classificados em três grupos: fungos de decomposição branca, também chamada de “podridão branca” (*white – rot fungi*) capaz de degradar os três componentes da parede celular vegetal; fungos de decomposição parda, chamados também de “podridão marrom” (*brown – rot fungi*), capazes de degradar principalmente as frações polissacarídeas e os fungos de decomposição branca, também chamados de “podridão mole” (*soft – rot fungi*), que podem degradar tanto os polissacarídeos, quanto a lignina, porém em menor velocidade (CARVALHO et al., 2009; SCHWEINGRUBER, 2007).

Diante disso, esta etapa consistiu em caracterizar os diferentes tipos de ataques observados em microscopia com base em Blanchette (1995) e Schweingruber (2007), com o intuito de levantar inferências paleoclimáticas e paleambientais para a região.

Esta etapa foi realizada nas dependências do laboratório de Paleobotânica da Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Nesta seção serão apresentados e discutidos o contexto estratigráfico do material estudado, a identificação taxonômica, os padrões dos anéis de crescimento encontrados e os aspectos paleoambientais relacionados a interação planta - fungo.

### 4.1 CONTEXTO ESTRATIGRÁFICO

Seis dos espécimes estudados são procedentes da Formação Boa Vista (IGEO PB 21, 39, 47, 58, 113 e 330), todos oriundos do nível de paleopavimento, como está descrito no perfil levantado na margem direita do Rio Tacutu, com acesso pela Av. São Sebastião, na área urbana do Município de Bonfim. Mede  $\pm 8$  m de altura, sendo distribuído em três camadas distintas I, II, III (Figura 11).

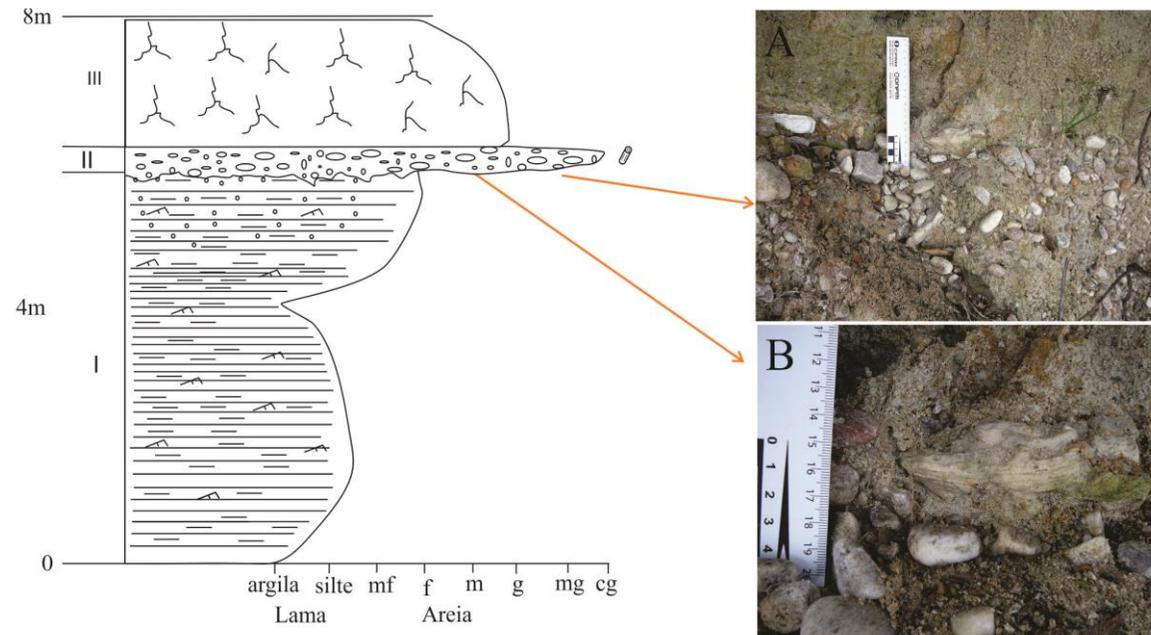
A primeira camada (I) apresenta  $\pm 5,90$  m de espessura e coloração avermelhada. É composta por pelitos compostos por silte e areia fina com laminação plano paralela. Seu contato é abrupto com a camada sotoposta, sendo que, próximo ao topo desta camada, apresenta maior proporção de areia fina e média. Estes pelitos são característicos da Formação Tacutu e ocorrem ao longo de todo o leito e margem do Rio Tacutu.

A camada II mede 0,30 m de espessura e caracteriza-se por um conglomerado de coloração cinza claro, composto por seixos subarredondados, estrutura maciça, e com fragmentos de troncos. Apresenta contato erosivo com a camada sotoposta (Figura 11).

A camada III mede 1,80 m de espessura, sendo um arenito de coloração cinza, composto por grãos que variam de areia fina a média, de estrutura maciça e coberta por mata ciliar.

Desde a descoberta dos lenhos fósseis na Bacia do Tacutu, eles são descritos como pertencentes a Formação Tacutu (SOUZA et al., 2009; LOPES; SOUZA, HOLANDA, 2011), no entanto, recentes estudos realizados em mapeamento de campo têm gerado dúvidas quanto a procedência destes espécimes, uma vez que, estes lenhos foram encontrados depositados em um paleopavimento, descrito por Eiras e Kinoshita (1990) como pertencente à Formação Boa Vista, de idade Cenozoica.

Figura 11- Perfil litoestratigráfico da margem direita do Rio Tacutu mostrando nível de conglomerados de onde procedem os troncos fossilizados.

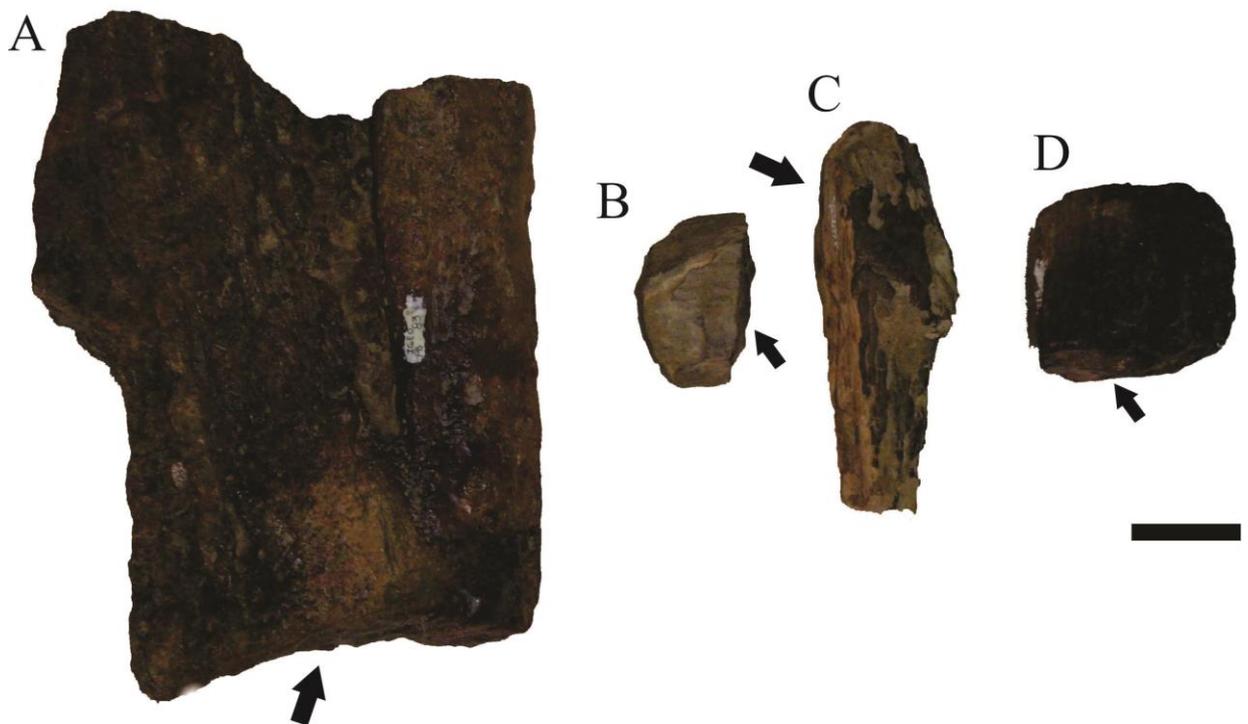


- |  |                                     |
|--|-------------------------------------|
| <p><b>Legenda</b></p> <p> Pelito com laminação plano paralela com marcas de onda</p> <p> Arenito fino e siltito com laminação plano paralela.</p> <p> Arenito grosso maciço com marcas de raízes</p> <p> Conglomerados com fragmentos de pelito laminado com fragmento de tronco</p> | <p><b>Fóssil</b></p> <p> Tronco</p> |
|--|-------------------------------------|

Legenda: **mf**: muito fina, **f**: fina, **m**: média, **g**: grossa, **mg**: muito grossa. **A**- Detalhe do conglomerado. **B**- Lenho fóssil depositado no conglomerado.

Os lenhos fósseis desta unidade apresentam diferentes graus de abrasão. As superfícies de fragmentação são planas e com margens levemente arredondadas (Figura 12), indicando quebra após iniciado o processo de fossilização e transporte (REIF, 1971; BEHRENSMEYER, 1975). Sendo assim, é possível inferir que os lenhos já fossilizados ou pré-fossilizados, ao ficarem expostos foram erodidos, transportados e redepositados no paleopavimento. Diante disso, também pode-se supor que os lenhos pertençam a um nível estratigráfico mais antigo do que o paleopavimento cenozoico.

Figura 12 - Lenhos fósseis com diferentes tipos de abrasão.



Legenda: A- IGEO PB 83, B- IGEO PB51; C- IGEO PB 52; D- IGEO PB 122. Setas indicam fragmentação com superfície plana. Escala: 1 cm.

Apenas o espécime IGEO PB 312 é procedente da Formação Serra do Tucano, no entanto, nenhum dos lenhos registrados foram encontrados em nível estratigráfico, mas rolados sobre os arenitos.

Foi levantado um perfil no Morro do Tiro, Serra do Tucano, entrada a esquerda pela BR 401, próximo a cidade de Bonfim com auxílio do geólogo Prof. Dr. Fábio Wankler.

A base é composta por um conjunto de camadas de arenito com estratificação cruzada tangencial, resultados da deposição de dunas subaquosas tipo “3D”, características de depósitos de fundo de canal. Sobrepostas a elas, existe um conjunto de camadas conglomerado maciço formados por grãos de quartzo mono e policristalino subangulosos a subarredondados, intercaladas com arenitos maciços. Este conjunto de camadas foram interpretadas como o resultado de deposição de sedimentos oriundo de processos fluxo de detritos de barras subaquosas. Sobrepostas a elas, reconhece-se uma pequena lente de pelito maciço, provavelmente formada durante a fase de estagnação da movimentação da duna subaquosa ou devido avulsão do canal fluvial (depósitos parálicos formados devido o abandono do canal), logo em seguida depositou-se um pacote de arenitos de grão muito grosso, formado por lentes de arenito de estratificação tangencial, na base do pacote e um conjunto de camadas de arenito com estratificação cruzada de menor porte, do topo do pacote. As camadas da base do pacote representariam dunas subaquosas (estratificação cruzada do tipo 3D) formadas no fundo do canal, enquanto os depósitos de topo representariam possíveis dunas subaquosas limitadas por superfície de acreção formadas migração (lateral?/frontal?) de barras fluviais. Sobre a última camada de arenito médio a fino encontra-se icnofósseis (Figura 13).

#### 4.2 DESCRIÇÃO TAXONÔMICA

As descrições a seguir serão apresentadas por localidade, inicialmente aqueles pertencentes ao Rio Tacutu e posteriormente a Serra do Tucano.

