

NOVO REGISTRO DO GÊNERO *GRAMMATOPTERIS* RENAULT, 1891, PARA O MONUMENTO NATURAL DAS ÁRVORES FOSSILIZADAS DO ESTADO DO TOCANTINS, PERMIANO, BACIA DO PARNAÍBA

NEW RECORD OF THE GENUS GRAMMATOPTERIS RENAULT, 1891, FROM THE NATURAL MONUMENT OF THE FOSSILIZED TREES OF THE STATE OF TOCANTINS, PERMIAN, PARNAÍBA BASIN

NUEVO REGISTRO DEL GÉNERO GRAMMATOPTERIS RENAULT, 1891, PARA EL MONUMENTO NATURAL DE LOS ÁRBOLES FOSILIZADOS DEL ESTADO DE TOCANTINS, PÉRMICO, CUENCA DEL PARNAÍBA

Caroline Wolff Carlos

E-mail: caroline.wolff@mail.uft.edu.br

Etiene Fabbrin Pires Oliveira

E-mail: etienefabbrin@mail.uft.edu.br

ABSTRACT:

The present study aims to record and describe the morphoanatomy of a fossil stem fragment in order to contribute to the taxonomic classification and the reconstruction of the Permian paleoflora of the Motuca Formation, Parnaíba Basin. The collection area corresponds to the Buritirana outcrop, located in the Natural Monument of the Fossilized Trees of the State of Tocantins (Monaf). The collected specimen was sent to the Paleobiology Laboratory and deposited in the Paleontology Collection of the Federal University of Tocantins, Porto Nacional Campus. For the morphoanatomical descriptions of the specimen, cleaning, polishing, a flat section, and the preparation of petrographic thin sections in transverse, radial longitudinal, and tangential planes were performed. Analyses, measurements, and photographs were carried out using digital calipers, optical microscopes, stereomicroscopes, and image acquisition software (LAS AZ and ImageJ). The specimen consists of a mineralized stem with foliar bases distributed spirally around the cauline axis. The anatomy presents a protostelic stele with exarch xylem composed of scalariform tracheids. The cortical zone exhibits a high number of leaf traces in the form of a straight bar, without showing curvature. In contrast, root preservation is absent. Based on this set of evidence, it is inferred that the fossil corresponds to an apical stem fragment. In conclusion, the results confirm a new specimen of the genus *Grammatopteris* for the Southern Hemisphere. This record, associated with morphoanatomical description, reinforces the high level of preservation of phyt fossils from Monaf, highlighting the need for conservation of the fossil heritage of Tocantins.

KEYWORDS: Paleobotany; Taxonomy; Protected area.

RESUMO:

O presente estudo tem como objetivo registrar e descrever a morfoanatomia de um fragmento de caule fóssil a fim de contribuir para a classificação taxonômica e a reconstituição da paleoflora permiana da Formação Motuca, Bacia do Parnaíba. A área de coleta corresponde ao afloramento Buritirana, situado no Monumento Natural das Árvores Fossilizadas do Estado do Tocantins (Monaf). O espécime coletado foi encaminhado ao Laboratório de Paleobiologia e tombado na Coleção de Paleontologia da Universidade Federal do Tocantins, *Campus* de Porto Nacional. Para as descrições morfoanatômicas do espécime, foram realizadas a limpeza, o polimento, uma seção plana e a confecção de lâminas petrográficas nos planos transversal, longitudinal radial e tangencial. As análises, mensurações e fotografias, foram realizadas com paquímetros, microscópios ópticos, estereomicroscópios e softwares de aquisição de imagem (LAZ AZ e imageJ). Como resultado, o espécime trata-se de um caule mineralizado com bases foliares distribuídas em espiral ao redor do eixo caulinar. A anatomia apresenta um estelo protostélico, com xilema exarco composto por traqueídes escalariformes. A zona cortical exibe elevado número de traços foliares em forma de barra reta, sem evidenciar curvatura. Em contrapartida, a preservação de raízes é ausente. Portanto, a partir desse conjunto de evidências, infere-se que o fóssil corresponde a um fragmento apical caulinar. Em conclusão, os resultados confirmam a descoberta de um novo espécime do gênero *Grammatopteris* para o Hemisfério Sul. Esse registro, associado à descrição morfoanatômica, reforça o alto nível de preservação de fitofósseis do Monaf, fortalecendo a necessidade de conservação do patrimônio fossilífero tocantinense.

PALAVRAS-CHAVE: Paleobotânica; Taxonomia; Unidade de Conservação.

RESUMEN:

El presente estudio tiene como objetivo registrar y describir la morfoanatomía de un fragmento de tallo fósil, con el fin de contribuir a la clasificación taxonómica y a la reconstrucción de la paleoflora permiana de la Formación Motuca, Cuenca del Parnaíba. El área de recolección corresponde al afloramiento Buritirana, situado en el Monumento Natural de los Árboles Fosilizados del Estado de Tocantins (Monaf). El espécimen recolectado fue enviado al Laboratorio de Paleobiología y registrado en la Colección de Paleontología de la Universidad Federal de Tocantins, *Campus* de Porto Nacional. Para las descripciones morfoanatómicas, se realizaron limpieza, pulido, una sección plana y la elaboración de láminas petrográficas en planos transversal, longitudinal radial y tangencial. Los análisis, mediciones y fotografías se realizaron con calibradores digitales, microscopios ópticos, estereomicroscopios y programas de adquisición de imágenes (LAS AZ e ImageJ). El espécimen corresponde a un tallo mineralizado con bases foliares distribuidas en espiral alrededor del eje caulinar. La anatomía presenta un estelo protostélico, con xilema exarco compuesto por traqueidas escalariformes. La zona cortical exhibe un elevado número de trazas foliares en forma de barra recta, sin evidenciar curvatura. En contraposición, la preservación de raíces está ausente. A partir de este conjunto de evidencias, se infiere que el fósil corresponde a un fragmento apical caulinar. Los resultados confirman un nuevo espécimen del género *Grammatopteris* para el Hemisferio Sur. Este registro, asociado a la descripción morfoanatómica, refuerza el alto nivel de preservación de fitofósiles del Monaf, fortaleciendo la necesidad de conservación del patrimonio fosilífero de Tocantins.

