

OS PROCESSOS TAFONÔMICOS EM VEGETAIS SUPERIORES

*Laureen Sally da Rosa Alves
Margot Guerra-Sommer*

A diversidade de registros fossilíferos vegetais expressa o modo particular pelo qual se verifica o processo de transformação de troncos, ramos, folhas, sementes, desde a desarticulação da planta matriz até a etapa final, a diagênese. Sendo assim, os estudos sobre a tipologia e as características dos fósseis, alvos da tafonomia, revelam-se decisivos quando se trata de compreender as alterações estruturais detectadas em cada fragmento. Exemplos representativos dos diferentes tipos de fossilização – permineralizações, petrificações, compressões, impressões, moldes – são abundantes nas seqüências estratigráficas do Rio Grande do Sul.

Considerações Gerais

O termo tafonomia (do grego *thapous*: morte) foi definido por Efremov como o estudo da transição dos componentes orgânicos de organismos vivos até assembléias fósseis.¹ A tafonomia, portanto, é mais abrangente do que a bioestratinomia², que se detém nos processos que envolvem a inclusão dos organismos no sedimento; a tafonomia, mais ampla, contempla também a análise dos tipos de fossilização, resultantes de todo o processo que engloba as fases de decomposição, fragmentação, transporte, incorporação (recobrimento inicial) e diagênese.

Existem diferenças importantes entre a forma com que as plantas e animais são representados no registro fóssil. As plantas produzem em seu ciclo de vida um grande número de órgãos, cada um dos quais dispersos no ambiente de forma individual, e com potencial de preservação diferenciado em relação a transporte, deposição, preservação e retrabalhamento.

A evolução em mosaico – heterobatismo, que ocorre em vegetais superiores – gera diferentes taxas de evolução em órgãos distintos das plantas.³ Este fator afeta profundamente o estudo de fragmentos vegetais, pois níveis de evolução observados em um órgão isolado não podem ser extrapolados para a planta como um todo, a qual é raramente preservada de forma integral. Tais características, peculiares das assembléias paleobotânicas, levaram ao desenvolvimento de sistemática e taxonomia especiais, que permitem trabalhos com dados isolados.⁴ Esta complexidade fez com que análises tafonômicas de plantas tenham se desenvolvido de forma independente em relação à tafonomia de faunas.

Conforme Spicer e Thomas, os estudos até hoje realizados em assembléias fito-fossilíferas ainda não permitem o estabelecimento de padrões tafonômicos, sendo caracterizados, isto sim, em nível descritivo, processos que ocorrem em diferentes ambientes deposicionais.⁵

Os Processos Tafonômicos

Os diversos processos que podem ocorrer desde a fragmentação de uma planta e sua inclusão em diferentes tipos de ambientes deposicionais, geram tipos de fossilização diferenciados.

Os vegetais superiores crescem frequentemente em áreas erosivas, sofrendo quase sempre transporte até o sítio deposicional, mesmo aquelas plantas que viveram em áreas de acúmulo de sedimentos. Cada planta superior é composta por um grande número de órgãos, os quais são incorporados ao sedimento de forma individual.

A fragmentação da planta pode ser efetuada de diferentes maneiras. A abscisão (folhas, ramos, cones e esporângios) e a dispersão (pólen, esporos e sementes) são conseqüências do ciclo

¹ EFREMOV, I. A. Taphonomy: a new branch of paleontology. *Pan-American Geologist*, Des Moines, 74:81-93, 1940.

² WEIGERT, J. Geologie und Nordseefauna. *Der Steinbruch*, Berlin, 14:228-231; 244-246, 1919.

³ MENDES, J. C. *Paleontologia Básica*. São Paulo: T. A. Queiroz, USP, 1988.

⁴ SPICER, R. A. & THOMAS, B. A. (eds.). *Systematic and Taxonomic Approaches in Palaeobotany, Syst. Assoc. Spec.*, 31:1-321, 1986.