Sistemática Paleobotânica

Divisão Tracheophyta Stewart e Rotwell, 1993

Classe Gymnospermopsida Stewart e Rotwell, 2001

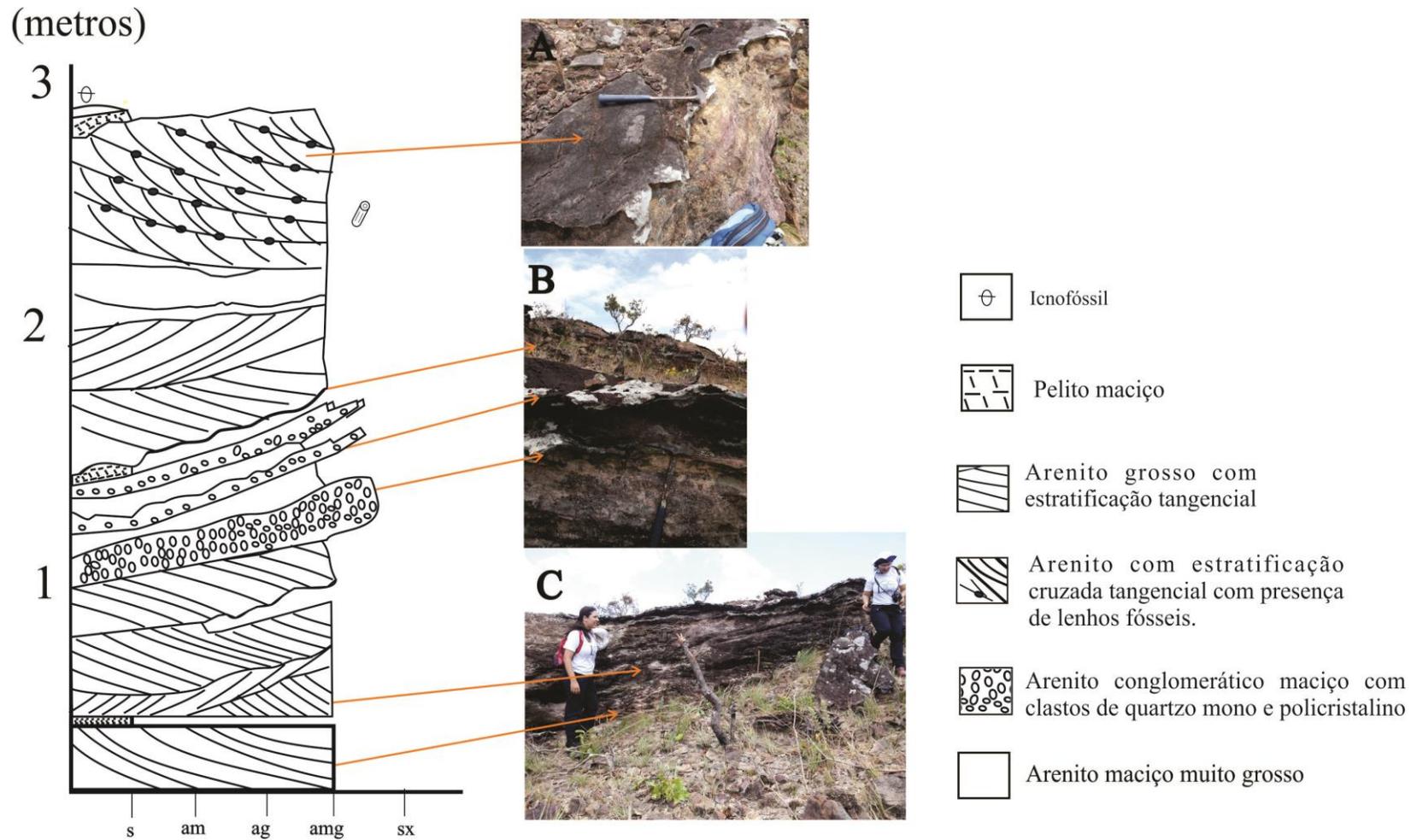
Ordem ?Coniferales Gifford e Foster, 1989

**Material:** Fragmentos de troncos, IGEO 21, 39, 58, 113 e 330.

**Localidade:** Margem do Rio Tacutu, Município de Bonfim, Estado de Roraima, Brasil.

**Descrição Macroscópica:** No geral, os troncos apresentam na parte externa coloração que varia de amarelo a marrom, e internamente, apresentam coloração que varia de cinza escuro com intercalações de azul a cinza avermelhado. O espécime IGEO PB 58 apresenta nervuras amarelas por todo o lenho, semelhantes a marcas de anéis de crescimento.

Figura 13 – Perfil do Morro do Tiro, Serra do Tucano.



Legenda: **s** - silte, **am**- areia média, **ag**- areia grossa, **amg**- areia muito grossa, **sx**- seixo. **A-B-C**: Fotos com detalhe das estruturas.

Variam de 4,7 cm a 10,7 cm de comprimento, 2,7 cm a 7,2 cm de largura e 1,9 cm a 5,4 cm de espessura (Tabela 3). Os espécimes apresentam bom estado de preservação, a superfície de fragmentação é plana com as margens levemente arredondadas, indicando quebra após iniciado o processo de fossilização e transporte (Figuras 14A - E).

Tabela 3- Medidas macroscópica dos espécimes em centímetros.

Espécimes	Comprimento	Largura	Espessura
IGEO PB 21	10,7	5,6	3,7
IGEO PB 39	11,7	7,0	3,9
IGEO PB 47	8,5	3,7	2,6
IGEO PB 58	6,9	7,2	4,7
IGEO PB 113	7,9	4,9	3,2
IGEO PB 312	13,5	7,0	5,4
IGEO PB 330	4,7	2,7	1,9

**Descrição Microscópica:** Parte do xilema secundário; lenho picnoxílico. Em seção transversal, é observada em todos os espécimes a presença de manchas pretas impregnadas nos traqueídeos, possivelmente resinas traumáticas, causadas por algum tipo de ataque (Figuras 15A-B). No entanto, essas resinas assemelham-se muito com o parênquima axial, o que dificulta a distinção (Figura 15B e D). O diâmetro médio dos traqueídeos varia de 26  $\mu\text{m}$  a 33,2  $\mu\text{m}$ , a espessura das paredes celulares varia de 3,6  $\mu\text{m}$  a 6,4  $\mu\text{m}$  e o diâmetro médio dos lúmens varia de 19,5  $\mu\text{m}$  a 23,2  $\mu\text{m}$ . Em três espécimes (IGEO PB 39, 58 e 113) é observado a presença de uma coloração avermelhada, possivelmente óxido de ferro recobrimdo algumas das estruturas (Figuras 15A-B). Nos espécimes IGEO PB 21, 39 e 58 é notável a presença de canais traumáticos, causadas possivelmente por ataques de fitófagos (Figura 15A).

Em seção radial, observa-se pontoações areoladas na parede radial dos traqueídeos ocorrendo de forma unisseriada continua (IGEO PB 39, 58 e 330), e outras de forma bisseriada continuas (IGEO PB 21). No entanto, a presença de campo de cruzamento foi observada apenas em um único espécime (IGEO PB 39), mas não foram encontradas

Figura 14- Fragmentos de lenhos em observação macroscópica.



Legenda: **A-B-D-E**, Vista lateral dos espécimes IGEO PB 21, 39, 58, 113. **C**- Vista transversal em seção plana (IGEO PB 58) Escalas = 2 cm (A-B; D-E); 1 cm (C). Setas indicam fragmentação com superfície plana.

pontoações dentro do campo, o que dificulta a identificação dos espécimes a nível de família e gênero (Figura 15E).

Em seção tangencial é observada a presença de raios parenquimáticos apenas em dois espécimes (IGEO PB 58 e 113). Estes são unisseriados, variando de 4 a 10 células de altura, e suas terminações normalmente são agudas (Figura 15C).

A ausência de elementos de vasos na seção transversal e a presença apenas de traqueídeos atribuem estes espécimes a classe Gymnospermopsida.

Para Bamford e Phillippe (2008), a disposição das pontoações areoladas na parede radial dos traqueídeos e os campos de cruzamento em secção radial são essenciais para a definição de uma família ou gênero. Porém nestes espécimes foram encontradas apenas pontoações areoladas, aparentemente contínuas, e campos de cruzamento impossíveis de verificar as pontoações, o que torna difícil a identificação. No entanto, as pontoações areoladas e os raios parenquimáticos unisseriados indicam afinidade com a ordem Coniferales (GIFFORD; FOSTER, 1987).

As coníferas constituem o maior e mais importante agrupamento de gimnospermas (JUDD et al., 2009). Se distribuem por todos os continentes, com exceção da Antártica. Contudo, sua distribuição não é uniforme, já que grandes extensões arborizadas no hemisfério norte (são o componente dominante) se contrapõem com o que ocorre no hemisfério sul, onde a vegetação arbórea é dominada principalmente por angiospermas (FARJON, 2008).

De acordo com Taylor, Taylor e Krings (2009) a ordem Coniferales apresenta 10 famílias: Palissyaceae<sup>†</sup>, Cheirolepidiaceae<sup>†</sup>, Podocarpaceae, Araucariaceae, Cupressaceae, Sciadopityaceae<sup>†</sup>, Pararaucariaceae, Pinaceae, Cephalotaxaceae e Taxaceae.

As famílias Palissyaceae, Cheirolepidiaceae e Sciadopityaceae já extintas, acredita-se que tenham surgido no início do Triássico e permaneceram até o final do Cretáceo (MUSSA, 2004; TAYLOR; TAYLOR; KRINGS, 2009).

As famílias Araucariaceae, Podocarpaceae e Cupressaceae estão presente em ambos hemisférios, porém as Podocarpaceae e Cupressaceae são predominantes no hemisfério sul (THOMAS; SPICER, 1987; ENRIGHT; HILL; VEBLEN, 1995). A família Pinaceae, Taxaceae e Cephalotaxaceae estão presente apenas no hemisfério norte (ENRIGHT; HILL; VEBLEN, 1995; FARJON, 2008; MUSSA, 2004; THOMAS; SPICER, 1986).

Divisão Tracheophyta

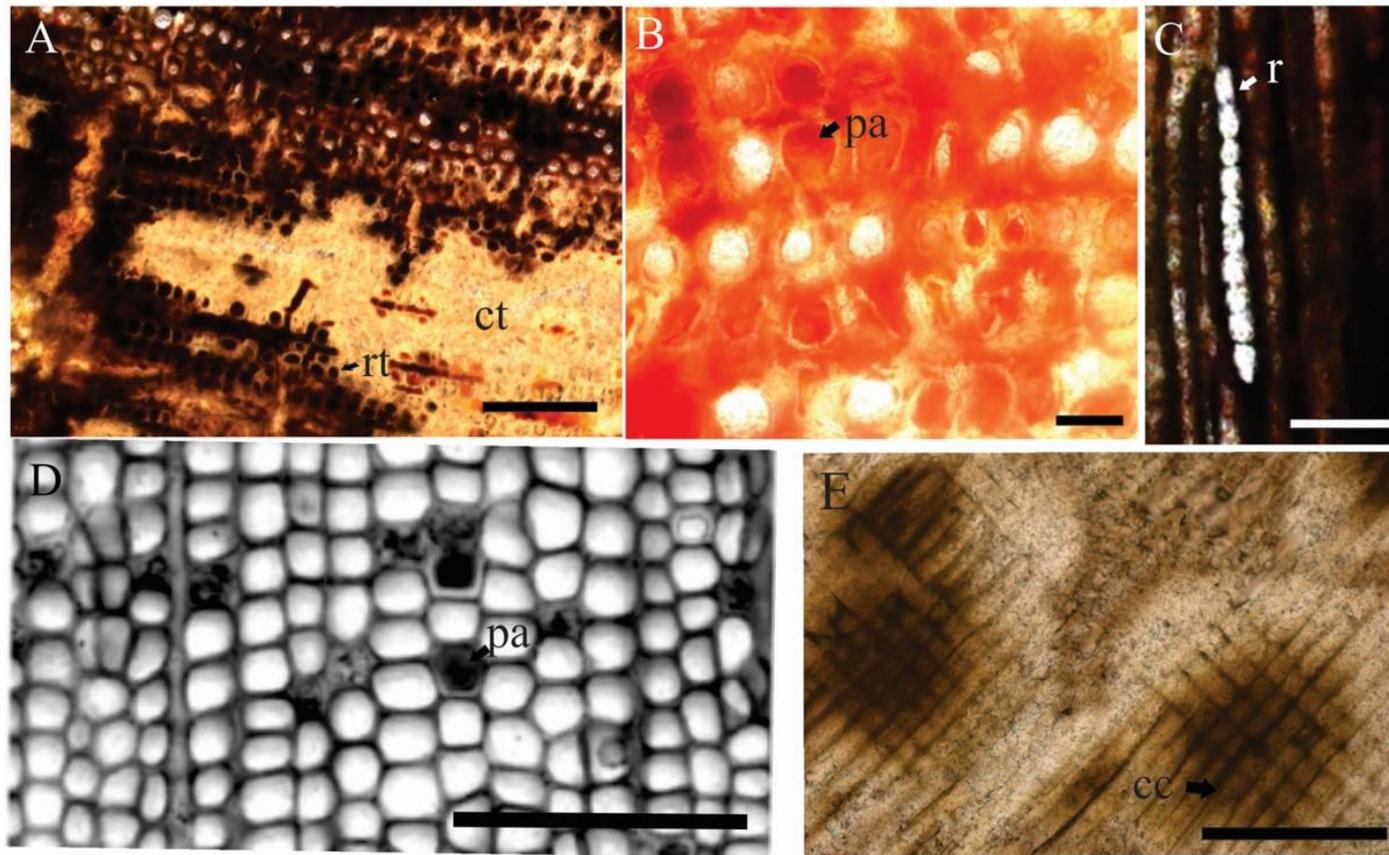
Classe Gymnospermopsida

Ordem Coniferales

Família Cheirolepidiaceae Krausel 1949

Gênero *Brachyoxylon* Hollick e Jeffrey, 1909

Figura 15- Lenhos do Rio Tacutu.



