



EDITORES

Dra. Maria Auxiliadora Coelho Kaplan

*Professora Titular da UFRJ*

Dr. Heber dos Santos Abreu

*Professor Associado da UFRRJ*

Dra. Helena Regina Pinto Lima

*Professor Associado da UFRRJ*

Dr. Geraldo Luiz Gonçalves Soares

*Professor Associado da UFRGS*

# Abordagem Quimiossistemática e Evolução Química de Fanerógamas

RIO DE JANEIRO



2010

# Capítulo X

## Origem Botânica de Âmbares Brasileiros – aplicação da Quimiotaxonomia em Estudos Paleontológicos

Introdução | A importância da quimiotaxonomia no estudo do âmbar |  
Aspectos quimiotaxonômicos na determinação da origem botânica de  
âmbares Brasileiros | Conclusão

*Ricardo Pereira*

*Ismar de Souza Carvalho*

*Antonio Carlos Sequeira Fernandes*

*Débora de Almeida Azevedo*

### **Introdução**

O âmbar é o produto do processo de fossilização de resinas sintetizadas por vegetais (LANGENHEIM, 1990). Resinas vegetais, por sua vez, podem ser definidas como misturas de terpenoides voláteis e não voláteis e/ou substâncias fenólicas que: (i) são usualmente secretados em estruturas especializadas localizadas tanto internamente quanto na superfície da planta, tais como canais, cavidades, tricomas e células epidérmicas; e (ii) apresentam significativo potencial em interações ecológicas (LANGENHEIM, 2003).

As substâncias resinosas são derivadas de carboidratos produzidos fotossinteticamente, sendo que terpenoides e fenóis são biossintetizados por meio de diferentes rotas metabólicas (LANGENHEIM, 2003). Embora os terpenoides apresentem uma enorme diversidade de estruturas químicas, eles são unidos por uma origem biossintética comum que permite serem agrupados em categorias de acordo com o número de uni-

dades isoprenoides que os constituem. A multiplicidade de terpenoides naturais decorre da variação no modo de condensação das unidades isoprenoides ( $C_5H_8$ ), originando mono, sesqui, di, tri, tetra e politerpenos (LANGENHEIM, 1969). Em termos bioquímicos (Figura 1), o precursor do isopreno é o ácido mevalônico, derivado do metabolismo do acetato nas plantas. O isopentenil-pirofosfato constitui a unidade estrutural de todos os terpenoides. A ligação entre o isopentenil-pirofosfato e o dimetilalil-pirofosfato fornece o geranyl-pirofosfato, que é a substância de partida na síntese da maioria dos terpenos produzidos pelas plantas (LANGENHEIM, 1969; 1990). Mono ( $C_{10}$ ), sesqui ( $C_{15}$ ), di ( $C_{20}$ ) e politerpenos são o resultado de condensações do tipo cabeça-cauda de unidades isoprenoides, enquanto triterpenos ( $C_{30}$ ) e tetraterpenos ( $C_{40}$ ) são formados por dimerizações do tipo cauda-cauda de unidades  $C_{15}$  e  $C_{20}$  (LANGENHEIM, 1969).

Diversas rotas metabólicas estão envolvidas na síntese de constituintes fenólicos nas resinas. A rota do ácido chiquímico, por exemplo, é fonte de ácidos amino-aromáticos, como a fenilalanina (Figura 1). Um importante passo na formação de muitos componentes fenólicos nas resinas é a conversão enzimática da fenilalanina a ácido cinâmico, uma reação catalisada pela enzima fenilalanina-amônia-liase. O ácido cinâmico origina então fenilpropanoides, que podem formar diversas substâncias fenólicas pela quebra de ligações carbono-carbono na cadeia lateral de um fenil-propanoide (LANGENHEIM, 2003).

As resinas têm seu processo de fossilização iniciado a partir de reações de polimerização, seguidas por processos de maturação quando estas são soterradas. A polimerização aparentemente é rápida, ocorrendo por meio de reações via formação de radicais livres que são foto-inicializadas quando a resina recém-exudada pela planta endurece ao ser exposta à luz solar e ao ar (CLIFFORD *et al.*, 1997). A resina, originalmente produzida pela árvore e depositada no solo em torno dela, pode ser posteriormente carregada para um rio nas proximidades e transportada para o interior de uma bacia de sedimentação. Em alguns casos, fragmentos das árvores que produziram a resina, tais como troncos e galhos, também podem ser transportados, depositando-se no mesmo ambiente.



Langenheim (2003) aponta ainda para o fato de que a formação de um depósito de âmbar é uma combinação fortuita de diversos fatores, envolvendo, por exemplo: florestas com árvores que produzam resinas (tais como coníferas); resinas com os requisitos químicos necessários para a fossilização; proximidade da área-fonte com um ambiente de deposição, onde as resinas possam ser concentradas e acumuladas; e condições de soterramento desprovidas de oxigênio, pois este pode deteriorar as resinas.