PALABRAS CLAVE: Paleobotánica; Taxonomía; Unidad de Conservación.

INTRODUÇÃO

A Bacia Sedimentar do Parnaíba abrange registros estratigráficos de deposição que variam do Siluriano Inferior ao Cretáceo (VAZ; WANDERLEY FILHO; TRAVASSOS, 2007). Sua área apresenta ampla extensão geográfica, com aproximadamente 600.000 km², distribuindo-se nos estados brasileiros do Pará, Ceará, Maranhão, Piauí, Bahia e Tocantins (GÓES; FEIJÓ, 1994). No estado do Tocantins, a bacia ganha destaque devido à presença de uma paleoflora de origem permiana, intitulada “Floresta Petrificada do Tocantins Setentrional” (FPTS) (DIAS-BRITO *et al.*, 2007).

A FPTS apresenta altos níveis de riqueza e diversidade fossilífera Eopermiana, especialmente de caules fósseis parautóctones, preservados tridimensionalmente e anatomicamente por petrificação siliciclástica (DIAS-BRITO *et al.*, 2007; TRÜMPER; GÖTZE; RÖßLER, 2020). Devido a isso, nos anos 2000, a floresta passou a sofrer com o contrabando de fitofósseis e demais ações antrópicas que implicaram diretamente na conservação da área. Por consequência, o Instituto de Natureza do Tocantins (Naturatins) instituiu, sob a Lei Estadual nº 1.179/2000, uma Unidade de Conservação (UC) de proteção integral no local, intitulada

Monumento Natural das Árvores Fossilizadas do Estado do Tocantins (Monaf) (DIAS-BRITO *et al.*, 2007; TAVARES; DE ALCÂNTARA ALENCAR; PACÍFICO FILHO, 2020).

O Monaf integra três grupos de sequências deposicionais, respectivos às eras Paleozoica e Mesozoica. Tais sequências correspondem aos grupos Serra Grande (Ordoviciano ao Devoniano Inferior), Canindé (Devoniano Superior ao Carbonífero Inferior) e Balsas (Carbonífero Superior ao Triássico Inferior) (JÚNIOR; NOGUEIRA, 2013). O Grupo Balsas aflora horizontalmente em uma sequência Carbonífero–Triássico de rochas siliciclásticas, evaporíticas e carbonáticas (JÚNIOR; NOGUEIRA, 2013), as quais se distribuem nas formações geológicas (Fm.): Piauí (Carbonífero), Pedra de Fogo (Permiano), Motuca (Permiano) e Sambaíba (Triássico).

As Formações Pedra de Fogo e Motuca, respectivamente, são subsequentes quanto à geocronologia e destacam-se pelo histórico de sítios fossilíferos aflorantes. Até a atualidade, alguns pesquisadores considerem a Fm. Pedra de Fogo como portadora dos fitofósseis presentes no Monaf. Todavia, esta pesquisa se baseia em determinados estudos fitogeográficos, como Dias-Brito *et al.* (2007), Neregato *et al.* (2017) e Trümper, Götze e Röbller (2020), e conseqüentemente considera os espécimes fósseis pertencentes a estratos da Fm. Motuca.

Dentre os períodos Eopermiano e Neopermiano, a Fm. Motuca teve sua deposição em zona continental, sob influências marítimas e lacustres em um clima predominante desértico (DIAS-BRITO *et al.*, 2007; GÓES; FEIJÓ, 1994; TRÜMPER; GÖTZE; RÖBLER, 2020). No que se refere à litologia, essa formação compoe-se predominantemente por siltitos avermelhados intercalados por folhetos de arenitos brancos (GÓES; FEIJÓ, 1994; JÚNIOR; NOGUEIRA, 2013). Quanto à composição florística, encontram-se samambaias (principalmente representadas pelos gêneros *Psaronius* e *Tietea*), gimnospermas, esfenófitas, licófitas e *Grammatopteris* (NEREGATO *et al.*, 2017; TRÜMPER; GÖTZE; RÖBLER, 2020).

Grammatopteris Renault (1891) refere-se a um gênero incomum e *incertae sedis* de samambaias arbóreas Eopermianas. A primeira descrição do gênero *Grammatopteris* foi realizada por Renault em 1891, com o holótipo *Grammatopteris rigollotii* Renault (1891), proveniente da Bacia de Autun (Permiano, França). Outros espécimes foram subsequentemente descritos, como *Grammatopteris baudafii* Beck 1920, Hirmer 1927 (BECK, 1920), da Bacia de Chemnitz (Permiano, Alemanha); *Grammatopteris bertrandii* Corsino 1937, da Bacia de Autun (Carbonífero, França); *Grammatopteris freitasii* Röbller e Galtier 2002, Bacia do Parnaíba (Permiano, Brasil) (RÖBLER; GALTIER, 2002; SAHNI, 1932).