Legenda: **A-B- Seção Transversal:** **A-** canais traumáticos (ct) com resinas traumáticas (rt), **B-** parênquima axial (pa) com coloração avermelhada (óxido de ferro) (IGEO PB 58), **A-** lente de aumento 50x. **B-**100x. **C- Seção longitudinal tangencial:** Raios parenquimáticos unisseriados (r) (IGEO PB 113), lente de aumento 100x. **D-** Exemplo de vista transversal com a presença de parênquima axial. **E- Seção longitudinal radial:** Campos de cruzamentos (cc) sem pontoações (IGEO PB 39), lente de aumento 40x. Escalas: 20  $\mu$ m.

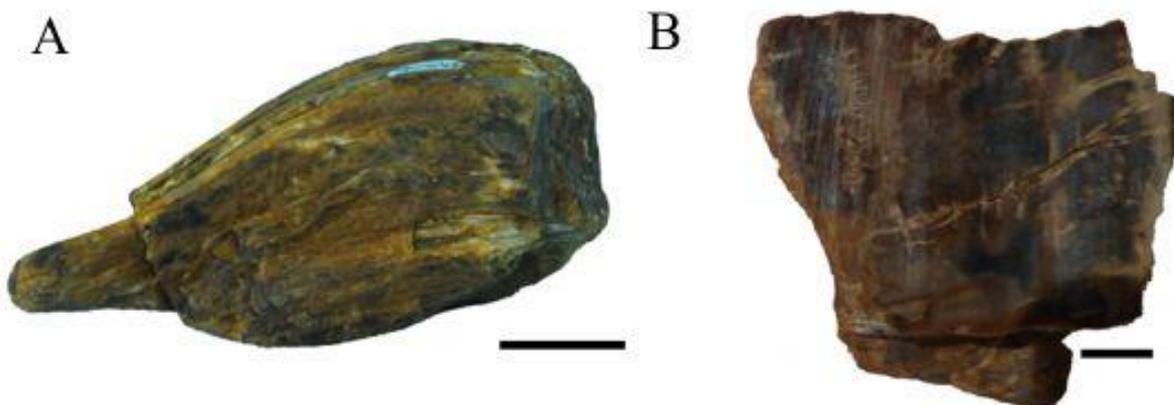
**Material:** Fragmento de tronco, IGEO PB 47.

**Localidade:** Margem do Rio Tacutu, Município de Bonfim, Estado de Roraima, Brasil.

**Descrição Macroscópica:** Xilema secundário; lenho externamente caracterizado pela cor amarelo a marrom escuro; internamente apresenta coloração cinza escuro com intercalações de marrom amarelado. Possui 8,5 cm de comprimento, 3,7 cm de largura e 2,6 cm de espessura. O material apresenta bom estado de preservação, apresenta superfície de fragmentação plana, suas bordas levemente arredondadas, indicando sinal de transporte (Figuras 16A - B).

**Descrição Microscópica:** Parte do xilema secundário; lenho do tipo picnoxílico. Em seção transversal observa-se a presença de uma pequena faixa de anéis de crescimento de 3 a 4 células bem marcadas por uma redução do diâmetro radial das células (Figuras 17A - B). Os traqueídeos apresentam diâmetro médio de 30,5  $\mu\text{m}$  (20  $\mu\text{m}$  - 50  $\mu\text{m}$ ). A parede celular dos traqueídeos apresenta espessura média de 5,76  $\mu\text{m}$  (2  $\mu\text{m}$  - 10  $\mu\text{m}$ ), e o diâmetro médio do lúmen apresenta 19,6  $\mu\text{m}$  (12  $\mu\text{m}$  - 34  $\mu\text{m}$ ). Observa-se ainda a presença de parênquima axial (Figura 17A) e algumas lacunas possivelmente de origem traumática (Figura 17C).

Figura 16- Fragmento de lenho em observação macroscópica (IGEO PB 47).



Legenda: **A**- Vista lateral. **B**- Vista transversal em seção plana. Escalas = 2 cm (A); 1 cm (B).

Em seção radial observa-se a presença de pontoações areoladas unisseriadas espaçadas e contínuas (Figuras 17D e G), com a abertura das pontoações de forma circular. Os campos de cruzamento apresentam arranjos oculiporos, pontoações do tipo cupressoide com disposição araucariano de 3 a 4 pontoações por campo de cruzamento (Figura 17H).

Em seção tangencial, observa-se raios parenquimáticos unisseriados, apresentando de uma a 11 células de altura, porém, são mais frequentes raios de 2 a 4 células de altura (Figura 17E).

Nas três seções são observadas manchas pretas semelhantes a parênquima axial (observada na seção transversal) no decorrer de quase toda a lâmina (Figuras 17A), entre os traqueídeos e fora deles, o que provavelmente, são resinas traumáticas causadas por ataques de fitófagos, o que torna difícil a distinção entre os dois. Entretanto, o parênquima axial, quando presente, também aparece em seções tangenciais da maneira como mostra a Figura 17F, sendo este o critério que levou a classificar a estrutura como parênquima axial, possibilitando assim a diferenciação.

De acordo com Iamandei e Iamandei (2005), a família Cheirolepidiaceae apresenta anéis de crescimento distintos, canais resiníferos traumáticos, parênquima axial as vezes presente e raios parenquimáticos exclusivamente unisseriados com 1 a 11 células de altura, características encontradas no espécime e que permitiram atribuir à família.

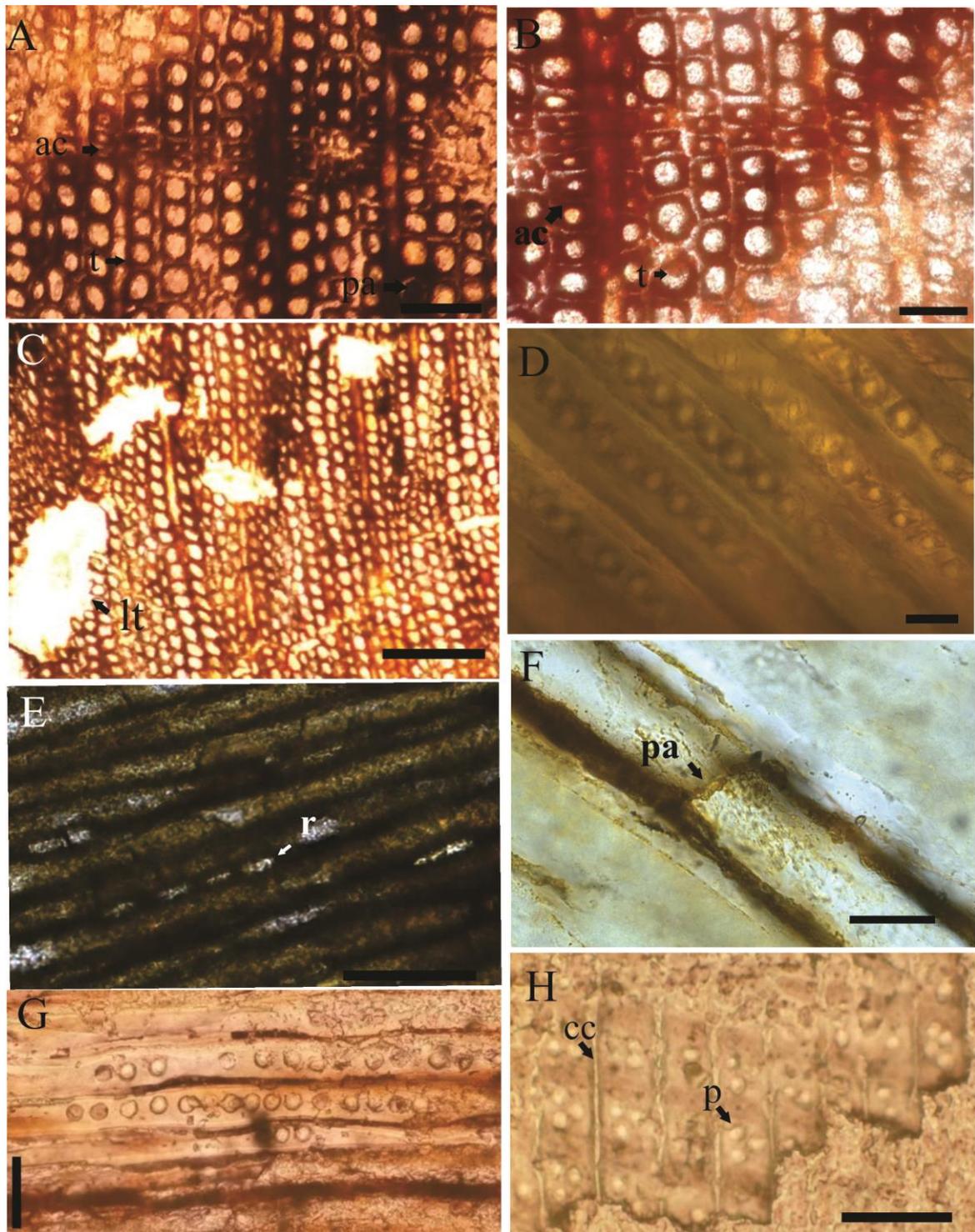
Para Phillipe e Bamford (2001) e Bamford e Phillipe (2008) as pontoações na parede radial dos traqueídeos e os campos de cruzamento são características essenciais na identificação dos gêneros. Sendo assim, pode-se atribuir este espécime ao gênero *Brachyoxylon*, uma vez que, segundo Phillipe e Bamford (2001), Iamandei e Iamandei (2005) e Bamford e Phillipe (2008), este gênero apresenta pontoações na parede radial dos traqueídeos, com um plano do tipo misto (pontoações areoladas contínuas e espaçadas), os campos de cruzamento apresentam arranjos oculiporos, com pontoações do tipo cupressoide, e disposição araucariano, características essas encontradas no espécime estudado.

O material aqui descrito não apresentou afinidade com os demais gêneros (*Protocupressinoxylon*, *Protopodocarpoxyton* e *Agatoxyton*) da família, pois, o gênero *Protocupressinoxylon* apresenta diferentes tipos de pontoações distribuídas por todo o lenho e a pontoação no campo de cruzamento é do tipo cupressoide (PHILLIPE; BAMFORD, 2008); o gênero *Protopodocarpoxyton* apresenta pontoação no campo de cruzamento podocarpoide e o gênero *Agatoxyton* apresenta um plano araucariano na parede radial dos traqueídeos (BAMFORD; PHILLIPE, 2001).

No entanto, para os autores Bamford e Phillipe (2001) e Phillipe e Bamford (2008) os gêneros apresentam muita semelhança entre si, mudando apenas pequenas características, no qual muitos são usados como sinônimos.

A família Cheirolepidiaceae é uma grande família de Coníferas que existiu durante o Mesozoico (MUSSA, 2008; TAYLOR; TAYLOR; KRINGS, 2009). Teve surgimento no

Figura 17- Anatomia do lenho de *Brachyoxylon* (IGEO PB 47).