Entre as mais antigas evidências para síntese de resinas citam-se fósseis das famílias Cordaitaceae e Medullosaceae, que juntas constituem a maior parte das plantas com sementes em florestas tropicais do Carbonífero. Materiais aparentando ser resinosos, por exemplo, ocorrem em troncos atribuídos a *Cordaites*. Além disto, tais troncos mostram também canais secretores com provável armazenamento de resinas (LANGENHEIM, 1990). Por outro lado, no Devoniano Médio-Superior são conhecidos traqueídeos de progimnospermófitas com a presença de possíveis inclusões micrométricas de resinas fossilizadas (STUBBLEFIELD *et al.*, 1985), bem como um registro de âmbar na Bacia do Parnaíba (Formação Cabeças) (VIANA *et al.*, 2001). Este registro brasileiro constitui-se no mais antigo do mundo. Resinas fósseis foram relatadas também para o Carbonífero Superior da Inglaterra por Van Bergen *et al.* (1995), encontradas em associação com petíolos de pteridospermas da família Medullosaceae (*Myeloxylon*). Nos períodos Permiano, Triássico e Jurássico, as ocorrências de âmbar são escassas.

Embora algumas famílias modernas de coníferas tenham surgido entre o Permiano e o Triássico, todas as famílias já estavam presentes a partir do Cretáceo (MUSSA, 2004). A intensa produção de resinas em algumas áreas aparentemente está relacionada com o aquecimento climático ocorrido a partir do Cretáceo Inferior (LANGENHEIM, 2003). Entre os depósitos de âmbar desse período, destacam-se os da Espanha (Álava, País Basco), Oriente Médio (Israel, Líbano e Jordânia), Estados Unidos (Planície Costeira Atlântica, Wyoming, Mississipe e Planície Costeira Ártica), Canadá, Myanmar (antiga Birmânia) e Rússia. Diversas coníferas foram propostas como produtoras dos âmbares do Cretáceo,

sendo que a família Araucariaceae é a principal fonte sugerida para a maioria dos registros. Nesse período ocorrem ainda âmbar originados pelas famílias Podocarpaceae, Cupressaceae, Pinaceae, entre outras.

Ressalta-se aqui que somente coníferas têm sido sugeridas como fonte botânica para os âmbar do Cretáceo, ainda que as angiospermas já estivessem presentes no Cretáceo Inferior. Âmbar indiscutivelmente originados de angiospermas somente aparecem no registro geológico a partir do Cenozoico (Oligo-Mioceno) (LANGENHEIM, 2003). Entre os depósitos de âmbar do Cenozoico, destacam-se os da República Dominicana, Nova Zelândia e região do mar Báltico (Rússia, Polônia e outros países). Angiospermas do gênero *Hymenaea* (Fabaceae) foram apontadas como produtoras dos âmbar dominicanos, enquanto parte dos âmbar bálticos e da Nova Zelândia foram produzidos por gimnospermas da família Araucariaceae (gênero *Agathis*) (LANGENHEIM, 2003).

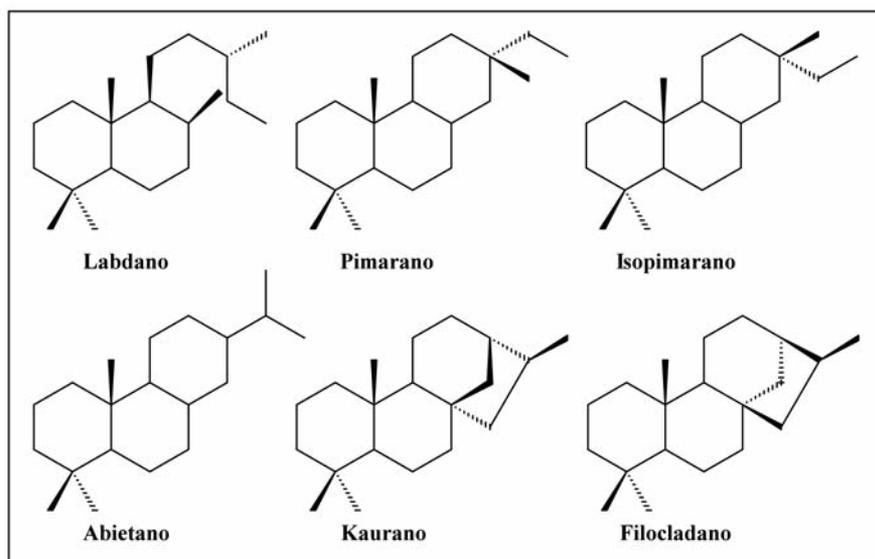
No Brasil, o âmbar ocorre desde o Devoniano ao Mioceno, estando distribuído entre diversas bacias sedimentares. As principais ocorrências foram datadas como do Cretáceo, tendo sido relatadas por Carvalho (1998), Carvalho *et al.* (2000), Martill *et al.* (2005), Pereira (2006) e Pereira *et al.* (2006; 2009) para âmbar provenientes das bacias do Amazonas (Formação Alter do Chão), Araripe (Formação Santana, Membro Crato), Parnaíba (Formação Itapecuru) e Recôncavo (Formação Maracangalha). Para informações mais detalhadas sobre proveniência e contexto geológico dos âmbar brasileiros, consulte-se a revisão feita por Pereira *et al.* (2007).