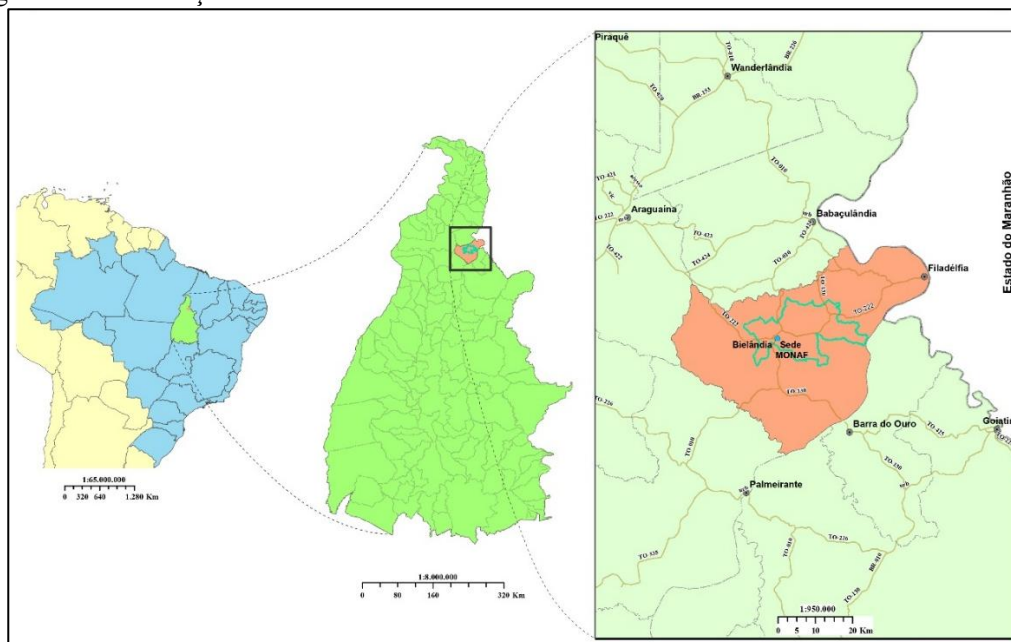
O gênero *Grammatopteris* caracteriza-se por caules eretos de pequeno a médio porte, cujo diâmetro podia atingir até 40 cm (RÖBLER *et al.*, 2024). Ao longo do eixo caulinar, distribuíam-se bases foliares e um manto de raízes adventícias, as quais sustentavam o hábito arbóreo do gênero. O referido táxon define-se por um conjunto de estruturas anatômicas não observáveis em demais fitofósseis, tais como um estelo protostélico exarco envolto por traços foliares com xilema disposto em forma de barra reta, sem evidenciar curvatura (RÖBLER; GALTIER, 2002).

Em decorrência disso, esta pesquisa teve como objetivo principal registrar um novo fragmento caulinar proveniente do Monaf, Permiano, Fm. Motuca, Bacia do Parnaíba. Além disso, teve como objetivos secundários a caracterização morfoanatômica e a classificação do espécime ao menor nível taxonômico possível, a fim de contribuir para a reconstituição da paleoflora permiana da FPTS. Dessa forma, tais elementos destacam a diversidade fossilífera associada ao elevado nível de preservação presente no Monaf, fornecendo subsídios importantes para uma gestão ambiental conservacionista tocantinense.

METODOLOGIA

A metodologia do presente trabalho foi desenvolvida em duas etapas: trabalhos de campo – coleta (Fig. 1) e preparação/análises de laboratório.

Figura 1 - Localização Monumento Natural das Árvores Fossilizadas do Estado do Tocantins



Fonte: cedido pelo Naturatins (2023).

Trabalho de campo – coleta

A área de coleta corresponde à fazenda Buritirana ($7^{\circ}27'36''S$ $47^{\circ}43'26''W$) situada no Monaf, próximo ao distrito de Bielândia, município de Filadélfia, Tocantins, Brasil (Figs. 1; 2). O espécime foi encontrado durante uma atividade de campo no ano de 2023.

O material localizava-se rolando em superfície e sua coleta ocorreu sem a necessidade de escavação. Posteriormente, o espécime foi encaminhado ao Laboratório de Paleobiologia (LPB) da UFT, Coleção de Paleontologia da UFT (CPALEOUFT), *Campus* de Porto Nacional.

Figura 2 - Vista geral da fazenda Buritirana



(A): fotografia panorâmica da fazenda. (B): FPTS com fitofósseis espalhados.

Fonte: acervo pessoal, (2023).

Preparação e análises de laboratório

As preparações e análises de laboratório foram subdivididas em quatro etapas: preparação inicial; preparação secundária; descrições morfológicas; descrições anatômicas.

1) Preparação inicial

No laboratório, o fóssil foi submetido a uma limpeza física para aprimorar a visualização de seus caracteres morfológicos. O processo incluiu a lavagem em água corrente e o uso de escovas de limpeza laboratoriais para a remoção de sedimentos impregnados em sua estrutura. Posteriormente, o espécime foi registrado em livro-tombo, e atualmente compõe a CPALEOUFT, sob o acrônimo UFT PB N° 3047 (Fig. 3A).

2) Preparação secundária

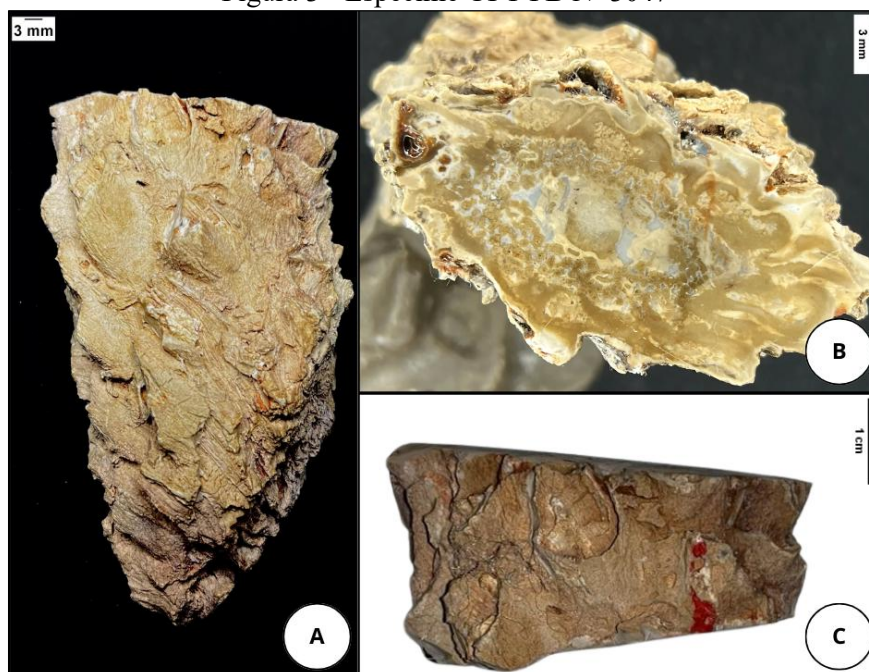
Para a realização das metodologias a seguir, foi aplicado protocolo de Guerra-Sommer e Fabbrin-Pires (2010).