Legenda: **A-C Seção Transversal:** **A-B.** Anel de crescimento (ac) com parênquima axial (pa) e traqueídeos (t), **A-** lente de aumento de 10x, **B-** lente de aumento de 50x. **C-** Lacunas de origem traumáticas (lt), lente de aumento de 10x. **D- Seção Longitudinal Radial:** Pontoações na parede radial dos traqueídeos, areoladas, unisseriadas e contínuas, lente de aumento 100x. **E-F- Seção Longitudinal Tangencial:** **E-** Raios parenquimáticos unisseriados (r), lente de aumento 100x. **F-** Parênquima axial (pa), lente de aumento 100x. **G-H- Seção Longitudinal Radial:** **G-** Pontoações na parede radial dos traqueídeos areolada unisseriadas espaçadas, lente de aumento 50x. **H-** Campo de cruzamento (cc) com pontoações (p) oculiporos do tipo cupressoide, com disposição araucariano, lente de aumento 50x. Escalas: 20  $\mu$ m.

Triássico, porém apresentou maior sucesso durante o Jurássico e Cretáceo Inferior, se extinguindo no final do Cretáceo Superior (HAMEM et al., 2003).

Reconstituições paleoambientais realizadas com base em macrofósseis têm demonstrado que essas plantas eram monodominantes em ambientes xerófilos, hipersalinos (FRANCIS, 1983), compondo também biomas mais complexos, associados a ambientes fluviais. Por outro lado, análises baseadas na distribuição palinológica têm indicado o domínio desse grupo de plantas no Mesozoico em regiões costeiras, de climas quentes e em baixas latitudes (GUERRA-SOMMER; PIRES, 2011).

Estas reconstituições têm sido baseadas na conexão orgânica entre diferentes órgãos, bem como, na identificação do padrão cuticular, associada ao padrão polínico unificador relacionado ao grão de pólen do tipo *Classopolis* (GUERRA-SOMMER; PIRES, 2011). Todos os membros desta família apresentam a morfologia comum de grãos de pólen do tipo *Classopolis sp.*, morfologia essa não encontrada em nenhuma das demais famílias de coníferas (MUSSA, 2004).

Registros de grãos de pólen dos gêneros *Classopolis sp.*, *Protoconiferus funaris* (CRAWFORD; SZELEWSKI; ALVEY, 1985) e *Pagiophyllum* (HAMEM; BURGER, 1966) foram descritos para a Bacia do Tacutu, porém na porção Guianense, para as formações Pirara e Tacutu, datadas entre o Jurássico Superior-Cretáceo Inferior. Nas bacias cretáceas do nordeste brasileiro, como a Bacia do Araripe, são encontrados diversos gêneros de Cheirolepidiaceae (BERNARDES-DE-OLIVEIRA et al., 2007).

Divisão Tracheophyta  
Classe Gymnospermopsida  
Ordem ?Coniferales

**Material:** Fragmento de tronco, IGEO PB 312.

**Localidade:** Morro do Tiro, vicinal à esquerda da BR 401, Município de Bonfim, Roraima.

**Horizonte e Idade:** Formação Serra do Tucano, Cretáceo Inferior, Bacia do Tacutu.

**Descrição Macroscópica:** A parte externa no tronco apresenta coloração marrom avermelhado com a presença de cristais de quartzo impregnado em quase todas as partes do tronco. Margens levemente arredondadas. Internamente apresenta coloração cinza a esbranquiçada e a medula encontra-se preenchida por cristais de quartzo. Apresenta 13,5 cm de comprimento, 7 cm de largura e 5,4 cm de espessura (Figuras 18A –B).

**Descrição Microscópica:** Parte do xilema secundário; lenho picnoxílico. Em seção transversal é possível observar a presença de traqueídeos mal preservados, apresentando diâmetro médio de  $38\ \mu\text{m}$  ( $30\ \mu\text{m} - 50\ \mu\text{m}$ ), espessura da parede medindo  $5,44\ \mu\text{m}$  ( $2\ \mu\text{m} - 10\ \mu\text{m}$ ) e diâmetro médio do lúmen de  $26\ \mu\text{m}$  ( $18\ \mu\text{m} - 42\ \mu\text{m}$ ). Neste espécime também são observadas manchas pretas por toda a extensão da lâmina, dentro e fora dos traqueídeos, provavelmente resinas de origem traumáticas (Figura 19A).

Em seção radial foi possível observar apenas algumas estruturas semelhantes a campos de cruzamentos, porém muito mal preservados impossibilitando a identificação do campo.

Em seção tangencial é possível observar a presença de raios parenquimáticos predominantemente unisseriados, porém, alguns bisseriados. Os raios apresentam altura de uma a 8 células, predominando os raios de 1 a 2 células de altura (Figura 19B).

Neste espécime não foram encontradas características diagnósticas que permitissem a identificação a nível de família e gênero.

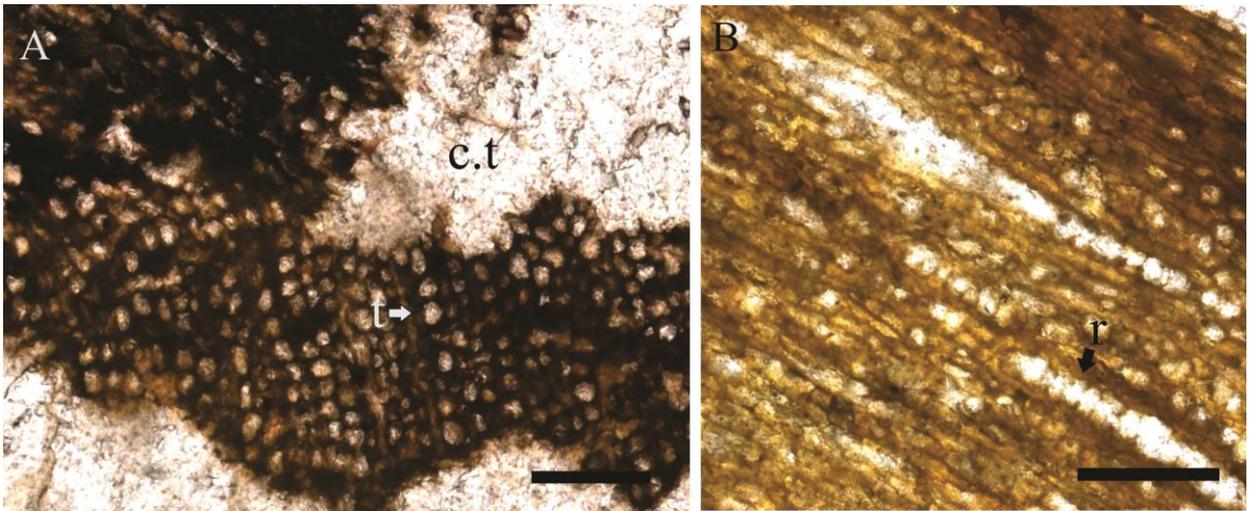
No entanto a ausência de elementos de vasos na seção transversal e a presença apenas de traqueídeos indicam pertencer a Classe Gymnospermopsida. Como não foi possível observar a presença de pontoações areoladas na parede radial dos traqueídeos devido à má preservação, não foi possível atribuir uma classificação a nível de gênero e família. No entanto, a presença de raios predominantemente unisseriados indicam uma afinidade com a ordem Coniferales (GIFFORD; FOSTER, 1987).

Figura 18 – Fragmento de lenho em observação macroscópica (IGEO PB 312).



Legenda: **A-** Vista lateral. **B-** Vista transversal em seção plana. Escalas = 2 cm (A); 1 cm (B).

Figura 19- Lenho da Serra do Tucano (IGEO PB 312)



Legenda: **A - Seção Transversal:** Vista transversal apresentando traqueídeos e canais traumáticos (ct), lente de aumento 10x. **B - Seção Longitudinal Tangencial:** Presença de raios parenquimáticos unisseriados (r) com alguns bisseriados, lente de aumento 50x. Escalas: 20 µm.

#### 4.3 DESENVOLVIMENTO DOS PADRÕES DE ANÉIS DE CRESCIMENTO

No espécime IGEO PB 47 observa-se anéis de crescimento bem marcados, formados por uma fileira de duas a quatro células bem definidas. A transição do lenho inicial para o final ocorre de forma abrupta, sendo visível a diminuição das células do lúmen dos traqueídeos, bem como o aumento instantâneo (Figura 20B). No entanto, a área do anel de crescimento não apresenta uma linha nítida de interrupção, sendo evidenciada em apenas uma pequena região da seção transversal.

No espécime IGEO PB 113 observa-se também a presença de anéis de crescimento, porém, eles ocorrem com maior frequência e com variação na largura do anel. A transição do lenho inicial para o final é também de forma abrupta (Figura 20A).

No espécime IGEO PB 39 observa-se a presença de duas zonas estreitas marcadas ao longo da seção transversal. A primeira zona (acima) apresenta os traqueídeos bastante deformados, impossibilitando perceber a variação no diâmetro dos lúmens do lenho inicial ou final (Figura 20C). Na segunda zona (abaixo) os traqueídeos apresentam uma leve diminuição nas células do lúmen. Esta diminuição quase não é notada, impossibilitando distinguir o limite entre o lenho inicial e lenho final. Estas zonas podem ser assim chamadas de zonas de tensão ou falsos anéis (Figuras 20C-D).

Nos espécimes IGEO PB 21, 58, 312 e 330 não foi constatada a presença de anéis de crescimento verdadeiros ou zona de crescimento. O diâmetro radial do lúmen dos traqueídeos não apresentou variação, seguindo todos basicamente o mesmo tamanho (Figuras 20E-F).

Os espécimes que apresentam anéis de crescimento amplo (verdadeiro), podem ser classificados no padrão do tipo “D” conforme Creber e Chaloner (1984) e Brison, Phillippe e Thevernad (2001). Este tipo de padrão indica que a estação de crescimento é frequentemente uniforme, podendo em um determinado período ocorrer uma pausa ou retardo na atividade cambial, diminuindo assim as células do lúmen (Figuras 20 A-B).

Falcon-Lang (2003) descreve que em ambientes onde a atividade cambial pode potencialmente ocorrer de forma contínua (condições não sazonais), pode ocorrer perturbações de curto prazo no crescimento que influenciam o padrão de desenvolvimento do lenho e tais perturbações podem ser causadas por um curto período de seca, condições anormais de baixa temperatura, ataques por fungos ou insetos.