### **A importância da quimiotaxonomia no estudo do âmbar**

Como complemento aos estudos morfológicos e anatômicos, a quimiotaxonomia é uma ferramenta comum e muito importante em estudos sistemáticos de fósseis vegetais. Certas classes de substâncias, como fenóis, ligninas e terpenoides, são valiosas para elaboração de propostas quimiotaxonômicas. A matéria orgânica isolada de fósseis vegetais (como impressões carbonizadas de folhas, madeira e ramos, bem como o âmbar) é adequada para investigações quimiotaxonômicas, pois estes podem conter geoterpenoides que permitem associação com moléculas pre-

cursoras conhecidas, os chamados bioterpenoides (OTTO & SIMONEIT, 2001; OTTO *et al.*, 2002; 2003; 2005).

Os terpenoides, quando na geosfera, são submetidos a diversas formas de degradação química durante processos diagenéticos (KILLOPS & KILLOPS, 1991). Com isso, muitos grupos funcionais são perdidos e os terpenoides são transformados em derivados aromáticos ou saturados. Durante os processos de fossilização/polimerização, no entanto, a resina resiste a muitas dessas modificações, retendo uma composição química muito próxima da original. Assim, sabendo-se a composição molecular do âmbar, é possível estabelecer possíveis famílias vegetais produtoras a partir de estudos quimiotaxonômicos. Isso permite que se trace a história da produção de resinas pelas árvores através do tempo geológico, determinando sua origem e compreendendo as transformações geoquímicas que aconteceram durante a diagênese dos terpenoides, que são seus principais constituintes (GRIMALT *et al.*, 1988). A Figura 2 exemplifica os esqueletos hidrocarbônicos de algumas das principais classes de diterpenoides encontradas no âmbar, utilizados em estudos quimiotaxonômicos.



**Figura 2.** Esqueletos hidrocarbônicos dos principais diterpenoides encontrados no âmbar.

Diversas técnicas espectroscópicas são utilizadas na determinação estrutural do âmbar, tais como espectroscopia de absorção no infravermelho e ressonância magnética nuclear de carbono-13 (MARTINEZ-RICHA *et al.*, 2000; TREVISANI *et al.*, 2005). No entanto, essas técnicas não permitem o reconhecimento de componentes individuais nos âmbares, apresentando, assim, limitações para elaboração de propostas de classificação quimiotaxonômica. A cromatografia em fase gasosa acoplada à espectrometria de massas (CG-EM); por outro lado, permite a separação e identificação de componentes individuais presentes nas resinas fósseis, possibilitando a elucidação de sua estrutura molecular (OTTO *et al.* 2002).

Estabelecer padrões de distribuição de terpenoides em coníferas, por exemplo, é uma tarefa muito complexa, uma vez que para alguns grupos de gimnospermas os dados encontrados na literatura são escassos. Substâncias individuais encontradas no âmbar e em associação com fósseis vegetais costumam ser relacionadas a certas classes estruturais, sendo estas agrupadas de acordo com presumíveis rotas de síntese bioquímica. O mesmo pode ser dito quanto aos terpenoides presentes em angiospermas. Detalhes sobre aspectos quimiotaxonômicos dos diversos grupos de coníferas podem ser obtidos na revisão feita por Otto & Wilde (2001). Neste texto, será dado destaque aos terpenoides característicos das famílias de gimnospermas: Podocarpaceae, Cupressaceae, Pinaceae e Araucariaceae, por serem algumas das principais famílias botânicas que produziram âmbar no registro geológico e por incluírem os possíveis grupos produtores dos âmbares encontrados no Brasil.

### **Aspectos quimiotaxonômicos na determinação da origem botânica de âmbares brasileiros**

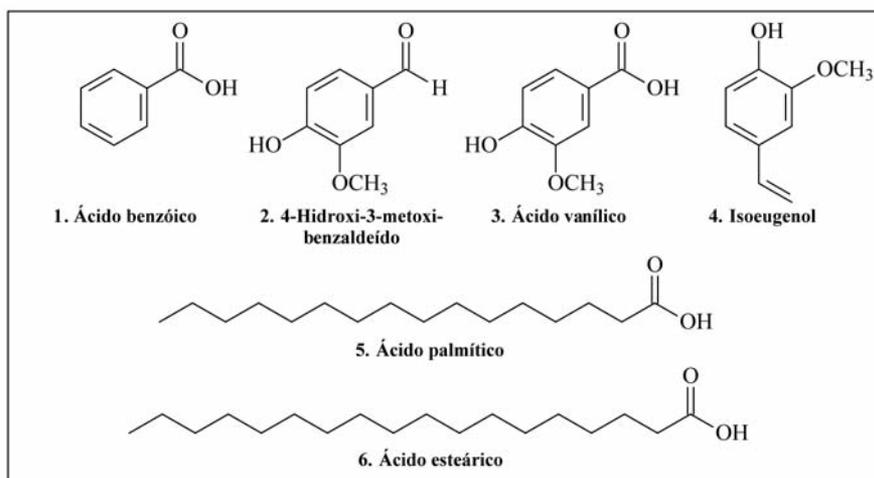
Vários estudos envolvendo CG-EM tentaram estabelecer as afinidades paleobotânicas de âmbares de diversos locais do mundo, com diferentes idades, a partir de suas composições moleculares (MILLS *et al.*, 1984; GRIMALT *et al.*, 1988; CZECHOWSKI *et al.*, 1996; OTTO & SIMONEIT, 2002; OTTO *et al.*, 2003; BRAY & ANDERSON, 2008). No Brasil, esses estudos começaram com Carvalho (1998) e Carvalho *et al.* (2000),