Inicialmente, o caule fóssil foi submetido ao polimento do eixo transversal, possibilitando a visualização dos caracteres mesoscópicos (Fig. 3B). Para tal fim, foi utilizada uma broca de serra diamantada lubrificada com água, atuante como fluido refrigerador. Por conseguinte, foi utilizado óleo como auxiliar para a observação de estruturas.

O espécime foi submetido a um corte transversal utilizando serra diamantada lubrificada com água. Como resultado, foi obtida uma seção transversal com aproximadamente dois (2) centímetros (cm) (Fig. 3C). Em seguida, a seção plana foi enviada ao Laboratório de Geologia (Geolab), empresa especializada na confecção de lâminas delgadas e petrográficas, localizado no município de Recife, Pernambuco, Brasil.

O protocolo de execução para lâminas petrográficas estabelecido pelo GEOLAB foi dividido em etapas: corte das amostras, desbaste, colagem e finalização. Atualmente, as lâminas integram a laminoteca da CPALEOUFT.

Figura 3 - Espécime UFT PB N° 3047



(A): vista geral do espécime. (B): seção plana polida do espécime. (C): seção transversal do espécime com aproximadamente dois centímetros.

Fonte: acervo pessoal, (2024).

3) Descrições morfológicas

Para as descrições morfológicas do espécime, foram seguidas metodologias previamente descritas na literatura de referência no estudo paleobotânico, tais como Beck (1920), Rößler e Galtier (2002), Sahni (1932), Schneider (2013) e Yonekura e Sugiyama (2021).

Para a descrição morfológica, inicialmente foram mensurados o comprimento geral do espécime, assim como largura e altura em centímetros. As bases peciolares foram mensuradas quanto à largura e à altura em centímetros. Ademais, as bases foram contabilizadas e descritas quanto à sua morfologia e arranjo espacial ao redor do eixo caulinar (filotaxia). Todas as estruturas acima foram mensuradas e fotografadas com equipamentos do LPB, como paquímetro digital (Starrett 799A-6/150), câmeras digitais e estereomicroscópio (Leica M165) equipado com câmera digital (Leica MC170 HD).

4) Descrições anatômicas

Para as descrições anatômicas, foi seguido, principalmente, o protocolo descritivo proposto para o gênero *Grammatopteris* de Rößler e Galtier (2002), somado às metodologias de

Beck (1920), Sahni (1932), Tavares, Rosemarie e Merlotti (2011), Tomescu (2021) e Oda e Fukuda (2021).

A estrutura estelar foi mensurada e caracterizada quanto à sua composição, maturação xilemática e arquitetura. A zona cortical é descrita tanto em nível de unidade celular (células parenquimatosas, esclereides, células secretoras) quanto ao conjunto que forma o córtex; todas as estruturas foram mensuradas.

As bases foliares são descritas quanto ao tamanho e forma. A presença ou ausência de componentes celulares na estrutura também é analisada. Os traços foliares foram mensurados e caracterizados quanto à sua maturação xilemática e morfologia. Ademais, são descritos em relação à distribuição ao longo do eixo caulinar. Os traqueídes são dimensionados quanto ao diâmetro e em seguida, descritos de acordo com o tipo de espessamento traqueal (espiralado, escalariforme, reticulado, pontuado e anelar) (ODA; FUKUDA, 2012).

As metodologias de análise anatômica foram realizadas mediante o uso de microscópio óptico (Leica DM500) com câmera digital acoplada (Leica ICC50 W). As fotografias foram analisadas com auxílio de programas de aquisição de imagens, LAS AZ (sistemas operacionais Windows) e o imageJ, destinado ao processamento de imagens diretamente nas fotografias do material (COLLINS, 2007; GONZALEZ; WOODS, 2010).

Figura 4 - Metodologia de medição



(A): medição seção transversal mínima. (B): medição seção transversal máxima.

Fonte: acervo pessoal, (2024).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A classificação taxonômica do espécime baseou-se não só na análise de caracteres morfológicos e anatômicos, mas em um conjunto de estudos bibliográficos sobre a evolução, a taxonomia e a sistemática de traqueófitas (plantas vasculares) e samambaias, como, por exemplo, literaturas de Crane e Kenrick (1997), Kenrick e Crane (1997), PPG I (2016), Pryer *et al.* (2004) e Ruggiero *et al.* (2015).

Sistemática Paleobotânica

- Filo: Tracheophyta;
- Classe: Polypodiopsida *sensu* Ruggiero *et al.* (2015);
- Ordem: *Incertae Sedis*;
- Família: *Incertae Sedis*;
- Gênero: *Grammatopteris*, Renault (1891).

Descrições morfológicas

O espécime é um caule mineralizado (MUSTOE, 2017; TRÜMPER; GÖTZE; RÖBLER, 2020), levemente achatado, apresentando seção irregular, com um diâmetro máximo de 52,25 mm, mínimo de 28,56 mm e uma altura de 109,41 mm (Fig. 4). A coloração varia entre acinzentado e marrom-claro. Devido ao ambiente deposicional, é possível inferir que o espécime sofreu um processo de silicificação (DIAS-BRITO, *et al.*, 2007; TRÜMPER; GÖTZE; RÖBLER, 2020).

Ao longo do eixo caulinar, foram identificadas quatorze (14) bases foliares bem preservadas, morfológicamente subtriangulares, distribuídas em uma conformação filotáxica espiralada. Não foi possível determinar um padrão filotáxico, visto que algumas partes do caule apresentam certo grau de fragmentação, dificultando a identificação. Seu diâmetro varia entre 5,57 e 14,65 mm e a altura de 13,26 e 27,07 mm. Em nenhuma das bases foliares é observado a preservação de folhas.