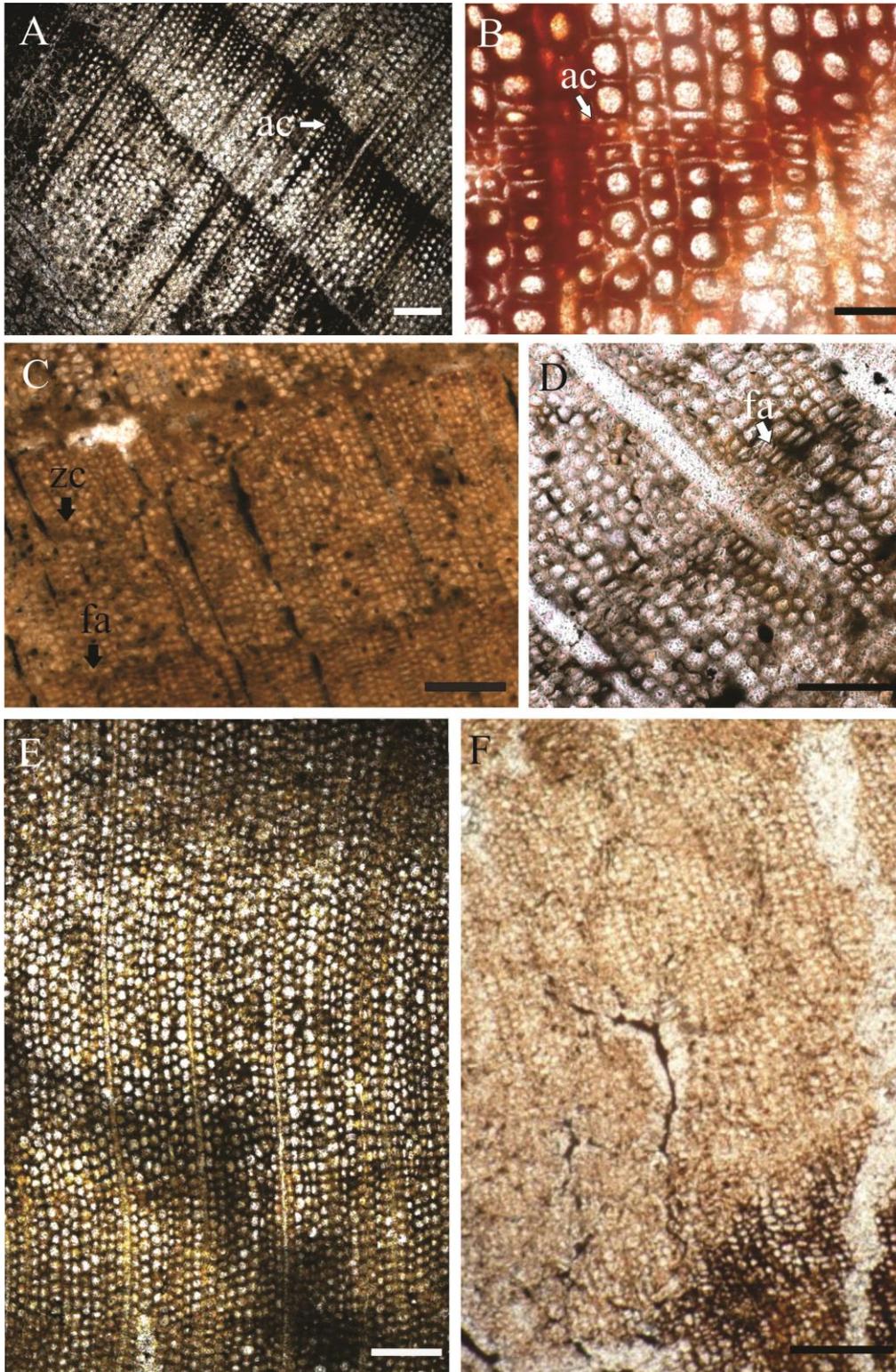
A presença de falso anel de crescimento, zonas de crescimento ou zonas de tensão podem indicar que o ambiente passou por uma fase de estresse durante o crescimento da planta, diminuindo a intensidade da atividade cambial (Figuras 20C-D).

Os espécimes com ausência de anéis de crescimento podem ser classificados no padrão do tipo “O” descritos por Creber e Chaloner (1984) e Brison, Phillippe e Thevernad (2001), cujo padrão resulta de uma condição onde todos os requisitos para o crescimento da planta são constantemente presentes, ou seja, as plantas viviam em um ambiente onde todas as condições eram favoráveis ao crescimento da planta (Figuras 20E-F).

Dos espécimes atribuídos possivelmente a coníferas depositados na Formação Boa Vista, o padrão de crescimento contínuo é do tipo “O”, o qual sugere um ambiente com condições climáticas sempre favoráveis, podendo estar associados a áreas alagadas ou até mesmo a zonas de aridez. Para Chumakov (1995), durante o Cretáceo Inferior, esta região foi inserida no bioma do cinturão tropical equatorial, portanto, pode-se sugerir que as árvores desta região viviam em áreas de médias a altas latitudes e que passaram por períodos de chuvas torrenciais e com bastante umidade.

O único espécime atribuído a família Cheirolepidiaceae, procedente do Rio Tacutu, apresentou padrão de crescimento distintos do tipo “D” no qual pode sugerir que as estas plantas eram xerófilas e viviam em áreas mais elevadas e bem drenadas nas quais o lençol freático encontrava-se a alguns metros de distância da superfície, o que denota que estes vegetais se encontravam durante muito tempo sob estresse hídrico produzindo este padrão de anéis (IANNUZZI; VIEIRA, 2005). É importante destacar também que de acordo com

Figura 20 - Padrões de anéis de crescimento dos lenhos fósseis.



Legenda: **A-F Seção Transversal:** **A-B** anel de crescimento verdadeiro (ac), IGEO PB 113 e 47, Padrão tipo “D”, lente de aumento de 40x. **C-D** falso anel (fa) e zona de crescimento (zc), IGEO PB 39, C-50x, D-100x. **E-F**- ausência de anéis, padrão contínuo, tipo “O”, IGEO PB 21 e 312. Escalas: 20  $\mu$ m.

Francis (1983) esta família era monodominante em ambientes xerófilos, corroborando assim, com os resultados deste trabalho. Estes resultados corroboram com a proposta de Scotese (2003), no qual ele inclui esta região no bioma de cinturão de clima árido. Bi

A presença de falsos anéis de crescimento nos espécimes procedentes do Rio Tacutu também corrobora com Scotese (2003), uma vez que estas plantas também podem estar associadas a ambientes xerófilos, no qual a planta passou por um período de estresse hídrico e produziu os falsos anéis.

O único espécime da Formação Serra do Tucano analisado apresentou anéis de crescimento contínuos também do tipo “O”, sugerindo que poderia estar em regiões com áreas mais elevadas, podendo constituir a cobertura vegetal de áreas mais abertas, além de enfrentar períodos de chuvas torrenciais. Estes resultados corroboram a proposta de Reis, Nunes e Pinheiro (1994), na qual eles descrevem a Formação Serra do Tucano como de ambiente fluvial, e Chumakov (1995) que propõe um bioma tropical – equatorial para a região durante o Cretáceo Inferior.

É importante ressaltar que até o momento a Formação Serra Tucano é atribuída ao Cretáceo Inferior, Andares Aptiano – Albiano, com base em dados estratigráficos e que a falta de uma datação mais precisa dificulta o posicionamento desta unidade dentro do Cretáceo. Para o material que se encontra retrabalhado e depositado na Formação Boa Vista, o posicionamento é ainda mais difícil, uma vez que a área fonte destes lenhos não foi identificada, sabendo apenas que se tratam de depósitos cretáceos dada a ocorrência de Cheirolepidiaceae. Realizar inferências paleoambientais e paleoecológicas com base nestes espécimes se torna menos confiável quando desconhecemos a idade precisa, uma vez, que o Cretáceo compreende um intervalo de 79 milhões de anos, no qual ocorreram diversas mudanças climáticas.

#### 4.4 INTERAÇÃO PLANTA-FUNGO

Embora observações em vista desarmada não permitam identificar padrões de interrupção do tecido lenhoso, em todos os sete espécimes aqui estudados, sem exceção, em nível mesoscópico (aumento 10x e 40x) foi constatada a presença de lacunas e perfurações no xilema secundário.

Análises em maior aumento (40x, 50x e 100x) permitiram distinguir diferenças na morfologia e composição dessas feições. Em determinadas lacunas que apresentam contornos

aproximadamente retilíneos preenchidas por sílica, as quais cortam o tecido condutor com orientação radial (comprimento de 916  $\mu\text{m}$  a 1,086  $\mu\text{m}$ , e largura de 58,6  $\mu\text{m}$  a 66,6  $\mu\text{m}$ ) observa-se que a ruptura ocorre ao longo de paredes externas íntegras dos traqueídeos, não ocorrendo inclusos vestígios orgânicos (Figura 21).

O tipo predominante de lacuna apresenta forma oblonga e contorno irregular e em vista transversal com seus limites caracterizados pela presença de paredes incompletas de traqueídeos e/ou células parenquimáticas (Figuras 21A-B).

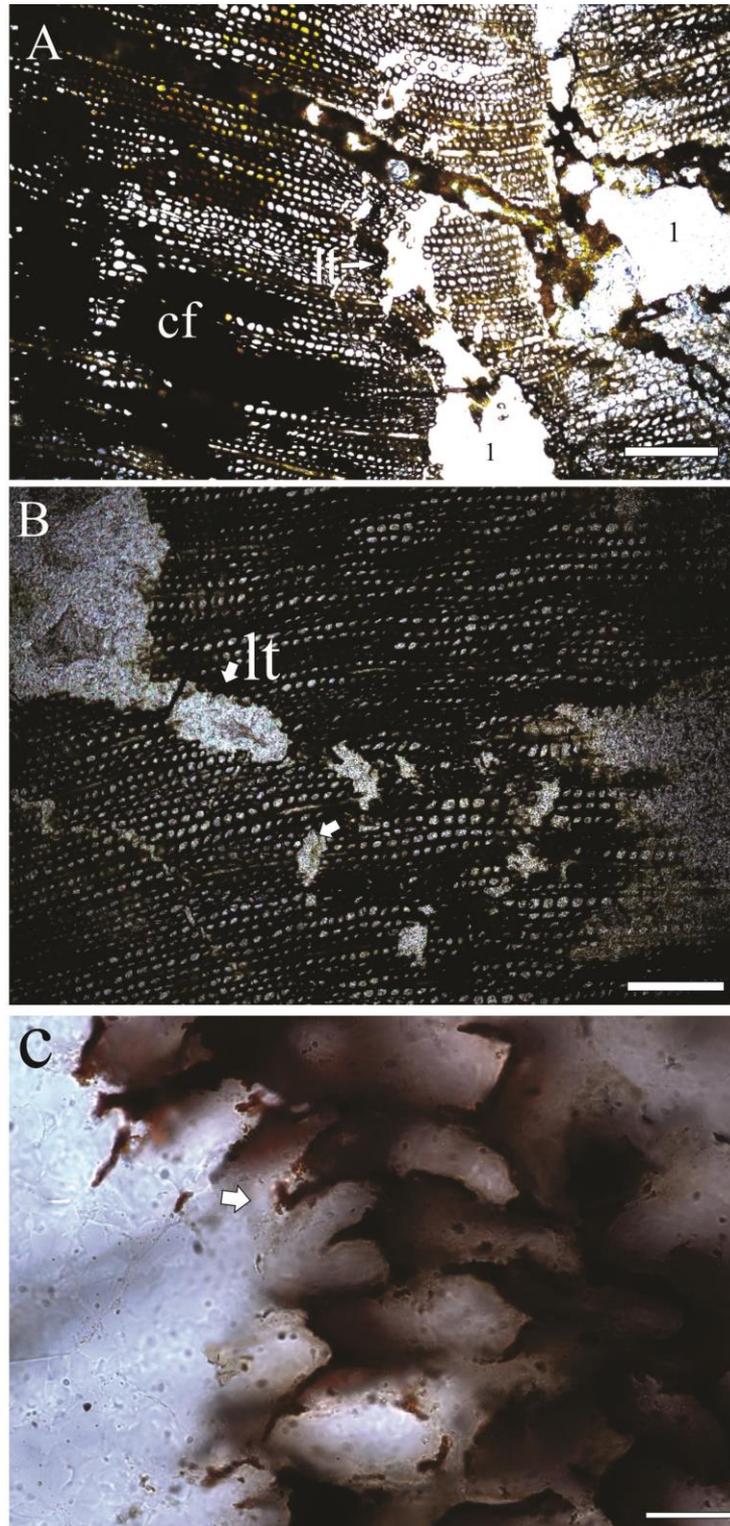
Fragmentos de matéria orgânica ocorrem frequentemente no lúmen de determinadas lacunas (Figura 22A) e também no lúmen de algumas células. Algumas das inclusões são esferoidais (diâmetro 3 $\mu\text{m}$ ), dispersas (Figura 22B), enquanto que outras são pedunculadas (Figura 22C). Ocorre também impregnações muito escuras correspondendo provavelmente a compostos fenólicos (Figura 21A). A degradação das paredes celulares também obedece a padrões distintos. Em um único espécime (IGEO PB 312) o padrão de degradação é diferenciado, quando se observa nitidamente a formação de espaços vazios no interior da parede celular secundária, e em alguns locais pode ser identificada apenas resquícios da parede celular primária acompanhada da lamela média (Figura 21C).

Nos demais espécimes (IGEO PB 21 e 47) a desagregação se caracteriza pela desestruturação progressiva desde a parede secundária interna, atingindo por último a lamela média (Figuras 22D-E), observando-se mais raramente a destruição tanto da parede secundária quanto da lamela média “em galeria” (Figura 22A).