analisando âmbar das bacias do Parnaíba e Recôncavo. Posteriormente, Pereira (2006) e Pereira *et al.* (2006; 2009) realizaram estudos sobre a origem botânica e quimiotaxonomia de âmbar das bacias do Amazonas, Araripe e Recôncavo.

De acordo com esses autores, a composição molecular dos âmbar analisados é baseada em:

1. fenóis, ácidos carboxílicos e ácidos graxos;
2. alquis-benzenos, alquis-naftalenos e alquis-hidronaftalenos; e
3. terpenoides, representados por mono, sesqui e diterpenoides.

Fenóis, ácidos carboxílicos e ácidos graxos (Figura 3) foram detectados em âmbar brasileiros provenientes das bacias do Amazonas, Araripe e Recôncavo (PEREIRA, 2006; PEREIRA *et al.*, 2009). Substâncias como o ácido benzóico (1), 4-hidroxi-3-metoxibenzaldeído (2), ácido vanílico (3) e o isoeugenol (4), quando presentes no âmbar, são interpretados como produtos oriundos da degradação da lignina. Essas substâncias, portanto, estão amplamente distribuídas nos vegetais superiores, possuindo valor quimiotaxonômico limitado (OTTO & SIMONEIT, 2001). Ácidos graxos, como os ácidos palmítico (5) e esteárico



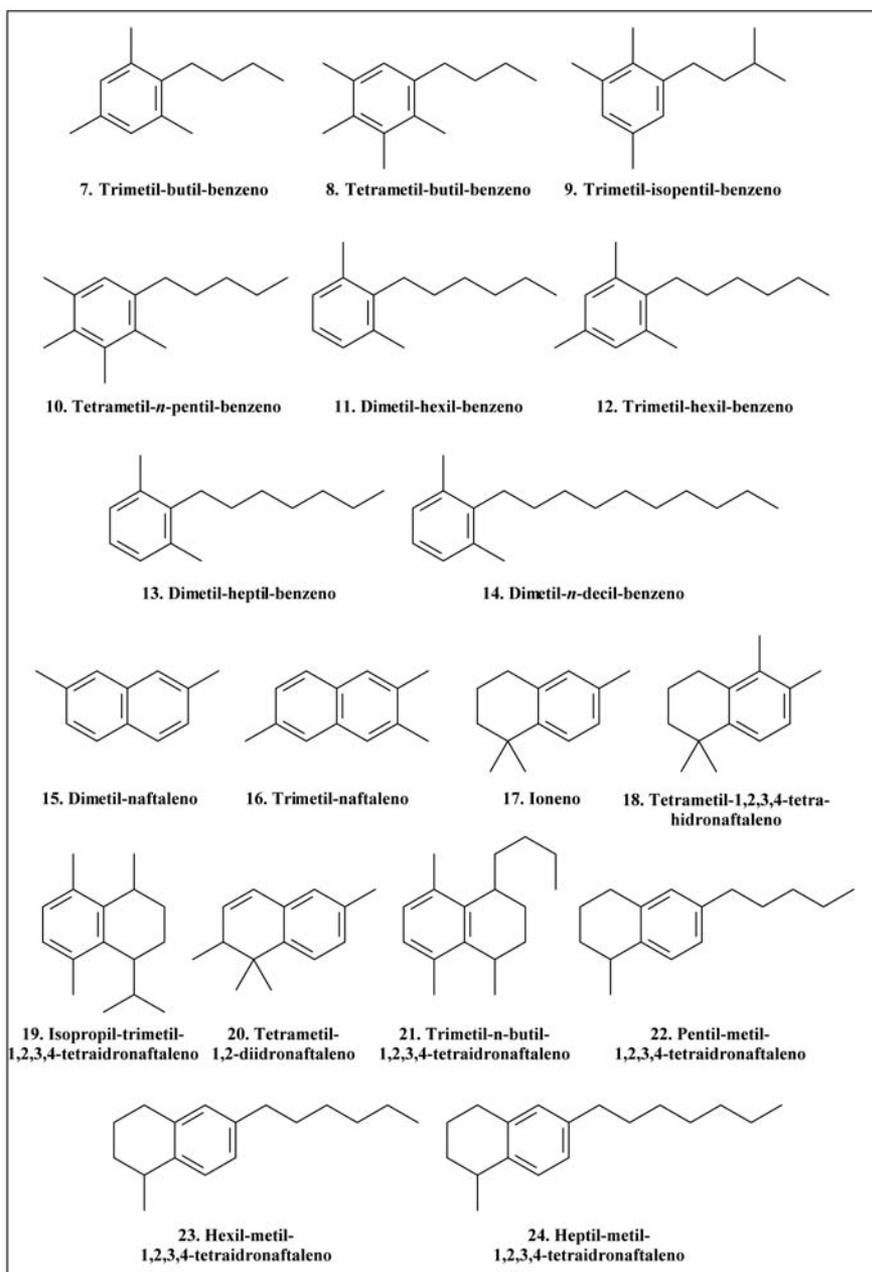
**Figura 3.** Fenóis, ácidos carboxílicos e graxos identificados em âmbar das bacias do Amazonas, Araripe e Recôncavo por Pereira (2006).