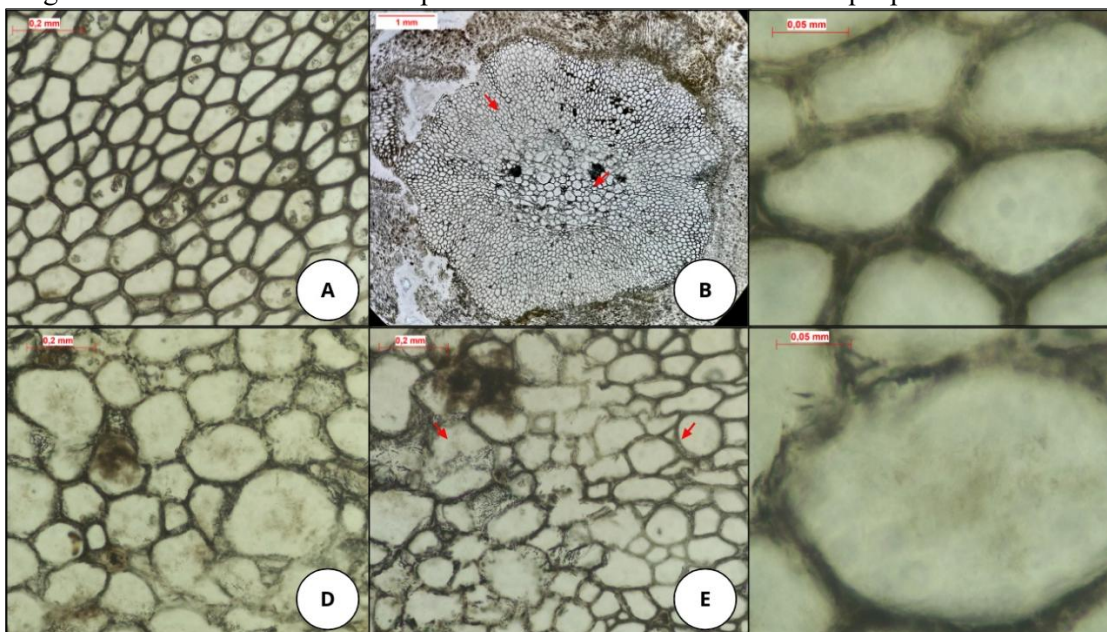
Descrições anatômicas

Na zona central caulinar, identifica-se o estelo (Fig. 5B). Originado do procâmbio, o estelo é um conjunto de tecidos condutores primários: xilema e floema (BECK; SCHMID; ROTHWELL, 1982; TOMESCU, 2021). A zona estelar apresenta 5,84 mm de diâmetro e caracteriza-se por uma arquitetura circular, com bordas irregulares. Devido a essa conformação, é classificada como protostélica, de geometria transversal xilemática haplostélica (Fig. 5B). Tal organização estelar é típica de traqueófitas basais, como as licófitas e as primeiras samambaias (TOMESCU, 2021).

Em fitofósseis, o estelo é normalmente composto apenas por xilema primário, pois o floema é relativamente frágil e geralmente não suporta os processos de fossilização (BECK; SCHMID; ROTHWELL, 1982). No espécime, encontram-se preservados apenas tecidos xilemáticos, os quais apresentam dois tipos de maturação, determinados como protoxilema e metaxilema (Fig. 5E).

O protoxilema compõe aproximadamente 3,37 mm da zona estelar (Fig. 5A). Suas células localizam-se na periferia do estelo e apresentam aproximadamente 0,100 mm. Quanto à morfologia celular, estas exibem arquitetura hexagonal com lúmens grandes de colocação clara, as paredes secundárias são espessas devido ao alto nível de preservação (Fig. 5C). A zona protoxilemática apresenta traqueídes bem preservados com espessamento escalariforme multisseriado (Figs. 6A; 6B), de aproximadamente 0,0600 a 0,150 mm. Alguns traqueídes apresentam bordas circulares (Fig. 6C).

Figura 5 - Lâminas transversais espécime UFT PB N° 3047 com destaque para zona estelar



(A): células protoxilemáticas; aumento 10x. (B): fotografia em lupa da estela; seta indica a diferença celular entre o protoxilema e o metaxilema. (C): aproximação de lâmina “A”; aumento 40x. (D): células metaxilemáticas; aumento 10x. (E): setas indicam a transição de células do metaxilema (esquerda) ao protoxilema (direita); aumento 10x. (F): aproximação de uma célula metaxilemática; aumento 40x.

Fonte: acervo pessoal, (2025).

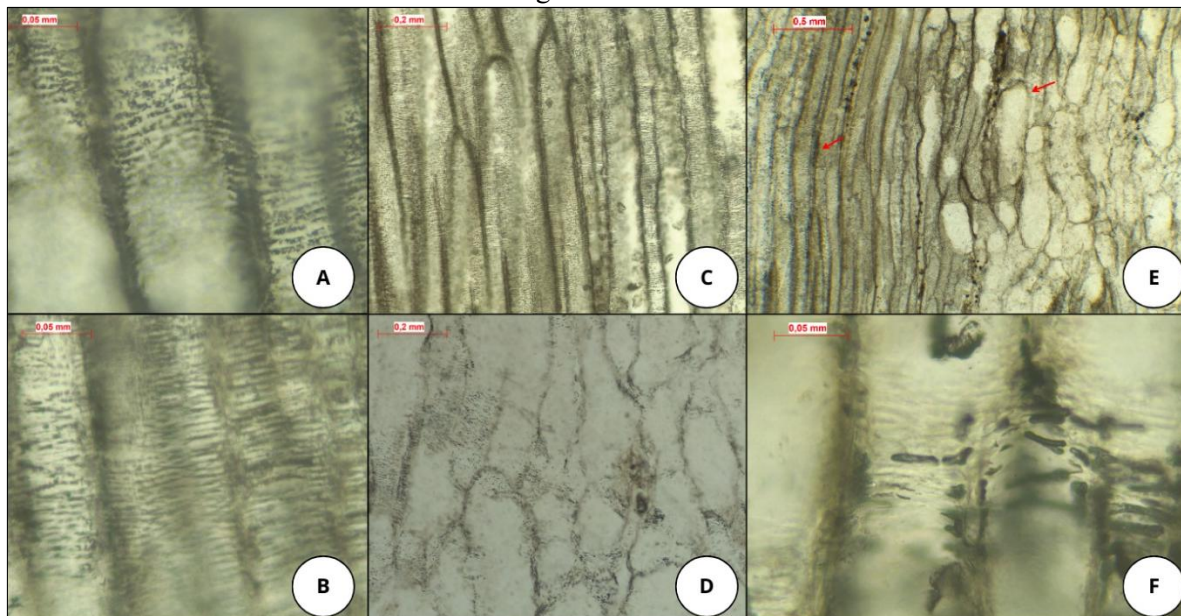
O metaxilema compõe aproximadamente 2,47 mm da zona estelar (Fig. 5D). Suas células localizam-se no centro do estelo e são relativamente maiores com aproximadamente 0,200 mm de diâmetro. Quanto à morfologia celular, estas exibem arquitetura hexagonal com lúmens grandes e de colocação clara; as paredes secundárias não apresentam um alto nível de preservação, o que dificulta sua interpretação. Portanto, infere-se paredes celulares finas em relação às células protoxilemáticas (Fig. 5F). A zona metaxilemática apresenta traqueídes com uma preservação imprecisa, entretanto, é possível observar o espessamento escalariforme com aproximadamente 0,150 a 0,200 mm (Fig. 6D).