⁵ SPICER, R. A. & THOMAS, B. A. Op. cit.

de vida, portanto gerarão fragmentos íntegros. Alternativamente fragmentos podem ser separados da planta original por agentes biológicos em processos de fitofagia (fungos, insetos) ou por catástrofes tais como incêndios, tempestades, inundações e erupções vulcânicas. Os diferentes órgãos destacados por qualquer dos processos mencionados possuem também tecidos que têm diferentes potenciais de preservação. Portanto, se a resistência física de um determinado órgão ou fragmento de órgão irá protegê-lo contra os efeitos do transporte extensivo e da abrasão, é importante ressaltar que sua composição química irá controlar as taxas de decomposição por biogradção, elemento essencial no processo tafonômico.

De acordo com Scott e Collinson, em circunstâncias normais aeróbicas, tais substâncias irão decompor-se em um ordem específica.⁶ A decomposição aeróbica leva primeiro à perda de proteínas, açúcares e gorduras do citoplasma da célula. A celulose, que corresponde a 70% do volume da parede celular, em ambiente aeróbico, decompõe-se a seguir. A decomposição proporcionará enriquecimento de lignina, que representa apenas 30% da composição original da parede celular. A cutícula que reveste a folha e os talos jovens, formados por cutina, bem como a membrana protetora dos esporos e pólenes (esporopolenina), por serem altamente polimerizadas, resistem por muito tempo ao processo de oxigenação aeróbica.

Excluindo a oxigenação do sistema ou reduzindo a temperatura até próximo do ponto de congelamento, torna-se mais lento o processo de degradação do tecido. Mecanismos altamente seletivos continuam a atuar após a fase de fragmentação. São identificadas aqui três formas de inclusão no ciclo sedimentar: 1. inundação da comunidade *in situ*; 2. inclusão via sistema sedimentar; 3. incorporação como parte do ciclo de vida⁷. A inundação da comunidade de plantas *in situ*, acompanhada do sepultamento destas comunidades por sedimentos, constituem-se em fenômenos raramente referidos a partir de associações fósseis; o mais conhecido exemplo deste processo é o do Chert de Rhynie, da Escócia.⁸ Mais freqüentemente, os órgãos removidos pelos agentes citados anteriormente entram no ambiente deposicional via sistema sedimentar. As plantas que vivem em áreas potencialmente deposicionais, como planícies de inundação, margens de lagos estacionais, têm mais chance de preservar-se do que aquelas de regiões altas. Alguns órgãos podem ser incorporados no sedimento como consequência do ciclo de vida da planta. As plantas aquáticas, por exemplo, liberam suas estruturas reprodutivas (pólenes, esporos, sementes) na água, o que potencializa sua preservação. Uma vez incorporado ao ambiente de deposição, os fragmentos de plantas virão a sofrer alterações, como degradação, abrasão e fragmentação.

⁶ SCOTT, A. C. & COLINSON, M. E. Investigating fossil plant beds. Part I: The origin of fossil plants and their sediments. *Geology Teaching*, 7(4):114-122, 1983.

⁷ SCOTT, A. C. & COLINSON, M. E. Op. cit.

⁸ CHALONER, W. G & MACDONALD, P. *Plants invade the land*. Edinburgh: The Royal Scottish Museum, 1980.

- ⁹ SPICER, R. A. The sorting and deposition of allochthonous plant material in a modern environment at Silwood Lake, Silwood Park, Berkshire, England. *Prof. Pap. U. S. Geol. Surv.*, 1981.
- ¹⁰ ROLFE, W. D. I. & BRETT, D. W. Fossilisation processes. In: EGLINGTON, G. and MURPHY, M. T. eds. *Organic geochemistry*, Germany, 1969, p. 213-244.
- ¹¹ SCHOPF, J. M. Modes of fossil preservation. *Review of Paleobotany and Palynology*, Netherlands, 20:27-53, 1975.
- ¹² ALVES, L. S. R. Os fósseis vegetais nas rochas do sul do Brasil. In: SALÃO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA, 2, UFRGS, Porto Alegre, 1990, *Livro de Resumos*, 1990, n. 20, p. 30. ALVES, L. S. R. *Integração entre a Lignoflora e a Palinologia no Afloramento Passo São Borja (Fm. Irati - Bc. do Paraná)*. Porto Alegre: Curso de Pós-Graduação em Geociências. 174 p. Dissertação (Mestrado em Geociências) – Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1994.
- ¹³ SCHOPF, J. M. Op. cit.
- ¹⁴ GUERRA-SOMMER, M. *Padrões epidérmicos da Flora Glossopteris na Jazida do Faxinal (Formação Rio Bonito, Kunguriano, RS): implicações taxonômicas, bioestratigráficas, paleoecológicas e paleogeográficas*. Porto Alegre: Curso de Pós-Graduação em Geociências. 710 p. Tese (Doutorado em Geociências). Instituto de Geociências. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1988.
- GUERRA-SOMMER, M. Megaflores ocorrentes em horizontes associados a camadas de carvões no Rio Grande do Sul. *Acta Geológica Leopoldensia*, 12 (29): 93-104, 1989.
- GUERRA-SOMMER, M. Padrões Epidérmicos de Glossopteridales da Tafloflora do