(6), quando encontrados em âmbar, sugerem uma origem em graxas presentes nas folhas de vegetais superiores, também não fornecendo informações quimiotaxonômicas.

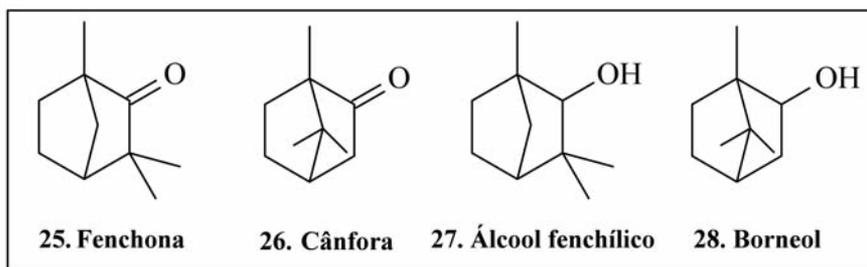
Alquis-benzenos, alquis-naftalenos e alquis-hidronaftalenos (Figura 4) são produtos diagenéticos originados de várias classes de sesquiterpenoides e diterpenoides. Segundo Otto *et al.* (2002), esses produtos não podem ser associados a classes de terpenoides específicas, pois a estrutura básica das moléculas que os originaram foi severamente alterada por oxidação durante a diagênese. São muito comuns, principalmente nas amostras de âmbares mais antigas, como as do Cretáceo brasileiro, por apresentarem alto grau de maturação. Pereira *et al.* (2009) e Carvalho (1998) encontraram grande variedade dessas substâncias em âmbares cretácicos das bacias do Amazonas, Araripe, Parnaíba e Recôncavo.

Os monoterpenos são importantes constituintes de resinas produzidas por coníferas. No entanto, sendo substâncias muito voláteis, raramente são preservadas no âmbar, não sobrevivendo às transformações diagenéticas. Quando monoterpenos (Figura 5) como fenchona (25), cânfora (26), álcool fenchílico (27) e borneol (28) estão presentes na composição molecular dos âmbares, é possível que tenham ficado ocluídos na matriz não volátil da resina, que é suficientemente estável e resiste aos processos de degradação (ANDERSON *et al.*, 1992). Dada à sua ampla distribuição entre as gimnospermas, os monoterpenos não são úteis como marcadores quimiotaxonômicos.

Entre as classes de diterpenoides presentes em coníferas, destacam-se os labdanos, pimaranos e isopimaranos, abietanos regulares e fenólicos, bem como kauranos e filocladanos (SIMONEIT *et al.*, 1986) (Figura 2). Essas classes de diterpenoides apresentam uma distribuição característica de acordo com a família analisada (OTTO & WILDE, 2001) (Tabela 1).



**Figura 4.** Alquis-benzenos, alquis-naftalenos e alquis-hidronaftalenos identificados em âmbares brasileiros por Carvalho (1998) e Pereira (2006).