Desse modo, o espécime em estudo apresenta o protoxilema na zona periférica caulinar e o metaxilema na zona central caulinar; consequentemente, a maturação xilemática é classificada como exarca (RÖBLER; GALTIER, 2002)(Figs. 5B; 5E).

Os elementos traqueais respectivos à figura “6F” não foram identificados quanto a maturação xilemática; contudo representam alto nível de preservação e demonstram os espessamentos escalariformes na forma de escadas ou degraus, assim como Beck (1920) os

diagnosticava no trabalho descritivo de um dos espécimes do gênero *Grammatopteris*, *G. baldaufii*.

Figura 6 - Lâminas do espécime UFT PB N° 3047; destaque para os traqueídes em seção longitudinal



(A): seção longitudinal radial de traqueídes do protoxilema; aumento 40x. (B): seção longitudinal radial de traqueídes do protoxilema; aumento 40x. (C): seção longitudinal radial de traqueídes do protoxilema com bordas circulares; aumento 10x. (D): seção longitudinal radial de traqueídes do metaxilema; aumento 10x. (E): seção longitudinal radial de traqueídes da estela; seta indica a diferença entre protoxilema e metaxilema; aumento 4x. (F): seção longitudinal tangencial de traqueídes escalariformes multisseriados; aumento 100x.

Fonte: acervo pessoal (2025).

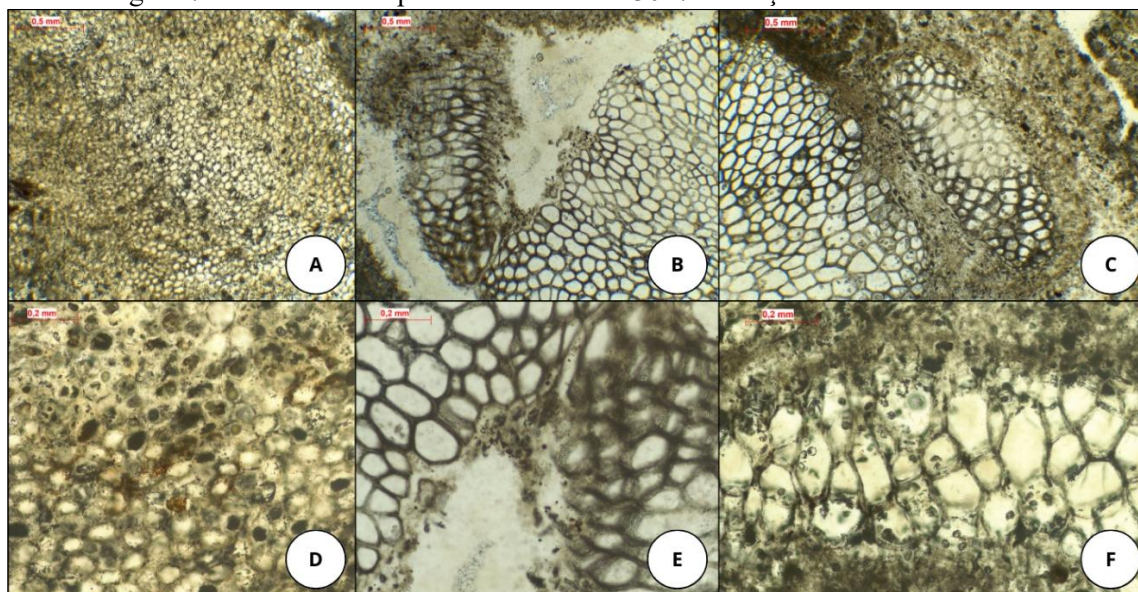
A zona cortical é originada a partir do amadurecimento do meristema fundamental (TOMESCU, 2021). No espécime, o córtex localiza-se no entorno da estela e apresenta um diâmetro de 46,41 mm, compondo a maior área caulinar (Figs. 7A; 7D). Nessa zona, é identificada a presença de células parenquimáticas, traços foliares, bases peciolares, células escleróticas, células secretoras e traços de raízes.

Representando a maior composição do córtex, encontram-se as células parenquimáticas. No espécime, essas células parenquimatosas apresentam-se em grandes conglomerados com morfologia circular e um diâmetro de aproximadamente 0,500 a 0,800 mm (Fig. 7D). Sua coloração apresenta variação, com células claras com bordas escuras ou completamente escuras.

Os traços foliares representam o início do desenvolvimento foliar (Figs. 7B; 7C; 7E). Essas estruturas são originadas no estelo e transicionam até a periferia do caule em uma disposição espiralada (Figs. 8A; 8B; 8C). Os traços apresentam diâmetro variando entre 1,50 e 2,64 mm, e são compostos por células protoxilemáticas com alto grau de preservação, visualizando-se uma espessa parede secundária (Figs. 7F; 8D).

Durante a história evolutiva das samambaias, a grande maioria dos táxons é representado por um traço foliar/peciolar disposto em forma de “C”, ou seja, um cilindro vascular curvado (SCHNEIDER, 2013). Todavia, o espécime aqui analisado não detém essa característica. Contrariamente, suas células xilemáticas evidenciam uma estrutura em forma de barra reta (Figs. 7C; 8E).