É aceito de forma genérica que um sepultamento rápido favorece a preservação do material plântífero, e este fato foi demonstrado em sedimentos modernos, considerando como variáveis as modificações no tamanho de grão.⁹ Sabe-se também que ambientes alcalinos, geradores de rochas carbonáticas, em geral não favorecem a preservação de plantas, enquanto que ambientes de composição ácida a favorecem.¹⁰ Neste estágio existe um grande número de fatores biológicos e químicos que podem proporcionar a preservação. Após a atuação do conjunto de processos químicos que correspondem à diagênese, resultam diferentes tipos de fossilização, caracterizados como: permineralização celular, compressão carbonificada, preservação autigênica e preservação durepártica. Estes modelos de preservação não são exclusivos e um espécime poderá exibir a integração entre dois ou mais tipos de fossilização.¹¹

Alves registra que a ocorrência de fósseis vegetais é comum em seqüências estratigráficas do Rio Grande do Sul, provenientes do espesso pacote de sedimentos que se depositaram em um grande intervalo de tempo.¹² Os tipos de fossilização mais frequentes são permineralizações (Figuras 2 e 7), petrificações, compressões, impressões e moldes (Figura 1).¹³ Impressões da Flora *Glossopteris*, típica do continente Gondwana, são provenientes dos sedimentos do Grupo Itararé, que dão testemunho de abundantes florestas provenientes de um clima muito frio. Em rochas associadas a camadas de carvão, predominam as compressões carbonificadas.¹⁴ (Figuras 3 e 4). Em sedimentos da Formação Santa Maria aparece uma associação de plantas, representada por impressões da Flora *Dicroidium* (Figura 5), que indica um clima muito quente.¹⁵ Entretanto, os fósseis mais abundantes no Rio Grande do Sul são os troncos pemineralizados ou petrificados, provenientes da Formação Caturrita¹⁶, ocorrentes nas áreas dos Municípios de Mata, São Pedro do Sul e Santa Maria, que constituem uma das maiores reservas do planeta (Figura 6).

A Preservação de Tecidos Lenhosos

Considerando que a sílica constitui-se no mineral mais importante no processo de permineralização, conforme evidência nas análises geoquímicas e petrográficas realizadas em madeiras fósseis na Bacia do Paraná, serão feitas aqui algumas considerações sobre o processo de fossilização, especialmente em tecidos lenhosos. A presença de carbonato em proporções muito pequenas (pelo menos 0,8%) como mineral permineralizante permite algumas observações sobre a permineralização carbonática. Tendo em vista que podem existir níveis milimétricos de carbonificação na porção mais externa dos fragmentos, serão efetuadas também considerações sobre este processo.

Faxinal (Formação Rio Bonito – Artinskiano-Kunguriano, Bacia do Paraná, Brasil) *Pesquisas*. Porto Alegre, 1(19):26-40, 1992.

¹⁵BORTOLUZZI, C. A.; GUERRA-SOMMER, M.; CAZZULO-KLEPZIG, M. A Tafoflora Triássica da formação Santa Maria, RS, Brasil. I. Equisetales, Ginkgoales, Coniferales e Pteridophylla. In: Congresso Brasileiro de Paleontologia, 8, 1983, Rio de Janeiro, *Anais da Academia Brasileira de Ciências*. SBP, 2, 1983, p. 539-549.