**Figura 5.** Monoterpenos identificados em âmbares brasileiros por Carvalho (1998) e Pereira (2006).

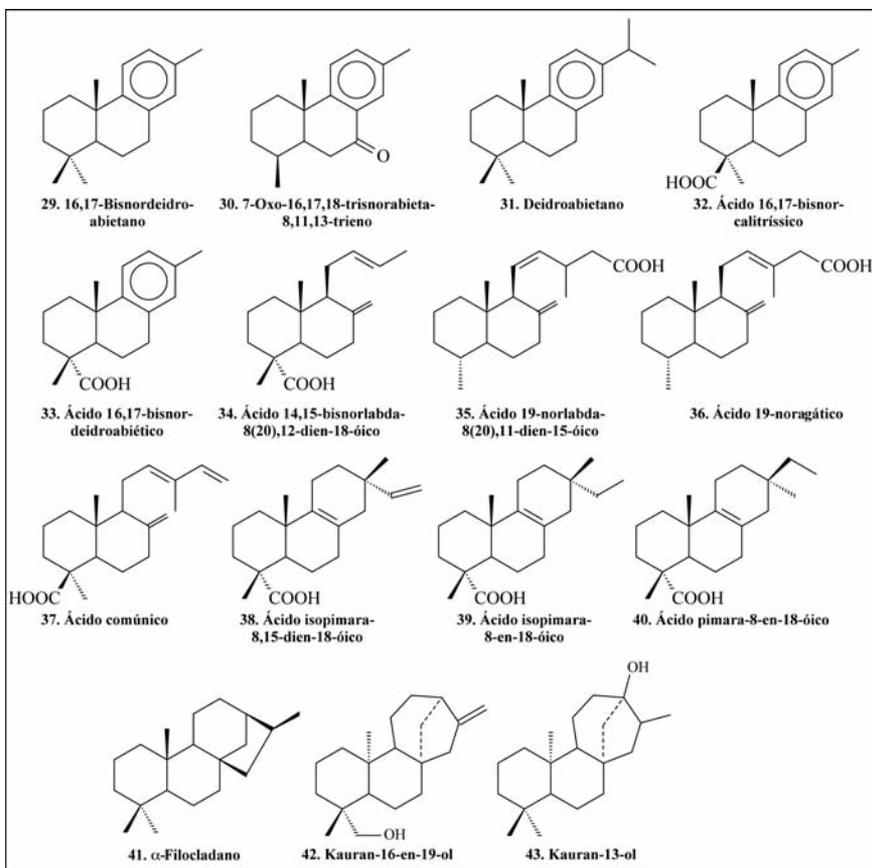
Tabela 1.

**Distribuição de algumas classes de diterpenoides entre famílias de gimnospermas.**

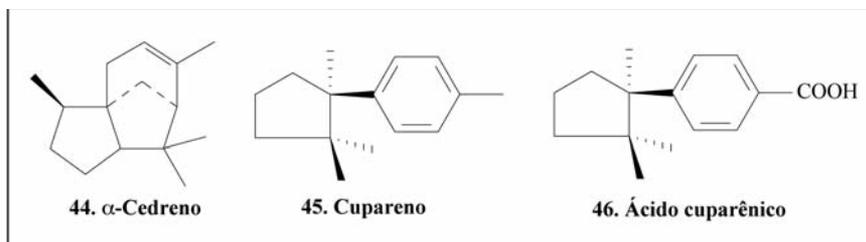
| Terpenoides              | <i>Pinaceae</i> | <i>Araucariaceae</i> | <i>Podocarpaceae</i> | <i>Cupressaceae</i> |
|--------------------------|-----------------|----------------------|----------------------|---------------------|
| Labdanos                 | P               | P                    | P                    | P                   |
| Pimaranos e isopimaranos | P               | P                    | P                    | P                   |
| Abietanos regulares      | P               | P                    | P                    | P                   |
| Kauranos e filocladanos  | A               | P                    | P                    | P                   |
| Abietanos fenólicos      | A               | A                    | P                    | P                   |

(a): Ocorrência nas famílias: P = Presente; A = Ausente.

No caso dos âmbares analisados por Pereira *et al.* (2009), foram reportados diterpenoides pertencentes às classes do pimarano, isopimarano e labdano, bem como abietanos regulares, kauranos e filocladanos (Figura 6). Esse perfil químico indicaria, a princípio, que gimnospermas das famílias *Araucariaceae*, *Podocarpaceae* e *Cupressaceae* podem ter sido as possíveis produtoras das resinas que originaram os âmbares. No entanto, não foram detectados sesquiterpenoides da classe dos cedranos e cuparanos em nenhuma das amostras. O a-cedreno (46), cupareno (47) e ácido cuparênico (48), por exemplo, são sesquiterpenos restritos à família *Cupressaceae* (GRANTHAM & DOUGLAS, 1980) (Figura 7). Dessa forma, sua ausência nas amostras pode servir para descartar a família *Cupressaceae* como fonte botânica dos âmbares.



**Figura 6.** Diterpenoides identificados em âmbares brasileiros por Pereira et al. (2009).



**Figura 7.** Sesquiterpenos característicos para a família Cupressaceae, segundo Grantham & Douglas (1980).

Além disso, na caracterização da origem botânica do âmbar, também são utilizadas informações provenientes da paleobotânica e palinologia por meio do registro fóssilífero. Plantas fossilizadas e palinomorfas, presentes na mesma camada sedimentar em que os âmbares são encontrados, podem ser indicativas de possíveis origens para estes. Os sedimentos onde os âmbares das bacias do Amazonas, Araripe e Parnaíba foram coletados apresentam grãos de pólen e folhas fossilizadas associados com as famílias Araucariaceae e Podocarpaceae, corroborando os resultados obtidos pela análise química.