A presença de lacunas preenchidas por sílica, sem evidência de atividade orgânica cuja origem geralmente respeita os contornos celulares devem estar relacionadas a estágios *post mortem* (BOLZON; AZEVEDO; MACHADO, 2004), iniciais ao processo de silicificação ou durante a vida da planta, como consequência de diferentes processos, mas frequentemente relacionados a processos de tensão ou teores hídricos insuficientes (SCHWEINGRUBER, 2007). Já as lacunas cujas bordas evidenciam sinais de degradação da parede celular (Figura 21B) indicam padrões de interação associados a ataques de fitófagos que provocaram rapidamente severos danos a solidez dos lenhos. É importante, porém, ressaltar que no presente estudo, foi observado que os espécimes lenhosos com procedência distinta, apresentam distintos padrões de ataque fitofágico.

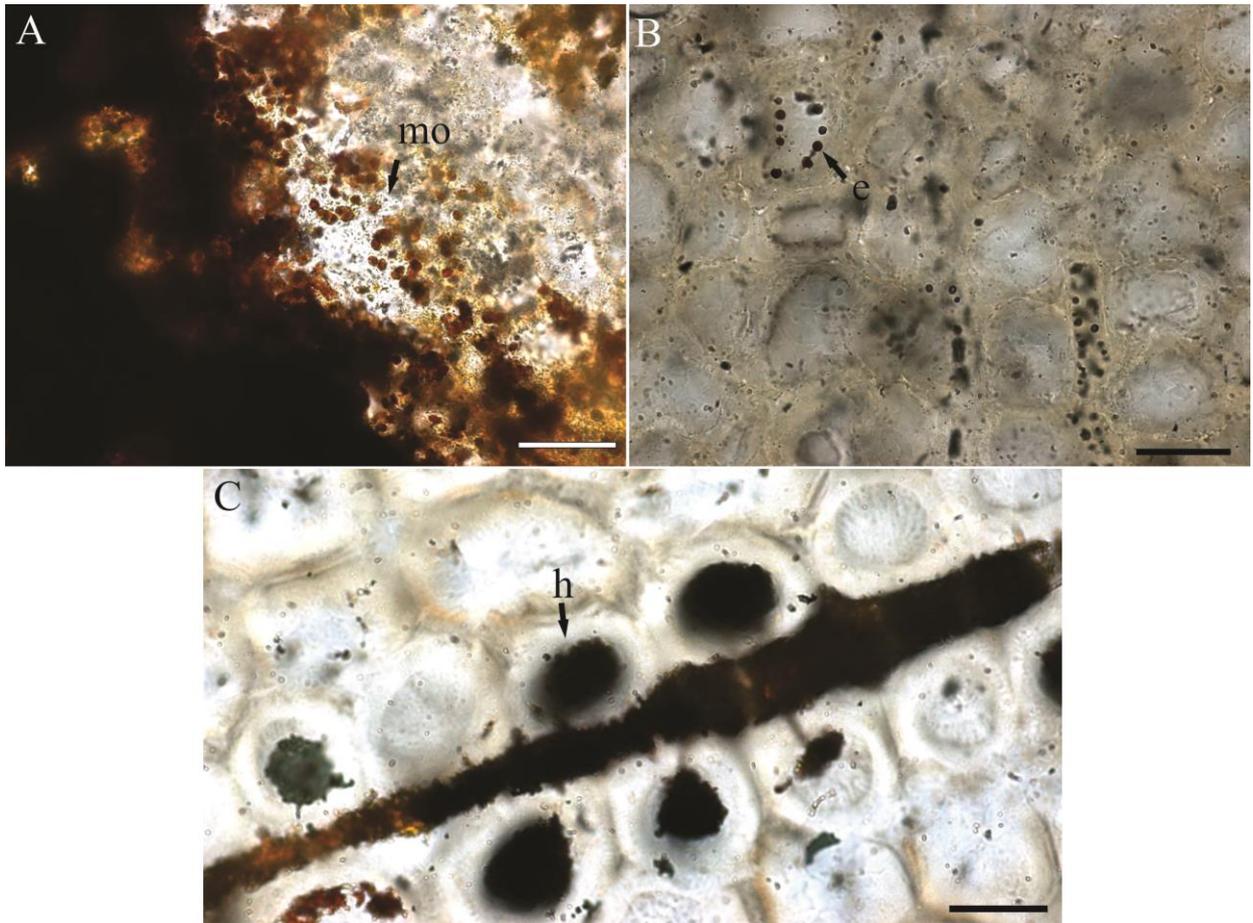
Análises de padrões de ataque de fungos em lenhos, desenvolvidas por Blanchette (1984), indicaram que lenhos de distintas plantas podem ser degradados de forma diferente pelo mesmo fungo, dadas as características particulares de substrato, disponibilidade de nutrientes e outras condições ambientais.

Figura 21 –Lacunas e perfurações no xilema secundário. **A-B-C** - Espécime IGEO PB 47.



Legenda: **A**- Vista transversal do lenho em que podem ser observadas impregnações muito escuras provavelmente correspondendo a compostos fenólicos (cf) e lacunas traumáticas (lt) **B**- vista transversal de lacunas provocadas por desagregação de parede celular por ação de fitofagia. **C**- Detalhe de limite de lacuna originada por atividade de fungos evidenciando a ruptura da parede. Setas indicam limite das paredes deterioradas.

Figura 22- Diferentes tipos de degradação.



Legenda: - Presença de matéria orgânica (mo) no lúmen (IGEO PB 21). **B- Podridão mole:** processo que se inicia pela degradação interna da parede secundária da célula; esporos (e) dispersos no lúmen dos traqueídeos (IGEO PB 312). **C Podridão branca sucessiva:** destruição progressiva das paredes celulares remanescendo por último a lamela média, presença de haustórios (h) nos lúmens celulares. Lente de aumento: 100x. Escala: 20  $\mu$ m.

Diferentes espécies de fungos são aptas a colonizar lenhos de forma rápida ocorrendo em uma ampla gama de substratos atacando tanto lenhos vivos quanto mortos, sendo capazes de dispersar-se em regiões boreais, temperadas e tropicais do globo (SCHWEINGRUBER, 2007).

No espécime IGEO PB 312 procedente da Serra do Tucano a típica desagregação contínua das partes internas da parede secundária seguida da parede primária e finalmente da lamela média (Figura 23 E-F) é característica da “podridão mole” (*soft-rot*), produto da decomposição por Ascomycetes e Deuteromycetes. Nesse processo, embora o ataque seja intenso, a estrutura do lenho mantém-se intacta por longo tempo, mas todos os tecidos do lenho são atacados. Segundo Schweingruber (2007) e Blanchette (1995) os fungos que causam este tipo de degradação crescem em lenhos em ambiente com contínua umidade, mas

são adaptados a sobreviver a períodos de seca. Os corpos esferoides (2,5 µm) sem marcas ou poros evidentes correspondem a esporos de fungos provavelmente de Ascomycetes ou Deuteromycetes, dispersos no lúmen dos traqueídeos e também no lúmen dos raios lenhosos.

Os espécimes do Rio Tacutu apresentaram padrões de degradação com características distintas do referido para o espécime da Serra do Tucano. Esse processo tem sido atribuído a Basidiomycota e denominado como ‘podridão branca’ (*white rot*) que tem como característica a extrema habilidade em degradar todos os componentes da parede celular (celulose e hemicelulose), inclusive lignina (SCHWEINGRUBER, 2007). Evidências da ocorrência de podridão branca tem sido noticiadas com frequência por diferentes autores no Mesozoico e Paleozoico (TAYLOR; TAYLOR; KRINGS, 2009).

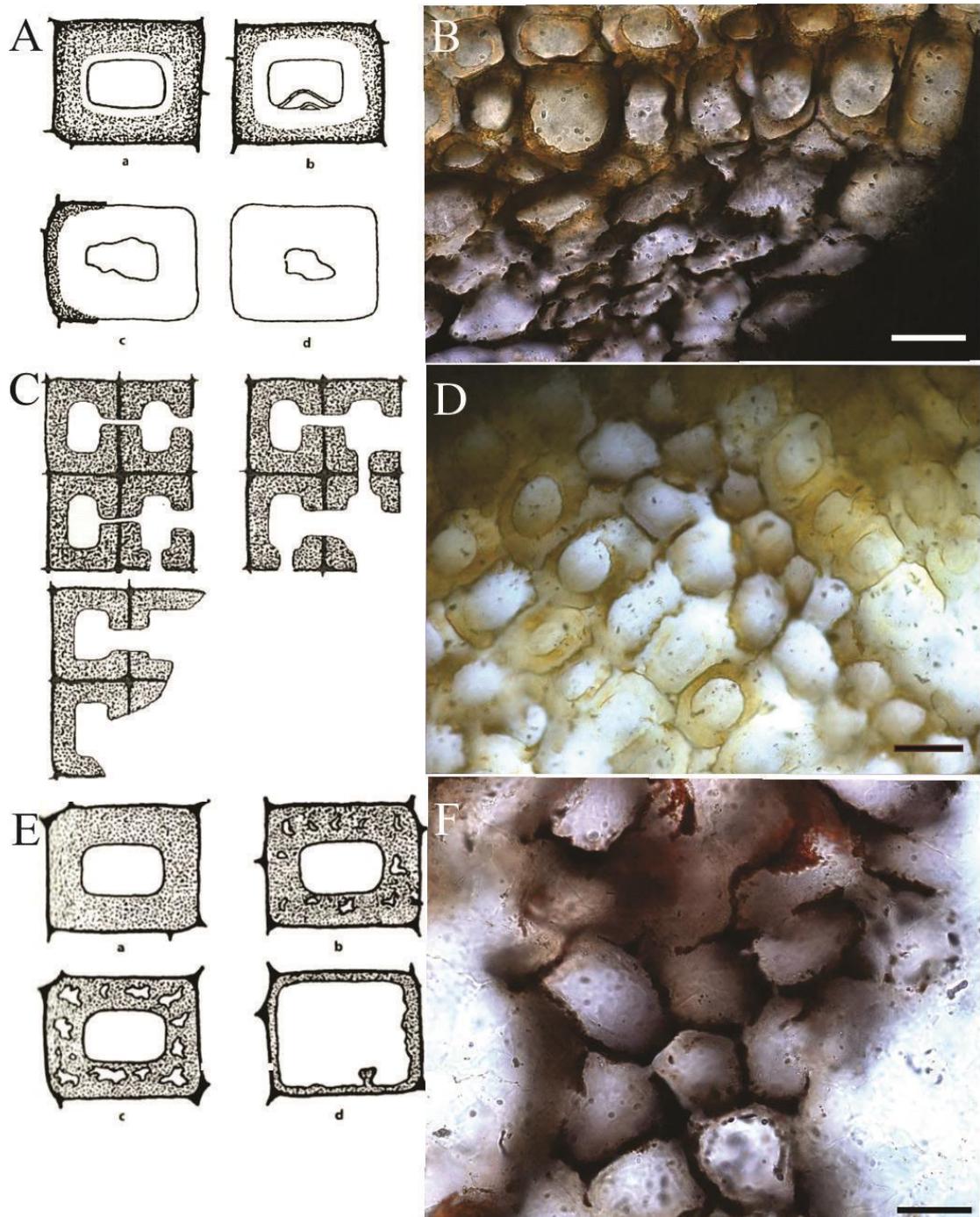
Na podridão branca sucessiva (*successive white rot*), caracterizada nas Figuras 23 A-B, ocorre processo de degradação do lenho que se inicia preferencialmente a partir do lúmen celular, atacando as paredes celulares e por último a lamela média.

Na podridão branca simultânea (*simultaneous white rot*) o ataque produz galerias que atravessam todas as paredes celulares (Figura 23 C-D). Basidiomycota podem produzir ambos os tipos de degradação em um mesmo substrato (BLANCHETTE, 1991; 1995; KIM; SIGH, 2000). Esquemas dos tipos de degradação causadas por podridão branca e podridão mole caracterizados por Rypacek (1966) e Schweingruber (2007) são ilustrados na figura 23.

A ocorrência de altos índices de degradação por ação de podridão branca tem sido registrada atualmente em densas florestas de coníferas do cinturão temperado. Por outro lado, a ocorrência de podridão mole predomina em lenhos associados a ambientes que são muito severos para o desenvolvimento de fungos causadores da podridão branca, como por exemplo, locais excessivamente úmidos e temporariamente excessivamente secos (BLANCHETTE, 1984).