BORTOLUZZI, C. A.; GUERRA-SOMMER, M.; CAZZULO-KLEPZIG, M. A Tafoflora Triássica da Formação Santa Maria, RS, Brasil. II. Representantes de Pteridospermopsida e Pteridophylla. IV *Reunião de Paleobotânicos e Palinólogos*. USP, São Paulo, 1983. Boletim IG, 1983.

BORTOLUZZI, C. A.; GUERRA-SOMMER, M.; CAZZULO-KLEPZIG, M. A Tafoflora Triássica da Formação Santa Maria, RS, Brasil: III – *Dicroidium odontopteroides*, *Dicroidium zuberi* e variações relacionadas a estas espécies. *Pesquisas*, Porto Alegre, 17: 215-232, 1985.

GUERRA-SOMMER, M., KLEPZIG, M. C. & BORTOLUZZI, C. A. A Tafoflora Triássica da Formação Santa Maria, Bacia do Paraná, Brasil e sua Importância Bioestratigráfica. III CONGRESSO LATINOAMERICANO DE PALEONTOLOGIA México. SIMPÓSIO SOBRE FLORAS DEL TRIÁSSICO TARDIO, SU FITOGEOGRAFIA Y PALEOECOLOGIA. Instituto de Geociências, UFRGS, Porto Alegre, Brasil, 1985. p. 33-41.

¹⁶BOLZON, R. T. A *Lignitafoflora Mesozóica do Rio Grande do Sul (Brasil): Métodos de Estudo, Tafonomia, Paleocologia e Paleoclimatologia*. Porto Alegre: Curso

Como já referiram diversos autores, a silicificação de plantas não se constitui em uma substituição, mas em uma permneralização gradual, quando o material hidroxílico orgânico e outros grupos funcionais, como ácido mono ou policíclico em solução, formariam um padrão para a precipitação da sílica.¹⁷

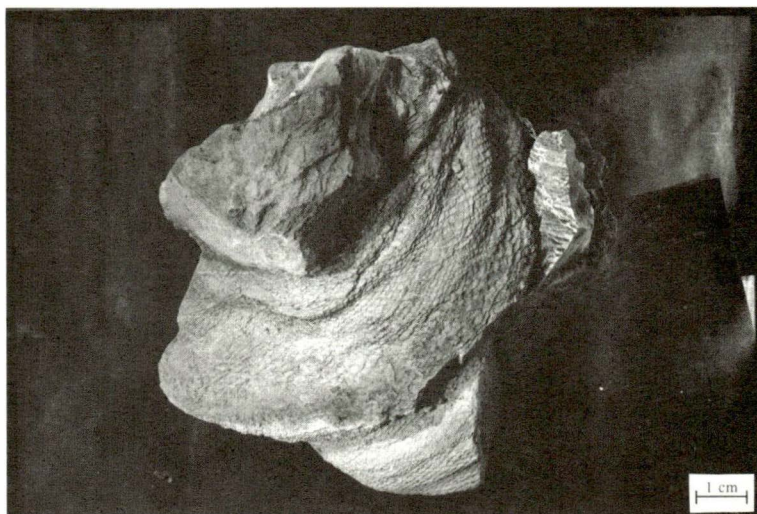


Figura 1. Base abaulada de licófito arborecente (Guerra-Sommer, 1989). Tipo de fossilização: molde (Schopf, 1975). Escala=3cm