Com isso, a partir de dados quimiotaxonômicos e paleobotânicos, pode-se afirmar que as famílias Podocarpaceae ou Araucariaceae estão entre as possíveis produtoras dos âmbares encontrados no Brasil reportados por Pereira *et al.* (2009). Determinar uma única família como produtora específica não é possível, uma vez que as únicas evidências diretas e inequívocas para determinação de uma fonte botânica, em particular para o âmbar, consistem em lenhos fossilizados ou outras partes dos vegetais contendo resinas nos tecidos nas quais estas são sintetizadas (LANGENHEIM, 2003).

#### 4. Conclusões

A quimiotaxonomia é uma importante ferramenta para estudos botânicos. Aplicada à Paleontologia, a quimiotaxonomia em conjunto com a geoquímica orgânica subsidia os estudos de floras pretéritas a partir da análise do âmbar. A elaboração de propostas quimiotaxonômicas para âmbares brasileiros é importante para a reconstrução da história da produção de resinas pelas gimnospermas em nossas bacias sedimentares. Considerando que a maior parte das ocorrências de âmbar no Brasil é proveniente do período Cretáceo, essa importância torna-se ainda maior se considerarmos o fato de que registros de resinas fósseis nesse período geológico são raros.

#### 5. Referências bibliográficas

ANDERSON K.B.; WINANS R.E. & BOTTO R.E. (1992). The nature and fate of natural resins in the geosphere II – Identification, classification and nomenclature of resinates. *Organic Geochemistry*. 18(6): 829-841.

- BRAY P.S. & ANDERSON K.B. (2008). The nature and fate of natural resins in the geosphere XIII – A probable pinaceous resin from the early Cretaceous (Barremian). Isle of Wight. *Geochemical Transactions*. 9: 3.
- CARVALHO M.A. (1998). *Âmbar: Composição Molecular de Amostras Brasileiras*. Dissertação de Mestrado. Instituto de Química. Universidade Federal do Rio de Janeiro. 108p.
- CARVALHO M.A.; Loureiro M.R.B.; CARVALHO I.S.; PHILP R.P. & CARDOSO J.N. (2000). Bulk and molecular composition of Brazilian ambers (Cretaceous). In: *7<sup>th</sup> Latin American Congress on Organic Geochemistry. Latin American Congress on Organic Geochemistry Proceedings*. Foz do Iguaçu. Brasil. pp. 76-79.
- CLIFFORD D.J., HATCHER P.G., BOTTO R.E., MUNTEAN J.V., MICHELS B. & ANDERSON K.B. (1997) The nature and fate of natural resins in the geosphere VIII. NMR and Py-GC-MS characterization of soluble labdanoid polymers isolated from Holocene class I resins. *Organic Geochemistry*, 27(7/8): 449-464.
- CZECHOWSKI F.; SIMONEIT B.R.T.; SACHANBINSKI M.; CHOJCAN J. & WOTOWIEC S. (1996). Physicochemical structural characterization of ambers from deposits in Poland. *Applied Geochemistry*. 11: 811-834.
- GRANTHAM P.J. & DOUGLAS A.G. (1980). The nature and origin of sesquiterpenoids in some tertiary fossil resins. *Geochimica et Cosmochimica Acta*. 44: 1801-1810.
- GRIMALT J.O.; SIMONEIT B.R.T.; HATCHER P.G. & NISSEMBAUM A. (1988). The molecular composition of ambers. *Organic Geochemistry*. 13(4/6): 677-690.
- KILLOPS S.D. & KILLOPS V.J. (1991). *An Introduction to Organic Geochemistry*. New York. John Wiley & Sons. 265 p.
- LANGENHEIM J.H. (1969). Amber: a botanical inquiry. *Science*. 163: 1157-1169.
- \_\_\_\_\_ (1990). Plant resins. *American Scientist*. 78: 16-24.
- \_\_\_\_\_ (2003). *Plant resins: chemistry, evolution, ecology, and ethnobotany*. Portland. 1. ed. Timber Press. 586 p.
- MARTILL D.M.; ROBERT F.L.; ANDRADE J.A.F.G & CARDOSO A.H. (2005). An unusual occurrence of amber in laminated limestones: the Crato Formation Lagerstätte (Early Cretaceous) of Brazil. *Palaeontology*. 48(6): 1399-1408.