É importante salientar a abundante ocorrência de podridão branca em lenhos gimnospérmicos do Cenomaniano da Bacia de São Luis (Formação Alcântara), documentada por Araújo (2009), Araújo et al. (2011) e Medeiros, Guerra-Sommer e Marcon (2011). O padrão de crescimento parcialmente interrompido dos lenhos gimnospérmicos, associado as evidências fornecidas pela degradação através da podridão branca ratificam outros dados de natureza paleontológica e sedimentar, os quais relacionam a deposição da Formação Alcântara a episódios de vigência de sazonalidade bem marcada, com chuvas torrenciais concentradas em curtos períodos de tempo (MEDEIROS; GUERRA-SOMMER; MARCON, 2011).

Figura 23 – Tipo de podridão branca.



Legenda: **A-B Podridão branca sucessiva:** **A-** a degradação da parede celular inicia-se pelo lúmen e destrói principalmente a parede secundária. Podridão branca modificada de Rypacek (1966). **B-** Observa-se as paredes celulares ainda mantendo certa integridade enquanto que na porção inferior remanesce apenas a lamela média. **C-D- Podridão branca simultânea:** **C-** as paredes são destruídas em galerias. **D-** Observa-se o ataque a todos os níveis da parede celular e a lamela média, lente de aumento 100x. Escalas: 20 $\mu$ m. **E-F Podridão mole:** **E-** Podridão mole de acordo com Schweingruber (2007). **F-** Podridão mole destacando as células deterioradas.

As impregnações escuras que ocorrem no interior do lúmen dos traqueídeos e em lacunas em alguns dos espécimes no material estudado, são atribuídos a compostos fenólicos geralmente produzidos como resposta a processos fisiológicos e bioquímicos como também a reações químicas a injúrias (BLANCHETTE, 1995; SCHMIDT, 1994). Esses compostos compõem estruturas apenas visíveis microscopicamente, caracterizadas como barreiras químicas (*chemical boundaries*) e geralmente aparecem onde ocorreu injúria ao tecido, seja ela provocada pela emersão natural de um ramo, atrito mecânico ou ataque fitofágico. No material em estudo, essas impregnações, por ocorrerem preferencial e concentradamente em áreas próximas as lacunas provocadas por ação fúngica devem corresponder a respostas a ataques fitofágicos.

As evidências de degradação nos lenhos silicificados aqui analisados por ação de fungos coadunam-se com a vigência de condições regionais distintas de umidade durante a deposição da Formação Serra do Tucano. Enquanto que os espécimes rolados, procedentes do leito do Rio Tacutu, caracterizados por padrão de crescimento contínuo e parcialmente interrompido mostram que a atuação da podridão branca estaria associada à ambientes onde as condições não seriam tão severas. O material da Serra do Tucano, com padrão de crescimento contínuo e evidências de ataque por podridão mole relacionar-se-iam a um ambiente mais estressante, com alternância de época extensas de muita umidade e períodos de seca (Tabela 4). Entretanto, vale salientar que o paleoambiente da Formação Serra do Tucano foi inferido com base em apenas um espécime (IGEO PB 312), visto que não foi possível realizar lâminas dos demais espécimes desta região.

Tabela 4 – Tabela comparativa dos espécimes analisados.

Espécimes	Dados estratigráficos	Taxonomia	Tipos de anéis de crescimento	Tipo de interação planta-fungo	Inferências Paleoclimáticas
IGEO PB 21	Formação Boa Vista	Ordem ?Coniferales	Indistinto “O”	Podridão Branca	Tropical/ Equatorial
IGEO PB 39	Formação Boa Vista	Ordem ?Coniferales	“Falso anel”	Podridão Branca	-
IGEO PB 47	Formação Boa Vista	Família Cheirolepidiaceae Gênero: <i>Brachyoxylon</i>	Distintos “D”	Podridão Branca “simultânea” e “sucessiva”	Árido/ Verão úmido
IGEO PB 58	Formação Boa Vista	Ordem ?Coniferales	Indistinto “O”	Podridão Branca	Tropical/ Equatorial
IGEO PB 113	Formação Boa Vista	Ordem ?Coniferales	Indistinto “O”	Podridão Branca	Tropical/ Equatorial
IGEO PB 330	Formação Boa Vista	Ordem ?Coniferales	Indistinto “O”	Podridão Branca	Tropical/ Equatorial
IGEO PB 312	Formação Serra do Tucano	Ordem ?Coniferales	Indistinto “O”	Podridão Mole	Tropical/ Equatorial

## 5 CONCLUSÕES

Os lenhos fósseis anteriormente descritos como procedentes da Formação Tacutu foram encontrados depositados em um paleopavimento às margens do Rio Tacutu, sobreposto aos pelitos característicos da Formação Tacutu, mas em litologia compatível à Formação Boa Vista, de idade cenozoica. A identificação taxonômica, no entanto, sugere que os lenhos sejam de idade cretácea, indicando que possivelmente eles foram retrabalhados e redepositados em uma unidade mais jovem, fato este, corroborado pelas feições tafonômicas.

Os espécimes da Serra do Tucano foram encontrados nos níveis de arenito, em um ambiente deposicional de barra de canal. No entanto, foi possível analisar apenas um espécime, pois os demais selecionados fragmentaram no momento da confecção das lâminas, por estarem altamente silicificados.

Os espécimes procedentes do Rio Tacutu e da Serra do Tucano apresentaram características taxonômicas semelhantes, no qual foi possível identificá-los como do grupo das Gimnospermas, possivelmente da Ordem Coniferales. Apenas um espécime do Rio Tacutu apresentou características diagnósticas suficientes para atribuí-lo a Ordem Coniferales, Família Cheirolepidiaceae, do gênero *Brachyoxylon*. Este gênero ocorre do Jurássico ao Cretáceo Superior, e seu registro nesta localidade sugere que os lenhos teriam idade mais antiga do que a unidade em que se encontram depositados.

Houve uma predominância de desenvolvimento dos anéis de crescimento contínuo tipo “O” para o Rio Tacutu, levando a considerar que o ambiente da região sempre apresentou condições favoráveis para o desenvolvimento da planta, podendo esta região estar associada a áreas mais elevadas com períodos de chuvas torrenciais, caracterizando um paleoclima equatorial tropical para a região. No entanto, a ocorrência do tipo “D” em uma pequena porção dos espécimes do Rio Tacutu pode sugerir que estas plantas eram xerófilas e de áreas mais elevadas. A ocorrência de falsos anéis de crescimento em um espécime também sugere um ambiente xerófilo e que devido ao estresse hídrico a planta formou falsos anéis, sugerindo para a região um bioma árido com verões úmidos.

O único espécime da Serra do Tucano apresentou também um padrão de crescimento do tipo “O” sugerindo que as plantas poderiam estar associadas a regiões mais elevadas, podendo constituir a cobertura vegetal de áreas mais abertas, além de enfrentar períodos de chuvas torrenciais caracterizando um paleoclima equatorial-tropical para a região.

As impregnações pretas no interior do lúmen dos traqueídeos, a presença de esporos, bem como a ocorrência de lacunas em quase todos os espécimes de ambas localidades, são

aqui atribuídas a reações à ataques de fungos, indicando um ambiente com alternância de épocas extensas de muita umidade e períodos de seca. No entanto, estes ataques também podem ter ocorridos após o soterramento do lenho e não durante o seu tempo de vida e, portanto, a umidade pode estar relacionada com o seu ambiente deposicional e não necessariamente com o seu habitat.

Os registros paleoflorísticos encontrados neste trabalho permitiram auxiliar nas interpretações bioestratigráficas, paleoambientais e paleoecológicas para o Cretáceo da Bacia do Tacutu.

## REFERÊNCIAS

- ARAÚJO, K. C. O. **Coníferas do afloramento Laje do Coringa, Ilha do Cajual - MA, Formação Alcântara (Eocenomaniano)**. 2009. 81p. Dissertação (Mestrado em Biodiversidade e Conservação) – Universidade Federal do Maranhão. São Luis, 2009.
- ARAÚJO, K. C. O. et al. Lenho de coníferas do Mesocretáceo do Norte do Maranhão, Brasil. **Revista Brasileira de Paleontologia**, Rio de Janeiro, v.14, n.1, p. 29-38, 2011.
- ARNOLD, C. A. **An introduction to Paleobotany**. University of Michigan: Michigan, 1970. 433p.
- BAMFORD, M. K.; PHILLIPE, M. Jurassic – Early Cretaceous Gondwanan homoxyloous woods: a nomenclatural revision of the genera with taxonomic notes. **Review of Palaeobotany and Palynology**, Amsterdam, v.113, p.287–297, 2001.
- BEHRENSMAYER, A. K. The taphonomy and paleoecology of Plio-Pleistocene vertebrate assemblages of lake Rudolf, Kenya. **Bulletin of the Museum of comparative Zoology**, Cambridge, v. 146, p.437-578, 1975.
- BERNARDES-DE-OLIVEIRA, et al. As floras mesofíticas brasileiras no cenário paleoflorístico mundial. In: CARVALHO, I.S et al. (Org) **Paleontologia: cenários da vida**. 3ed. Rio de Janeiro: Interciência. v.1, 2007. p. 203-242.
- BLANCHETTE, R. A. Screening Wood Decayed by White Rot Fungi for Preferential Lignin Degradation. **Applied and Environmental Microbiology**, Minnesota, v. 48, n.3, p.647-653, sept. 1984.
- BLANCHETTE, R. A. Delignification by wood-decay fungi. **Annual Review Phytopathology**, Palo Alto, n. 29, p. 381-398, 1991.
- BLANCHETTE, R. A. Degradation of the lignocelulose complex in wood. **Canadian Journal of Botany**, Ottawa, n. 73, p. 999-1010, 1995.
- BOLZON, R. T.; AZEVEDO, I.; MACHADO, L. G. Registro da atividade de organismos em um caule do Permiano do Rio Grande do Sul, Brasil. **Arquivos do Museu Nacional**. Rio de Janeiro, v. 62, n. 4, p. 513-518, 2004.

BRISON, A. L.; PHILLIPE, M.; THEVENARD, F. Are Mesozoic wood growth rings climate-induced? **Paleobiology**, Cambridge, v. 3, n. 27, p. 531-538, 2001.

CARVALHO et al. Uma visão sobre a estrutura, composição e biodegradação da madeira. **Química Nova**, Lorena, SP. n.8, v.32, 2009. p. 2191-2195.

CHUMAKOV, N. M. Climatic zone in the middle of the Cretaceous Period. **Stratigraphy and Geological Correlation**, Moscow, n. 3, p. 3-14, 1995.

COSTA, C. G. et al. Xilema. In: APPEZZATO-DA-GLÓRIA, B.; CARMELLO-GUERREIRO, S. M. (Org). **Anatomia Vegetal**. Viçosa: UFV, 2006. p. 129-141.

COSTA, M. G. F.; LIMA, M.P. **Análise estratigráfica do 1-TU-1-RR**. Rio de Janeiro: PETROBRÁS/DEPEX, 1981. 65 p. (Relatório Interno).

COX, B.C.; MOORE, P.D. **Biogeografia: uma abordagem ecológica e evolucionária**. 7.ed. Rio de Janeiro: LTC, 2011. 398p.

CPRM. **Bacias Sedimentares - Mapa de localização**. [Bonfim], 2004. 1 mapa, color. Escala 1:700.000.

CRAWFORD, F. D.; SZELEWSKI, C. E.; ALVEY, G. D. Geology and exploration in the Takutu graben of Guyana and Brazil. **Journal of Petroleum Geology**, Beaconsfield, v. 8, n. 1, p.5-36, 1985.

CREBER, G. T.; CHALONER, W. G. **The Biological Reviews: Influence of environmental factors on the wood structure of living and fossil trees**. 4. ed. London: University of London, 1984. 92p.

EIRAS, J. F.; KINOSHITA, E. Evidências de movimento transcorrentes na Bacia do Tacutu. In: SEMINÁRIO SOBRE RIFTE INTRACONTINENTAIS,1, Rio de Janeiro, **Anais Seminário sobre rifte intracontinental**. Rio de Janeiro: Petrobrás/ DEPLEX, 1988. p.2279-2291.

EIRAS, J. F.; KINOSHITA, E. M. Geologia e Perspectivas Petrolíferas da Bacia do Tacutu. In: GABAGLIA, G. P. R.; MILANI, E. J. **Origem e evolução de bacias sedimentares**. Rio de Janeiro: Petrobrás, 1990. p.197- 220.