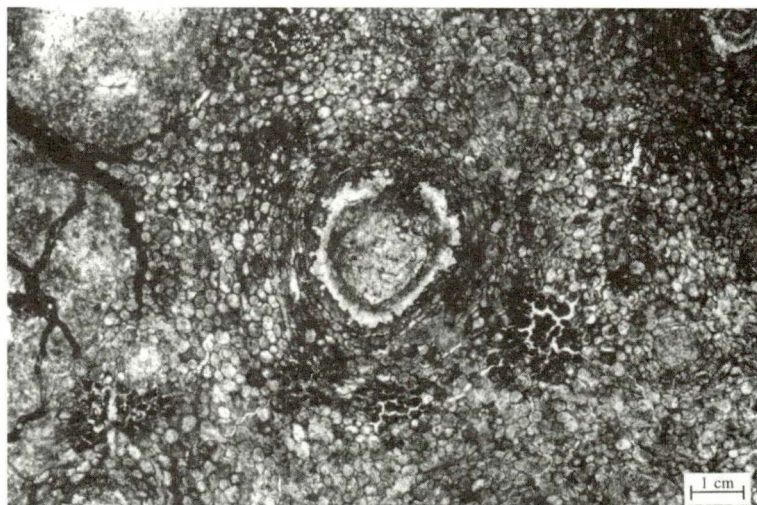


Figura 2. *Barakaroxylon resiniferum* (Guerra) Alves, 1994: seção transversal parcial da medula evidenciando canal secretor, células parenquimáticas e ninhos de células secretoras. Detalhes anatômicos preservados em madeira silicificada. Tipo de fossilização: permneralização (Schopf, 1975). Escala=354µm

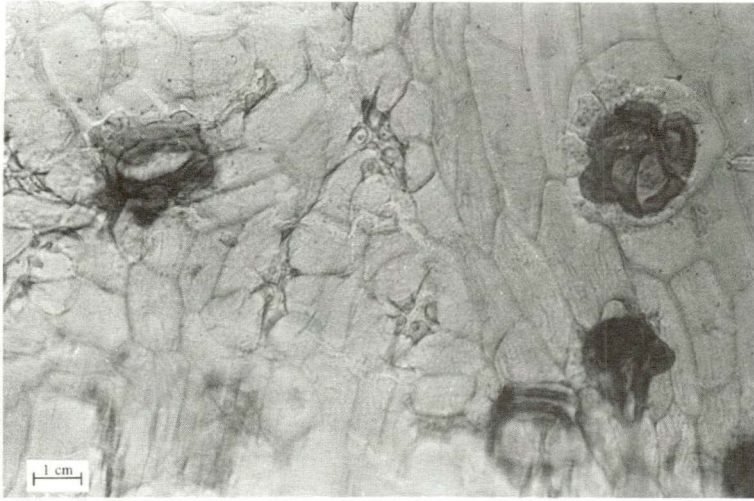


Figura 3. *Glossopteris brasiliensis* Guerra-Sommer, 1988: constituição da esculturação epidérmica e estômato na zona interfascicular. Tipo de fossilização: compressão carbonificada (Schopf, 1975). Escala=20 μ m



Figura 4. *Glossopteris brasiliensis* Guerra-Sommer, 1992: detalhe médio basal da lâmina foliar. Tipo de fossilização: compressão carbonificada (Schopf, 1975).



Figura 5. *Dicroidium zuberi* var. *zuberi* (Bortoluzzi et alli, 1985). Tipo de fossilização: impressão (Schopf, 1975). Escala=0,7cm

de Pós-Graduação em Geociências. 142 p. Dissertação (Mestrado em Geociências) - Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1983.

MINELLO, L. F. *As Florestas Petrificadas da Região de São Pedro do Sul e Mata, RS: introdução ao estudo dos processos de fossilização e análise morfológica; legislação pertinente e análise do desenvolvimento da consciência preservacionista*. Porto Alegre: Curso de Pós-Graduação em Geociências. 483 p. Dissertação (Mestrado em Geociências) - Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1983.

¹⁷ BUURMAN, P.; VAN BREEMEN, N.; HEWSTRA, S. Recent silicification of plant remains in acid sulphate soils. *Neues Jahrb. Mineral Monatsh.* 3: 117-124, 1973.

KNOLL, A. H. Exceptional preservation of photosynthetic organisms in silicified carbonates and silicified peats. *Phil. Trans R. Soc. Lond.*, B311: 111-122, 1985.

LEO, R. F.; BARGHOORN, E. S. Silicification of wood. *Bot. Mus. Leaflets Harv. Univ.*, 25:1-46, 1976.

¹⁸ SCOTT, A. C. A review of the ecology of Upper Carboniferous plant, with new data from Strathclyde. *Palaeontology*, Londres, 20(2): 447-473, 1977.