- MARTINEZ-RICHA A.; VERA-GRAZIANO R.; RIVERA A. & JOSEPH-NATHAN P. (2000). A solid-state  $^{13}\text{C}$  NMR analysis of ambers. *Polymer*. 41: 743-450.
- MILLS J.S.; WHITE R. & GOUGH L.J. (1984). The chemical composition of Baltic Amber. *Chemical Geology*. 47: 15-39.
- MUSSA, D. (2004). Paleobotânica: conceituação geral e grupos fósseis. In: Carvalho, I.S. (Ed.). 2004. *Paleontologia*. 2. ed., V. 1. Rio de Janeiro. Editora Interciência. p. 413-508.
- OTTO A. & SIMONEIT B.R.T. 2001. Chemosystematics and diagenesis of terpenoids in fossil conifer species and sediment from the Eocene Zeitz Formation, Saxony, Germany. *Geochimica et Cosmochimica Acta*. 65(20): 3505-3527.
- \_\_\_\_\_ (2002). Biomarkers of Holocene buried conifer logs from Bella Coola and north Vancouver, British Columbia, Canada. *Organic Geochemistry*. 33: 1241-1251.
- OTTO A.; SIMONEIT, B.R.T.; WILDE V.; KUNZMANN, L. & PÜTTMANN, W. (2002). Terpenoid composition of three fossil resins from Cretaceous and Tertiary conifers. *Review of Palaeobotany & Palynology*. 120: 203-215.
- OTTO A.; SIMONEIT, B.R.T. & REMBER W.C. (2003). Resin compounds from the seed cones of three fossil conifer species from the Miocene Clarkia flora, emerald Creek, Idaho, USA, and from related extant species. *Review of Palaeobotany & Palynology*. 126: 225-241.
- \_\_\_\_\_ (2005). Conifer and angiosperm biomarkers in clay sediments and fossil plants from the Miocene Clarkia Formation, Idaho, USA. *Organic Geochemistry*. 36: 907-922.
- OTTO A. & WILDE V. (2001). Sesqui, di and triterpenoids as chemosystematic markers in extant conifers – a review. *Botanical Review*. 67(2), 141-238.
- PEREIRA R. 2006. *Geoquímica de âmbares cretácicos das bacias do Amazonas, Araripe e Recôncavo*. Dissertação de Mestrado. Instituto de Geociências. Universidade Federal do Rio de Janeiro. 104 p.
- PEREIRA R.; CARVALHO I.S. & AZEVEDO D.A. (2006). Afinidades paleobotânicas de âmbares cretácicos das bacias do Amazonas, Araripe e Recôncavo. *Geociências*. 25(2): 217-224.
- PEREIRA R.; CARVALHO I.S.; AZEVEDO D.A. & FERNANDES A.C.S. (2007). Ocorrências de âmbar nas bacias sedimentares brasileiras – uma revisão. In:

- CARVALHO, I.S. *et al.* (ed.). 2007. *Paleontologia: Cenários de Vida*. 1. ed. V. 1. Rio de Janeiro. Editora Interciência. p. 251-264.
- PEREIRA R.; CARVALHO I.S.; SIMONEIT B.R.T. & AZEVEDO D.A. (2009). Molecular composition and chemosystematic aspects of Cretaceous amber from the Amazonas, Araripe and Recôncavo basins, Brazil. *Organic Geochemistry*. 40: 863-875.
- SIMONEIT B.R.T.; GRIMALT J.O.; WANG T.G.; COX R.E.; HATCHER P.G. & NISSENBAUM A. (1986). Cyclic terpenoids of contemporary resinous plant detritus and fossil woods, ambers and coals. *Organic Geochemistry*. 10: 877-889.
- STUBBLEFIELD S.P.; TAYLOR T.N. & BECK C.B. (1985) Studies of Paleozoic fungi. IV. Wood-decaying fungi in *Callixylon newberryi* from the Upper Devonian. *American Journal of Botany*. 72(11): 1765-1774.
- TREVISANI E.; PAPAZZONI C.A.; RAGAZZI E. & ROGHI G. (2005). Early Eocene amber from the Pesciara di Bolca (Lessini Mountains, Northern Italy). *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*. 223, 260-274.
- VAN BERGEN P.F.; COLLINSON M.E.; SCOTT A.C. & DE LEEUW J.W. (1995). Unusual resin chemistry from Upper Carboniferous pteridosperm resin rodlets. In: ANDERSON K.G.; CRELLING J.C. (ed.). Amber, Resinite and fossil resins. *American Chemical Society Symposium Series* 617. Washington, DC. p.149-169.
- VIANA M.S.S.; AGOSTINHO S.; FERNANDES A.C.S.; CARVALHO I.S. & CAMPELO F.M.C.A. (2001). Ocorrência de resina na Formação Cabeças (Devoniano da Bacia do Parnaíba). In: Congresso Brasileiro de P&D em Petróleo e Gás, 1. *Anais*. Natal. Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Sociedade Brasileira de Química. Regional RN. p.45.

Durante a XXI Jornada Fluminense de Botânica (LXII Reunião Científica da SBB/Seção RJ), em novembro de 2002, no Instituto de Biologia da UFRRJ, realizou-se uma mesa redonda denominada “Interação Botânica e Química”. Naquele momento estabeleceram-se propostas, sendo uma delas a de se organizar uma publicação com os resultados das pesquisas apresentadas no evento. O produto deste esforço, intitulado “Abordagem Quimiosistemática e Evolução Química de Fanerógamas”, contempla sistemas de classificação, metodologia taxonômica, quimiosistemática de várias taxa, constituição química do âmbar e evolução das ligninas nas gimnospermas. O livro serve de ferramenta útil de consulta aos estudantes e profissionais, não só da área de Quimiosistemática, mas também à Botânica, Química de Produtos Naturais e áreas afins.



ISBN 978-85-85720-82-7