Figura 7 - Lâminas do espécime UFT PB Nº 3047 em seção transversal



(A): zona cortical; aumento 4x. (B): saída de um traço foliar do estelo; aumento 4x. (C): traço foliar após a saída e desassociação do estelo; aumento 4x. (D): aproximação de “A”; aumento 10x. (E): aproximação de “B”; aumento 10x. (F): traço foliar; aumento 10x.

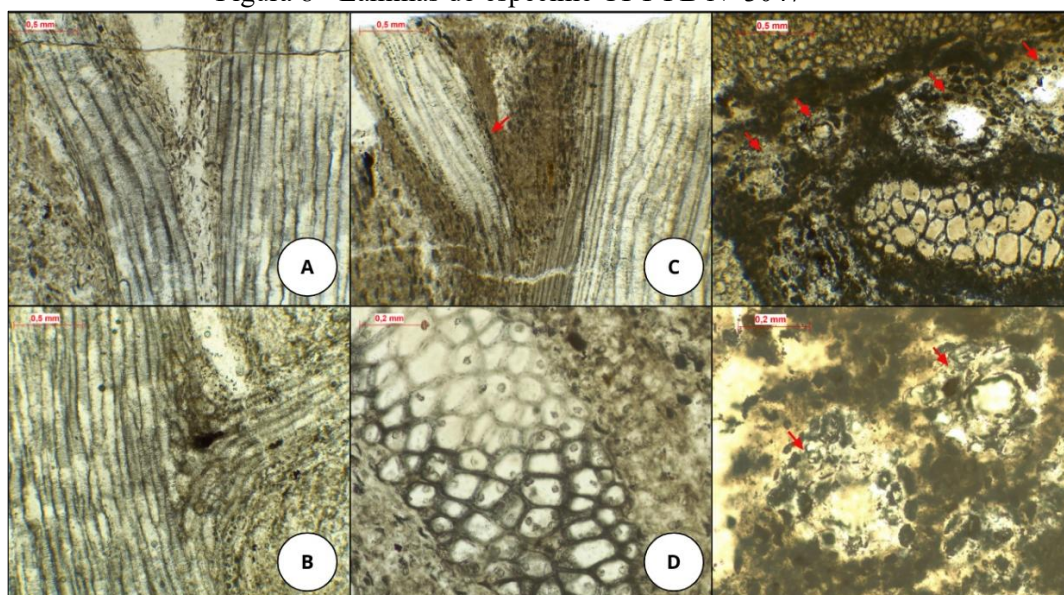
Fonte: acervo pessoal (2025).

As bases peciolares correspondem à região onde emergem os eufilos (folhas). No espécime, essas bases são formadas ao centro por traços foliares protoxilemáticos e, no entorno, por córtex parenquimatoso (Fig. 8E). No córtex peciolar, são identificadas células escleróticas, que podem se distribuir em agrupamentos, denominados ninhos escleróticos (Figs. 8E; 8F).

Os ninhos escleróticos variam de tamanho entre aproximadamente 0,200 a 0,850 mm. Ao centro, esses agrupamentos podem apresentar células secretoras (Fig. 8F), que quando preservadas apresentam aproximadamente entre 0,100 a 0,300 mm.

Embora o espécime apresente uma preservação notável, não foram identificados exemplares de traços de raízes adventícias. Infere-se que tal aspecto ocorra devido à falta natural de preservação das raízes ou da zona específica caulinar fossilizada. Isto porque, em regiões basais do caule é observado um grande número de raízes adventícias; contrariamente, no ápice caulinar é encontrado um grande número de traços foliares (Rößler; Galtier, 2002).

Figura 8 - Lâminas do espécime UFT PB N° 3047



- (A): seção longitudinal radial de traqueídes com a saída de um traço foliar; aumento 4x.
(B): seção longitudinal radial de traqueídes com a saída de um traço foliar; aumento 4x. (C): seção longitudinal radial da saída e desassociação de um traço foliar do estelo; aumento 4x.
(D): traço foliar; aumento 10x (E): traço foliar com ninhos escleróticos ao redor; aumento 4x.
(F): ninhos escleróticos com células secretoras ao centro; aumento 4x.

Fonte: acervo pessoal (2025).

Em conclusão, o presente estudo classifica o fitofóssil como pertencente ao morfogênero *Grammatopteris*. O espécime UFT PB N° 3047 integra os caracteres diagnósticos do gênero, tais quais estelo do tipo protostélico exarco com xilema foliar/peciolar em forma de barra reta, além de um manto de bases foliares. Embora o espécime aqui descrito não apresente raízes adventícias, infere-se, com base no artigo de Rößler e Galtier (2002), que o fragmento caulinar corresponde a uma região apical; devido a isso, as raízes são ausentes.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho teve como objetivo primordial o registro de um fragmento de fitofóssil, especificamente de um caule com a sua porção apical preservada, proveniente da Formação Motuca, Monaf, Bacia do Parnaíba, Permiano. Como foco secundário, foi realizada a descrição morfoanatômica e a classificação taxonômica.

Em síntese, este trabalho servirá como referência de estudo para novos pesquisadores do gênero *Grammatopteris* e demais táxons de samambaias *incertae sedis*. Desse modo, esse estudo gera reconhecimento ao Monaf, destacando o elevado nível de preservação dos fitofósseis, bem como a diversidade fossilífera tocantinense.

Agradecimentos

Agradeço à Universidade Federal do Tocantins (UFT) e ao Laboratório de Paleobiologia (LPB) pelo espaço e apoio, ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pelo auxílio financeiro e a Fundação de Amparo à Pesquisa do Tocantins (FAPT), pelo apoio financeiro através do edital FAPT/Naturatins.