EIRAS, J. F.; KINOSHITA, E. M.; FEIJÓ, F. J. Bacia do Tacutu. **Boletim de Geociências da PETROBRÁS**, Rio de Janeiro, v.8, n.1, p.83-89. 1994.

ENRIGHT, N. J.; HILL, R. S.; VEBLEN, T. T. The Southern Conifers - An Introduction. In: ENRIGHT, N. J. R.; HILL, R. S. (Org.) **Ecology of the Southern Conifers**. Melbourne University Press, Parkville, 1995. p.1-9.

ESAU, K. **Anatomia das plantas com sementes**. São Paulo: Blucher, 1974. 394p.

FALCON-LANG, H. Growth interruptions in silicified conifer woods from the Upper Cretaceous Two Medicine Formation, Montana, USA: implications for palaeoclimate and dinosaur palaeoecology. **Paleogeography, Paleoclimatology, Paleoecology**, Amsterdam, n. 199, p. 299-319, 2003.

FARJON, A. **A natural history of conifers**. Portland: Timber Press, 2008. 304 p.

FERRI, M. G. **Botânica: morfologia interna das plantas (anatomia)**. 10. ed. São Paulo: Nobel, 1996. 113p.

FRANCIS, J. E. The dominant conifer of the Jurassic Purbeck Formation, England. **Palaeontology**, London, v. 26, p. 277-294, 1983.

FREITAS, F. I.; HESSEL, M. H.; NETO, J. A. N. Troncos fósseis da Formação Missão Velha na porção leste da Bacia do Araripe, Ceará. **Revista de Geologia**, Fortaleza, v.21, n.2, p.193-206, 2008.

FRITTS, H. C. **Tree rings and climate**. London: Academic Press, 1976. 553p.

GERARDS, T. et al. Comparison of cross-field pitting in Fresh Dried and Charcolified Softwoods. **Iawa Journal**, Utrecht, v. 28, n. 1, p.49-60, 2007.

GIBBS, A.K.; BARRON, C.N. **The Geology of the Guiana Shield**. New York, Oxford University Press, n. 22, 1993. 245p.

GIFFORD E. M.; FOSTER, A. S. **Morphology and evolution of vascular plants**. Third edition. W.H. New York: Freeman and Company, 1987. 626 p.

GNAEDINGER, S. Ginkgoalean woods from the Jurassic of Argentina: Taxonomic considerations and palaeogeographical distribution. **Geobios**, Lyon, v.45, p.187-192, 2012

GNAEDINGER, S. Podocarpaceae woods (Coniferales) from middle Jurassic La Matilde Formation, Santa Cruz province, Argentina. **Review of Palaeobotany and Palynology**, Amsterdam, v.147, p.77-93, 2007.

GUERRA-SOMMER, M; PIRES, E. F. Conceitos e Perspectivas. In: CARVALHO, I.S. **Paleontologia: paleovertebrados, paleobotânica**. 3. ed. Rio de Janeiro: Interciência, 2011, v.3, p. 217-218.

GUERRA-SOMMER, M.; PIRES, E. F. Técnicas de preparação de material Paleobotânico. In: CARVALHO, I. S. (Org.) **Paleontologia: conceitos e métodos**. 3. ed. Rio de Janeiro: Interciência, 2010. v.1, p.431-435.

HAMMEN, R. W. J. M. V. D et al. *Brachyphyllum patens* (Miquel) comb. nov. (Cheirolepidiaceae?): remarkable conifer foliage from the Maastrichtian type area (Late Cretaceous, NE Belgium, SE Netherlands). **Review of Palaeobotany and Palynology**, Amsterdam, v. 127, 77-97, 2003.

HAMMEN, T.; BURGER, D. Pollen flora and age of the Takutu Formation, Guyana. **Leidse Geologishe Mededelingen**, Leiden, n.38, p.173-180,1966.

HAMMER O.; HARPER, D. A.T.; RYAN, P. D. PAST: paleontological Statistics Software Package for Education and Data Analysis. **Journal Palaeontologia Eletrônica**, Sacramento, v. 4, n. 1, p.1-9, 2001.

IAMANDEI, E; IAMANDEI, S. Early cretaceous protopinaceous fossil wood from south Dobrogea, Romania. **Acta Paleontologica Romaniaae**, Bucharest, v. 5., p. 231-247, 2005.

IANNUZZI, R.; VIEIRA, C. E. L. **Paleobotânica**. Porto Alegre: UFRGS, 2005. 167p.

IAWA COMMITTEE. Internacional Association of wood Anatomists. List of microscopic features for softwood identification. **Iawa Journal**, Utrecht, v.25, n.1, p.1-70, 2004.

JUDD, W. S. et al. **Sistemática vegetal: um enfoque filogenético**. 3. ed. Porto Alegre: Artmed, 2009. 612p.

KIM, Y. S.; SINGH, A. Micromorphological characteristic of wood biodegradation in wet environments: a review. **Iawa Journal**, Utrecht, v. 21, n. 2. p. 135-155, 2000.

KÜCK, U.; WOLFF, G. **Botanisches Grundpraktikum**. 3. ed. Springer Spektrum: Berlin Heidelberg, 2014. 216p.

LATRUBESSE, E. M.; NELSON, B. W. Evidence for Late Quaternary aeolian activity in the Roraima – Guyana Region. **Catena**, Amsterdam. v. 43, p. 63-80, 2001.

LOPES, A. M.; SOUZA, V.; HOLANDA, E. C. Levantamento paleontológico nas Formações Serra do Tucano, Tacutu e Manari, Bacia do Tacutu – RR. In: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DA AMAZÔNIA, 12, 2011, Boa Vista. **Resumos**. Boa Vista: SBG – Núcleo Norte, 2011. p.1-4.

McCONNELL, R. B. Fundamental fault zones in the Guiana and West African Shields in relation to presumed axes of Atlantic spreading. **Geological Society of American Bulletin**, Boulder, v. 80, n. 11, p. 1775-1782, 1969.

MEDEIROS, M. A.; GUERRA SOMMER, M., MARCON, G. G. Fósseis como indicadores paleoclimáticos para o Eocenomaniano da Bacia de São Luís-Grajaú. **Paleontologia: cenários da vida - paleoclimas**. Rio de Janeiro: Interciência, 2014. p.155-164.

MENDES, J. C. **Paleontologia Básica**, 13.ed. São Paulo: USP, 1988. 347 p.

MUSSA, D. Paleobotânica: conceituação geral e grupos fósseis. In: CARVALHO, I. S. **Paleontologia**. 2. ed. Rio de Janeiro: Interciência, 2004. v.1, p. 414-508.

PHILLIPPE, M.; BAMFORD, M. K. A Key to morphogenera used for Mesozoic conifer-like woods. **Review of Palaeobotany and Palynology**, Amsterdam, v.148, p.184-207, 2008.

PIRES, E. F. et al. Early Cretaceous coniferous woods from a paleoerg (Paraná Basin, Brazil). **Journal of South American Earth Sciences**, Oxford, n.32, p.96-109, 2011.

PIRES, E. F.; GUERRA-SOMMER, M. Growth ring analysis of fossil coniferous woods from early cretaceous of Araripe Basin (Brazil). **Annals of the Brazilian Academy of Sciences**, Rio de Janeiro, v. 83, n. 2, p. 409-423, 2011.

RAVEN, P. H.; EVERT, R. F.; EICHHORN, S. E. **Biologia Vegetal**. 7. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2007. 830p.

REIF, W. E. Zur Genese des Muschellkalk-Keuper Grenzbonebeds in Südwestdeutschland. **Neues Jahrbuch für Mineralogie, Geologie und Paleontologie**, Abhandlungen, v. 139, p. 369-404, 1971.

REIS, N. J.; FARIA, M. S. G.; MAIA, M. A. M. O quadro Cenozoico da porção norte-oriental do Estado de Roraima. In: KLEIN, E. L.; VASQUEZ, M. L.; ROSA-COSTA, L. T. **Contribuições à geologia da Amazônia**. Belém: Sociedade Brasileira de Geologia – Núcleo Norte, 2002. p. 259 – 272.

REIS, N. J.; NUNES, N. S. V.; PINHEIRO, S. S. A cobertura mesozoica do hemigráben Tacutu- Estado de Roraima: Uma abordagem ao paleoambiente da Formação Serra do Tucano. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 38, 1994, Balneário Camboriú, **Resumos**. Balneário Camboriú: UFSC, 1994, v.3. p. 234-235.

REIS, N. J. et al. Dois eventos de magmatismo máfico mesozóico na fronteira Brasil- Guiana, Escudo das Guianas: enfoque à região do Rife Tacutu – North Savannas. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 43, 2006, Aracaju. **Resumos**. Aracaju: UFSE, 2006. p. 459-464.

RICARDI-BRANCO, F. R. Jazigos Paleobotânicos do Brasil. In: CARVALHO, I.S. (Org). **Paleontologia: conceitos e métodos**. 3. ed. Rio de Janeiro: Interciência, 2010. v.1, p.585-596.

RYPACEK, V. Biologie holzzerstörender Pilze. Fisher. In: JENA SACHS, T. **Pattern formation in plant tissues**. Cambridge: Cambridge University Press, 1966. p.95-96.

SANTOS, J. O. S. A. Parte setentrional do Cráton Amazônico (Escudo das Guianas) e a Bacia Amazônica. In: SCHOBENHAUS, C. et al. **Geologia do Brasil: Texto explicativo do mapa geológico do Brasil e da área oceânica incluindo depósitos minerais: escala 1:2500 000**. Brasília: DNPM/ Ministério das Minas e Energia, 1984. p. 57-91.

SCHMIDT, O. **Holz und Baumpilze Biologie Schäden Schutz Nutzen**. Berlin: Springer, 1994. 241p.

SCHOBENHAUS, C.; CAMPOS, D.A. A evolução da plataforma sul-americana no Brasil e suas principais concentrações minerais. In: SCHOBENHAUS, C. et al. (Org.). **Geologia do Brasil, texto explicativo do mapa geológico do Brasil e da área oceânica adjacente incluindo depósitos minerais**, esc. 1:2.500.000. Brasília. DNPM.1984 p.9-49.

SCHWEINGRUBER, F. H. **Wood structure and environment**. Springer-Verlag Berlin Heidelberg. 2007. 267p.

SCOTESE, C. R. Paleomap Project. 2003. Disponível em: <http://www.scotese.com/cretaceous.htm>>. Acesso em: 16 jan. 2014.

SOUZA, V. et al. Ocorrência de lenhos fósseis na Bacia do Tacutu-Roraima. **Revista Acta Geográfica**, Boa Vista, v. 3, n. 5, p. 73-77, 2009.

SOUZA, V.; SAMPAIO, B. M. Primeiro registro fóssil (icnofósseis) da formação Tucano (Bacia do Tacutu/RR): uma ferramenta no estudo da evolução da paleopaisagem de Roraima. **Revista Acta Geográfica**, Boa Vista, v. 1, n. 1, p. 105-112, 2007.

TAYLOR, T. N.; TAYLOR, E. L.; KRINGS, M. **Paleobotany: the biology and evolution of fossil plants**. 2. ed. Amsterdam: Elsevier, 2009. 1230p.

THOMAS, B. A.; SPICER, R. A. **The evolution and paleobiology of land plants**. London: Oregon, Croom Helm, 1987. 309p.

TORRES, T.; PHILIPPE, M. Nuevas especies de *Agathoxylon* y *Baieroxylon* del Lías de La Ligua (Chile) con una evaluación del registro paleoxilológico en el Jurásico de Sudamérica. **Revista Geológica de Chile**, Santiago de Chile, v.29, n.2, p.151-165, 2002.

VAZ, P. T.; WANDERLEY FILHO, J. R.; BUENO, G. V. Bacia do Tacutu. **Boletim de Geociências da PETROBRÁS**, Rio de Janeiro, v.15, n.2, p. 289-297, 2007.

WHEELER, E. A; LEHMAN, T. M. Upper Cretaceous-Paleocene conifer woods from de Big Bend National Park, Texas. **Paleogeography, Paleoclimatology, Paleoecology**, Amsterdam, n. 226, p. 233-258, 2005.