Scott se refere à permineralização carbonática como um dos tipos mais comuns de fossilização em fragmentos vegetais.¹⁸ Na geração de “coal balls”, o carbonato de cálcio e de magnésio infiltra-se na turfa antes que ocorra degradação ou compactação; desta forma, a permineralização primária proporciona excepcional



Figura 6. Madeira fóssil, *in situ*, localizada no afloramento Piscina, Formação Caturrita. (Triássico). Tipo de fossilização: petrificação (Schopf, 1975).

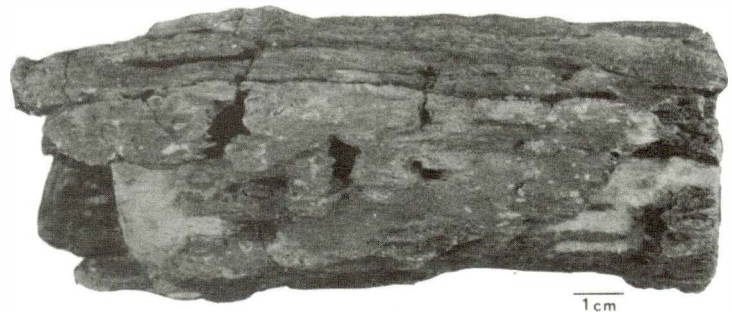


Figura 7. *Barakaroxylon resiniferum* (Guerra) Alves, 1994. Madeira fóssil, proveniente do afloramento Passo São Borja, Formação Irati (Permiano). Tipo de fossilização: permineralização (Schopf, 1975).

preservação, incluindo detalhes anatômicos e histológicos. A calcita é precipitada como cristais fibro-radiados nucleados nas paredes das células. As permineralizações carbonáticas podem ocorrer em seqüências de origem marinha e sedimentos continentais, sendo também associadas com rochas basálticas vulcânicas. Uma quantidade relativa de matéria orgânica é portanto necessária para a origem de um microambiente que conduza à silicificação.

Leo e Barghoorn enfatizam que o grau de informações observadas em caules silicificados é limitado pelo estado da estrutura orgânica anterior à silicificação.¹⁹ O potencial de preservação aqui é importante, pois determinados componentes do tecido vascular, tais como lignina, são mais resistentes do que outros, como a homocelulose. Todavia os autores postulam que é necessário algum grau de decomposição para a efetiva permineralização, no sentido de aumentar a permeabilidade das paredes celulares, criando espaços vazios para a deposição da sílica e originando áreas ativas para a ligação entre os componentes orgânicos e minerais. Este grau de degradação deve ser insignificante do ponto de vista morfológico, atuando no nível molecular. A silicificação inicia na parte externa dos troncos, progredindo para as porções mais internas; a degradação mais intensa pode gerar a destruição de tecidos, sendo as cavidades resultantes preenchidas por quartzo cristalino.

Os mecanismos de concentração da sílica podem ser divididos em evaporação, interação meteórica, reação redox/pH e saturação deposicional. Observações efetuadas por Leo e Barghoorn em madeiras cenozóicas evidenciaram a presença de opala, que pode apresentar características de tridimita.²⁰ Após o sepultamento, aumentando a concentração de sílica e diminuindo a concentração de água, a opala evoluiria para quartzo; portanto, os espécimes preservados em seqüências mais antigas do Triássico ou Permiano seriam compostos por quartzo microcristalino ou calcedônia.

Knoll registra que, na grande maioria dos casos, a silicificação ocorre em estágios relativamente iniciais na história do sepultamento dos sedimentos envolventes, em profundidade de 1 a 10 metros.²¹ Scott e Collinson caracterizam, para a fase de sepultamento, o estágio correspondente à "permineralização inicial" dos espaços originalmente vazios na planta.²² Já o estágio de "petrificação" será atingido somente em um segundo nível de permineralização durante a diagênese, quando as paredes celulares intensificam seu processo de degradação. Neste caso, a substituição gradual do esqueleto orgânico é efetuada de forma que, no final do processo, réplicas da estrutura permineralizada são produzidas. É importante salientar que tal processo não corresponde à histametabose proposta no início do século, que apresentava como modelo do processo de permineralização a substituição molécula a molécula. No processo de permineralização gradativa, por outro lado, são destruídos todos os tecidos pouco resistentes, persistindo apenas

¹⁹LEO, R. & BARGHOORN, E.
S. Op. cit.