REFERÊNCIAS

- BECK, Charles B.; SCHMID, Rudolf; ROTHWELL, Gar W. Stelar morphology and the primary vascular system of seed plants. **The Botanical Review**, v. 48, n. 4, p. 691–815, 1982.
- BECK, Richard. Über *Protothamnopteris baldauf nov. sp.*, einem neuen verkieselten farn aus dem Chemnitzer rotliegenden. **Abhandlungen der Mathematisch-Physikalischen Klasse der Sächsischen Akademie der Wissenschaften**, v. 36, n. 5, p. 123–145, 1920.
- COLLINS, Tony J. ImageJ for Microscopy. **BioTechniques**, v. 43, n. 1, p. 5, 2007.
- CRANE, Peter R.; KENRICK, Paul. Problems in cladistic classification: higher-level relationships in land plants. **A Journal of Systematic and Floristic Botany**, v. 15, n. 2, p. 87–104, 1997.
- DIAS-BRITO, Dimas *et al.* The Northern Tocantins Petrified Forest, State of Tocantins – The most luxuriant and important Permian tropical-subtropical floristic record in the Southern Hemisphere. In: WINGE, M. *et al.* (org.). **Sítios Geológicos e Paleontológicos do Brasil**. Brasília: SIGEP, 2007.
- GÓES, Ádison M. O.; FEIJÓ, Flávio J. Bacia do Parnaíba. **Boletim de Geociências da Petrobras**, v. 8, n. 1, p. 57–67, 1994.
- GONZALEZ, Rafael C.; WOODS, Richard E. **Processamento Digital de Imagens**. 3. ed. /S.l./: Pearson Prentice Hall, 2010.

GUERRA-SOMMER, Margot; FABBRIN PIRES, Etiene. Técnicas de preparação de material paleobotânico. *In*: Carvalho, Ismar de Souza (org.). *Paleontologia: conceitos e métodos*. 3ª ed. Rio de Janeiro: **Interciência**, 2010. p. 431-435.

JÚNIOR, Francisco Romério Abrantes; NOGUEIRA, Afonso César Rodrigues. Reconstituição paleoambiental das formações Motuca e Sambaíba, Permo-Triássico da Bacia do Parnaíba no sudoeste do Estado do Maranhão, Brasil. **Geol. USP, Sér. cient**, v. 13, n. 3, p. 65–82, 2013.

KENRICK, Paul; CRANE, Peter R. The origin and early evolution of plants on land. **Nature**, v. 389, n. 6646, p. 33–39, 1997.

MUSTOE, George E. Wood petrification: A new view of permineralization and replacement. **Geosciences**, v. 7, n. 4, p. 119, 2017.

NEREGATO, Rodrigo *et al.* New petrified calamitaleans from the Permian of the Parnaíba Basin, central-north Brazil, part II, and phytogeographic implications for late Paleozoic floras. **Review of Palaeobotany and Palynology**, v. 237, p. 37–61, 2017.

ODA, Yoshihisa; FUKUDA, Hiroo. Secondary cell wall patterning during xylem differentiation. **Current opinion in plant biology**, v. 15, n. 1, p. 38–44, 2012.

PPG I. A community-derived classification for extant lycophytes and ferns. **Journal of Systematics and Evolution**, v. 54, n. 6, p. 563–603, 2016.

PRYER, Kathleen M. *et al.* Phylogeny and evolution of ferns (monilophytes) with a focus on the early leptosporangiate divergences. **American Journal of Botany**, v. 91, n. 10, p. 1582–1598, 2004.

RÖSSLER, Ronny *et al.* Interrelatedness of Biota Revealed in Fossil Trees from the Permian Fossil Forest of Northern Tocantins, Central-North Brazil. *In*: IANNUZZI, Roberto; RÖSSLER, Ronny; KUNZMANN, Lutz (Orgs.). **Brazilian Paleofloras**. Switzerland: Springer Nature, 2024. p. 1–47.

RÖSSLER, Ronny; GALTIER, Jean. First *Grammatopteris* tree ferns from the Southern Hemisphere – new insights in the evolution of the Osmundaceae from the Permian of Brazil. **Review of Palaeobotany and Palynology**, v. 121, n. 3, p. 205–230, 2002.

RUGGIERO, Michael A. *et al.* Correction: a higher level classification of all living organisms. **Plos one**, v. 10, n. 6, p. e0130114, 2015.

SAHNI, Birbal. On a Palaeozoic tree-fern, *Grammatopteris baldaufi* (Beck) Hirmer, a link between the Zygopterideae and Osmundaceae. **Annals of Botany**, v. 46, n. 184, p. 863–877, 1932.

SCHNEIDER, Harald. Evolutionary Morphology of Ferns (Monilophytes). *In*: AMBROSE, Barbara A.; PURUGGANAN, Michael (Orgs.). **Annual Plant Reviews**, v. 45, 1. ed. [S.l.]: Wiley, 2013. p. 115–140.

TAVARES, Tatiane Marinho Vieira; DE ALCÂNTARA ALENCAR, Marina; PACÍFICO FILHO, Miguel. Monumento Natural das Árvores Fossilizadas do Tocantins (MONAF): política pública ambiental e patrimonial. **Humanidades & Inovação**, v. 7, n. 14, p. 225–244, 2020.

TAVARES, Tatiane MV; Rosemarie, ROHN; MERLOTTI, Sheila. Caules permineralizados de *Tietea* e *Psaronius* na Bacia do Paraná (Formação Corumbataí, Permiano). **Pesquisas em Geociências**, v. 38, n. 2, p. 114–131, 2011.

TOMESCU, Alexandru M. F. The stele – a developmental perspective on the diversity and evolution of primary vascular architecture. **Biological Reviews**, v. 96, n. 4, p. 1263–1283, 2021.

TRÜMPER, Steffen; GÖTZE, Jens; RÖSSLER, Ronny. Siliceous petrifications in the Permian of the Parnaíba Basin, central-north Brazil: sedimentary environment and fossilization pathways. *In: Brazilian Paleofloras: From Paleozoic to Holocene. [S.l.]*: Springer, 2020. p. 1–45.

VAZ, Pekim Tenório; WANDERLEY FILHO, Joaquim Ribeiro; TRAVASSOS, Walter Antônio Silva. Bacia do parnaíba. **Boletim de Geociências da PETROBRAS**, v. 15, n. 2, p. 253–263, 2007.

YONEKURA, Takaaki; SUGIYAMA, Munetaka. Symmetry and its transition in phyllotaxis. **Journal of Plant Research**, v. 134, n. 3, p. 417–430, 2021.