²⁰LEO, R. F. & BARGHOORN,
E. S. Op. cit.

²¹KNOLL, A. H. Op. cit.

²²SCOTT, A. C. & COLINSON,
M. E. Op. cit.

aqueles que apresentam compostos orgânicos resistentes à degradação, no caso a lignina e a celulose. A lignina é mais refratária, portanto tecidos lenhosos lignificados (lenho tardio) tenderão a preservar-se melhor do que os menos lignificados (lenho inicial).

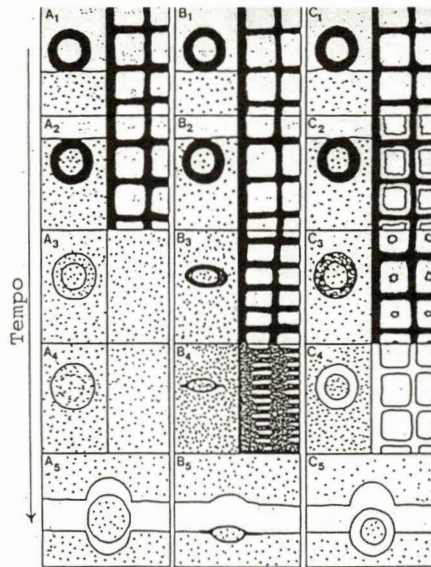
Após o sepultamento, o tronco sofrerá inevitavelmente algum tipo de compactação ou achatamento à medida que o sedimento adicional é depositado sobre ele. Walton²³ estabelece premissas teóricas, confirmadas depois por trabalhos práticos de Harris²⁴, Rex²⁵, Rex e Chaloner²⁶, de que compressões levariam à distorção no plano vertical, com expansões laterais mínimas (Figura 8).

²³WALTON, J. On the factor which influence the external forms of fossil plants: With descriptions of the foliage of some species of the Palaeozoic Equisitales genus *Annularia* Sternberg. *Phil. Trans R. Soc.*, 226:219-237, 1936.

²⁴HARRIS, T. *Williamsoniella ligneri*: Its pollen and compression of spherical pollen grains. *Paleontology*, 17:125-149, 1974.

²⁵REX, G. The compression state of preservation of Carboniferous lepidodendroid leaves. *Review of Palaeobotany and Palynology*, 39: 65-85, 1983.

²⁶REX, G. M.; CHALONER, W. G. The experimental formation of plant compression fossils. *Palaentology*, Londres, 26:231-252, 1983.



A. Molde
B. Compressão
C. Permineralização
Petrificação

Figura 8. Diagrama ilustrando diferentes processos de fossilização em fragmentos de lenho, em ambientes de deposição distintos (Thomas e Spicer, 1987 - modificado).

Em escala microscópica, a compressão leva à destruição dos detalhes celulares, pois a água é expelida desde o tecido lenhoso, sendo, em consequência, as paredes celulares opostas impelidas a um contato; se a compactação é extrema, a matéria orgânica torna-se amorfa, passando por notáveis alterações químicas. O aumento da temperatura e pressão produzirá um aumento da percentagem de carbono, sendo o hidrogênio expelido na forma de água, dióxido de carbono e gases, como o metano. À medida que a percentagem de carbono aumenta, ocorre também o aumento da resistência à degradação, processo conhecido como carbonificação. Comer registra que este processo exige temperatura e aquecimento em frequências constantes, pois normalmente os restos orgânicos passam por transformações quando aquecidos, como resultado de soterramento, intrusões magmáticas e contatos com fluidos hidrotermais. O autor refere ainda que o aquecimento em subsuperfícies, normalmente em ambientes anaeróbicos, apresenta como produto de reação resíduos de carbono e metano.²⁷ A proporção e quantidade destes produtos de-

²⁷COMER, J. Thermal alteration. In: PRATT, L. M.; COMER, J. B.; BRASSEL, S. C. *Geochemistry of Organic Matter in Sediments and Sedimentary Rocks*. 1982. p. 73-100.

pende da massa original, composição da fração orgânica, natureza da rocha matriz, dos processos biológicos e químicos e dos demais processos que ocorrem durante a diagênese inicial e história termal do sedimento. Todo o processo de alteração termal é irreversível e está diretamente relacionado ao tempo e à temperatura a que foi exposto o material. O maceral adotado na análise petrográfica de carvões, para o estabelecimento de medidas de alteração termal é a vitrinita. Este maceral não é restrito apenas a carvões, podendo ocorrer também disperso em sedimentos finos, ou representado em um megafóssil.

Thomas e Spicer esquematizam os processos de fossilização, relacionados à origem de moldes externos, petrificações e compressões carbonificadas em caules, às conseqüências da inclusão em diferentes ambientes deposicionais e às alterações em nível celular.²⁸ A Figura 8 ilustra o preenchimento de espaços vazios que ocorrerão ao longo de processos distintos, dando origem a moldes (A), compressões carbonificadas (B) ou permineralizações (C). Desta forma, a partir da inclusão do caule, em ambiente subaquoso, em subsuperfície (A, B ou C), inicia-se o soterramento em ambiente específico. A partir daí, dependendo do ambiente deposicional, alterações morfológicas distintas ocorrerão. Assim, em ambientes com altas taxas de oxigenação (A₁, A₂, A₃, A₄, A₅) gerar-se-ão moldes da morfologia externa ou interna do caule, sendo que nenhuma informação celular é preservada. Por outro lado, a intensa compressão em ambiente anaeróbico gerará distorção morfológica celular (B₃, B₄) e, em níveis de alta compressão, a carbonificação evolui com a perda de voláteis, desaparecendo a evidência de lúmen celular (B₄). A partição da rocha matriz evidencia, no caso de compressão (B₅), impressões superficiais e compressão do caule. Já em ambientes que favoreçam a permineralização em fases iniciais do sepultamento, começa a ocorrer a precipitação mineral intracelular (C₂); como conseqüência, a estrutura tridimensional das células é preservada e o processo de permineralização de parede se inicia (C₃) até que ocorra a petrificação total (C₄) com a preservação tridimensional do fóssil (C₅).

A manifestação de diferentes tipos de fossilização no mesmo exemplar permite inferir que processos distintos ocorreram em paleoambientes diversificados, gerando o que pode ser caracterizado como um "fóssil de transição".²⁹

Mussa e Coimbra registram, para a formação Irati, a ocorrência destes estágios transicionais, onde o exemplar sofre inicialmente processo de carbonificação, que não se completa, seguindo-se a penetração por soluções enriquecidas por sílica.³⁰ Assim, um mesmo exemplar pode apresentar-se carbonificado, em diferentes graus, e silicificados. Segundo os autores, isso pode representar a variação ambiental em um curto espaço de tempo, onde a bacia passou de um ambiente redutor a condições de maior oxigenação.

²⁸ THOMAS, B. A.; SPICER, R. A. *The Evolution and Palaeobiology of Land Plants*. Portland: Croom Helm Ltd., 1987. v. 2, 309 p.

²⁹ ALVES, L. S. R.; GUERRA-SOMMER, M.; JABLONSKY, A & MILTZAREK, G. L. Interpretação Tafonômica a partir de Processos Distintos de Fossilização em um Plano Lenhoso da Formação Irati, Bacia do Paraná, RS. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PALEONTOLOGIA, 13, São Leopoldo, 1993. *Boletim de Resumos*, 1993. p. 101. JONES, P. T., SCOTT, A. C. and MATTEY, D. P. Investigations of "fusain transition fossils" from the Lower Carboniferous comparisons with modern partially charred wood. *International Journal of Coal Geology*. Amsterdam, 22:37-59, 1993.

³⁰ MUSSA, D. & COIMBRA, A. M. Método de Estudo Tafonômico Aplicado a Ligniespécies Permianos da Bacia do Paraná. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, Rio de Janeiro, n. 1, v. 56, 1984. p. 85-101.

Laureen Sally da Rosa Alves é doutoranda do Curso de Pós-Graduação em Geociências da Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Margot Guerra-Sommer é professora do Departamento de Paleontologia e Estratigrafia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul.