



**Universidade do Estado do Rio de Janeiro**  
**Centro de Tecnologia e Ciências**  
**Instituto de Biologia Roberto Alcântara Gomes**

**Kathlyn Vasconcelos Gevú**

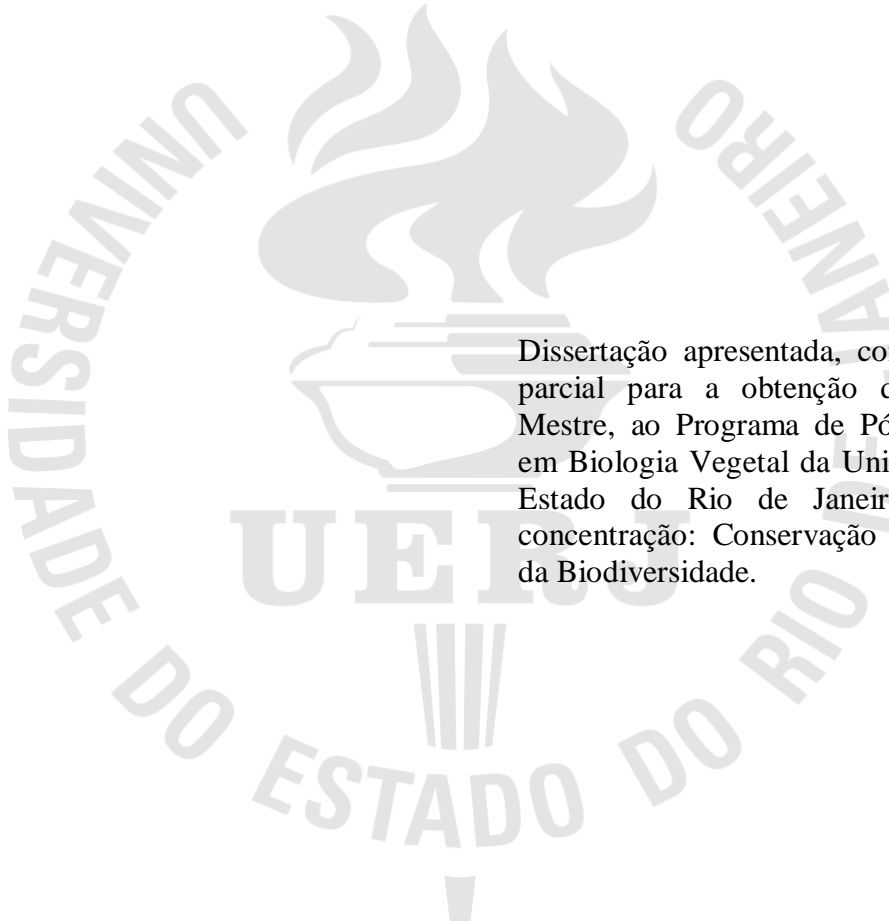
**Análise estrutural comparativa dos órgãos vegetativos em Zingiberaceae  
e implicações evolutivas do xilema**

Rio de Janeiro

2014

Kathlyn Vasconcelos Gevú

**Análise estrutural comparativa dos órgãos vegetativos em Zingiberaceae  
e implicações evolutivas do xilema**



Dissertação apresentada, como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre, ao Programa de Pós-Graduação em Biologia Vegetal da Universidade do Estado do Rio de Janeiro. Área de concentração: Conservação e Utilização da Biodiversidade.

Orientadora: Prof.<sup>a</sup> Dra. Maura Da Cunha

Coorientadora: Prof.<sup>a</sup> Dra. Helena Regina Pinto Lima

Rio de Janeiro

2014

CATALOGAÇÃO NA FONTE  
UERJ / REDE SIRIUS / BIBLIOTECA CTC-A

G396

Gevú, Kathlyn Vasconcelos.

Análise estrutural comparativa dos órgãos vegetativos em Zingiberaceae e implicações evolutivas do xilema/ Kathlyn Vasconcelos  
Gevú – 2014.

72 f. : il.

Orientadora: Maura da Cunha.

Coorientador: Helena Regina Pinto Lima

Dissertação (Mestrado) - Universidade do Estado do Rio de Janeiro.  
Instituto de Biologia Roberto Alcântara Gomes.

1. Zingiberaceae – Teses. 2. Anatomia vegetal - Teses. 3. Monocotiledonea – Teses. I. Cunha, Maura da. II. Lima, Helena Regina Pinto. III. Universidade do Estado do Rio de Janeiro. Instituto de Biologia Roberto Alcântara Gomes. IV. Título.

CDU 582.583

Autorizo apenas para fins acadêmicos e científicos, a reprodução parcial desta dissertação, desde que citada a fonte.

---

Assinatura

---

Data

Kathlyn Vasconcelos Gevú

**Análise comparativa estrutural dos órgãos vegetativos em Zingiberaceae  
e implicações evolutivas do xilema**

Dissertação apresentada, como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre, ao Programa de Pós-Graduação em Biologia Vegetal da Universidade do Estado do Rio de Janeiro. Área de concentração: Conservação e Utilização da Biodiversidade.

Aprovada em 19 de fevereiro de 2014.

Orientadora:

Prof.<sup>a</sup> Dra. Maura Da Cunha  
Universidade Estadual Norte Fluminense

Coorientadora:

Prof.<sup>a</sup> Dra. Helena Regina Pinto Lima  
Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro

Banca examinadora:

---

Prof. Dr. Ricardo Cardoso Vieira  
Universidade Federal do Rio de Janeiro

---

Prof.<sup>a</sup> Dra. Cecília Gonçalves Costa  
Instituto de Pesquisas Jardim Botânico do Rio de Janeiro

---

Prof.<sup>a</sup> Dra. Cátia Henriques Callado  
Universidade do Estado do Rio de Janeiro

Rio de Janeiro

2014

## AGRADECIMENTOS

Em especial, agradeço às professoras Maura Da Cunha e Helena Regina Pinto Lima pela orientação, por toda a dedicação, preocupação, carinho, incentivo e por contribuir com todas essas qualidades não só na minha formação profissional, mas também na pessoal.

À Deus, por estar sempre presente em minha vida iluminando todos os meus caminhos.

À minha família, pelos valores transmitidos, pelo carinho e por todo apoio e incentivo.

Às professoras e pesquisadoras Dra. Cláudia Franca Barros e Dra. Cecília Gonçalves Costa por me receberem no laboratório de Botânica Estrutural do IJBRJ e pelas sugestões dadas durante o desenvolvimento deste trabalho.

Ao laboratório de Biotecnologia da Madeira coordenado pelo Prof<sup>o</sup> Heber dos Santos Abreu, por todo o apoio logístico.

Aos técnicos de laboratório Tiago Amorim, Tiago Costa, Rogério, Elaine Zózimo, Jeane e Silvana por não hesitarem em me auxiliar diante de algum pedido.

Aos meus amigos do Laboratório de Anatomia Vegetal, Sabrina Magna, Rodrigo Feitoza, Rafael Pimentel e Dayana por toda a ajuda na preparação desta dissertação.

Ao SISBIO pelas licenças de coleta concedidas.

Aos coletores, Adilson e Antônio, por todo o auxílio durante as coletas.

À equipe da Reserva Biológica Poço das Antas, pela recepção e colaboração que permitiram o desenvolvimento dessa pesquisa.

Ao Dr. John Kress, pesquisador do Smithsonian Institution, pela parceria e colaboração no desenvolvimento desse trabalho.

A Ida Lopez e ao Mike Bordelon, pela presteza diante dos nossos pedidos, pela recepção no Smithsonian Institution e por todo o auxílio na coleta dos materiais botânicos.

À coordenadora do Programa de Pós-graduação em Biologia Vegetal da Uerj, Dr<sup>a</sup> Elisabeht Mansur, e as secretárias, Vera e Teresa, pela atenção, paciência e eficiência em todas as questões burocráticas ao longo do mestrado.

À CAPES pela concessão da bolsa de estudo.

Ao CNPQ, CAPES e FAPERJ pelo auxílio financeiro.

## RESUMO

GEVÚ, K.V. **Análise comparativa estrutural dos órgãos vegetativos em Zingiberaceae e implicações evolutivas do xilema.** 2014. 71 f. Dissertação (Mestrado em Biologia Vegetal) - Instituto de Biologia Roberto Alcântara – Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2014.

A família Zingiberaceae é a mais representativa da ordem Zingiberales, contendo mais de 1.000 espécies divididas em quatro subfamílias e seis tribos, amplamente distribuídas por todos os continentes. Nas últimas décadas houve um incremento nos estudos relativos à distribuição, o grau de especialização e a funcionalidade dos elementos de vaso em diversas famílias de monocotiledôneas. Entretanto, ainda existem poucos estudos que contribuam para o delineamento dos aspectos evolutivos e ecológicos das tribos de Zingiberaceae. Os objetivos desse trabalho são os de comparar a anatomia dos órgãos subterrâneos e aéreos de oito espécies de Zingiberaceae e estabelecer a distribuição dos elementos traqueais, bem como, o de determinar a especialização dos elementos de vaso de vinte e oito espécies pertencentes a três tribos Alpineae, Zingibereae e Globbeae. As espécies foram coletadas em áreas naturais protegidas e em áreas de cultivos particulares no estado do Rio de Janeiro. Os órgãos subterrâneos e aéreos foram processados de acordo com as técnicas usuais de microscopia óptica e eletrônica de varredura. A análise estrutural do eixo vegetativo das oito espécies pertencentes aos gêneros *Alpinia*, *Renealmia*, *Curcuma*, *Hedychium* e *Zingiber* indicam uma similaridade e mostram que os elementos de vaso estão restritos às raízes. Alguns caracteres estruturais dos elementos de vaso, como o tipo da placa de perfuração, o número de barras e o tipo de espessamento parietal se mostraram importantes para o estabelecimento da relação entre as subfamílias e tribos. Zingibereae e Globbeae reúnem estados de caracteres mais basais, como placa de perfuração escalariforme e espessamento parietal espiralado, e os mais derivados são encontrados na tribo Alpineae, incluindo placa de perfuração simples e espessamento parietal parcialmente pontado.

Palavras-chave: Especialização dos elementos traqueais. Órgãos subterrâneos e aéreos. Monocotiledônea. Subfamília Alpinoideae. Zingiberoideae.

## ABSTRACT

GEVÚ, K.V. *Evolutionary trends in species of Zingiberaceae based on anatomical studies*. 2014. 71 f. Dissertação (Mestrado em Biologia Vegetal) - Instituto de Biologia Roberto Alcântara – Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2014.

Zingiberaceae is the largest family in the order Zingiberales, consisting of over 1,000 species divided into four subfamilies and six tribes, and widely distributed worldwide. Studies on the distribution, the level of specialization, and the functionality of vessel elements in several monocotyledon families have increased over the last decades. On the other hand, a few studies have focused both evolutionary and ecological aspects in Zingiberaceae tribes. This study aims to characterize and compare the anatomy of subterranean and aerial organs of eight Zingiberaceae species, as well as determine the specialization in vessel elements of twenty eight species of tribes Alpineae, Zingibereae, and Globbeae. Plant sampling was done both in protected areas in the Brazilian Atlantic Rain Forest, and in private cultivation areas. Samples of aerial and subterranean organs were processed for both optical and scanning electron microscopy. Results indicate anatomical aspects are similar among the eight species, which belong to genera *Alpinia*, *Renealmia*, *Curcuma* *Hedychium* and *Zingiber*. Some characters of vessel elements, like the type of perforation plate, the amount of bars, and the type of wall thickening were found to be important to establish a phylogenetic relationship between subfamilies and tribes. Vessel elements were found to be confined to the roots, presenting several basal characters in Zingibereae and Globbeae tribes and derivate characters in Alpineae tribe.

Keywords: Alpininoideae and Zingiberoideae subfamilies. Monocotyledons. Specialization of the vessel elements. Subterranean and aerial organs.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Árvore filogenética da atual classificação da família Zingiberaceae. ....	12
Figura 2 - Árvore filogenética da atual classificação da tribo Globbeae .....	13
Figura 3 - Casa de vegetação, aspecto geral e inflorescência das espécies cultivadas .....	23
Figura 4 - Árvore filogenética molecular proposta por Kress et al. (2005) reproduzida no programa Mesquite .....	26
Figura 5 - Seções transversais de raízes de Zingiberaceae.....	28
Figura 6 - Seções transversais do rizoma. ....	30
Figura 7 – Traqueídes do rizoma .....	30
Figura 8 - Seção transversal do caule aéreo de espécies de Zingiberaceae .....	32
Figura 9 - Seções transversais da bainha foliar e do caule aéreo de espécies de Zingiberaceae .....	34
Figura 10 - Seções transversais da lâmina foliar .....	37
Figura 11 - Seções transversais da lâmina foliar .....	38
Figura 12 - Seções transversais da lâmina foliar .....	39
Figura 13 - Seções transversais da lâmina foliar .....	40
Figura 14 - Seções transversais da nervura mediana de espécies de Zingiberaceae.....	41
Figura 15 - Seções longitudinais do caule e da folha de espécies de Zingiberaceae .....	42
Figura 16 - Conteúdos celulares identificados em espécies de Zingiberaceae.....	44
Figura 17 - Elementos de vaso da tribo Alpinieae.....	47
Figura 18 - Elementos traqueais da tribo Zingibereae .....	47
Figura 19 - Detalhes dos diferentes tipos de placas de perfuração em MEV .....	48
Figura 20 - Mapeamento do tipo de espessamento parietal dos elementos de vaso sobre a árvore filogenética de Kress et al. 2005.....	53
Figura 21 - Mapeamento do tipo de placa de perfuração dos elementos de vaso sobre a árvore filogenética de Kress et al. 2005.....	54
Figura 22 - Mapeamento da disposição das placas de perfuração dos elementos de vaso sobre a árvore filogenética de Kress et al. 2005. ....	55
Figura 23 - Mapeamento do número de barras da placa de perfuração dos elementos de vaso sobre a árvore filogenética de Kress et al. 2005.....	56



## LISTA DE TABELAS

Tabela 1- Relação das espécies utilizadas nos estudos anatômicos e na avaliação dos elementos de vaso, acompanhada da categorização taxonômica, procedência e número de registro no Herbário da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro (RBR) e no Herbário da Universidade do Estado do Rio de Janeiro (HRJ).....	20
Tabela 2- Relação das espécies utilizadas na avaliação dos elementos de vaso, acompanhada da categorização taxonômica, procedência e número de registro da casa de vegetação.....	22
Tabela 3- Resultados dos testes histoquímicos para as espécies estudadas.....	43
Tabela 4- Caracterização dos elementos de vaso presentes nas raízes das espécies pertencentes à tribo Alpinieae .....	49
Tabela 5- Caracterização dos elementos de vaso presentes nas raízes das espécies pertencentes à tribo Zingibereae .....	50
Tabela 6- Caracterização dos elementos de vaso presentes nas raízes das espécies pertencentes à tribo Globbeae .....	51
Tabela 7 - Dados quantitativos dos elementos de vaso de cinco espécies de Zingiberaceae....	52

## SUMÁRIO

<b>INTRODUÇÃO.....</b>	<b>9</b>
<b>1 OBJETIVO GERAL .....</b>	<b>18</b>
<b>2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....</b>	<b>19</b>
<b>3 MATERIAIS E MÉTODOS .....</b>	<b>20</b>
3.1 Espécies selecionadas e áreas de estudo.....	20
3.2 Anatomia dos órgãos vegetativos .....	24
3.2.1 Microscopia óptica de campo claro.....	24
3.2.2 Microscopia eletrônica de varredura .....	24
3.2.3 Testes histoquímicos .....	25
3.3 Análise filogenética.....	25
3.4 Análise estatística.....	26
<b>4 RESULTADOS.....</b>	<b>27</b>
4.1 Caracterização anatômica .....	27
4.1.1 Raiz.....	27
4.1.2 Rizoma.....	29
4.1.3 Caule.....	31
4.1.4 Folha – bainha foliar.....	33
4.1.5 Folha – lâmina foliar .....	35
4.2 Implicações filogenéticas dos elementos de vaso em três tribos de Zingiberaceae .....	45
<b>5 DISCUSSÃO.....</b>	<b>57</b>
5.1 Caracterização anatômica .....	57
5.2 Implicações filogenéticas dos elementos de vaso em três tribos de Zingiberaceae .....	60
<b>CONCLUSÃO .....</b>	<b>63</b>
<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>64</b>

## INTRODUÇÃO

A ordem Zingiberales é constituída por cerca de 2.000 espécies de plantas herbáceas e rizomatosas, distribuídas em oito famílias. Zingiberaceae é a mais representativa dentro da ordem, apresentando 50 gêneros e mais de 1.000 espécies (JUDD et al., 2009; SOUZA e LORENZI, 2012). Atualmente, com a análise de dados morfológicos e moleculares, essa família se encontra dividida em quatro subfamílias e seis tribos (KRESS et al., 2002).

O valor econômico, cultural e histórico das plantas dessa família é resultante da sua utilização na medicina tradicional chinesa e no período das grandes navegações com a difusão das especiarias (ex: gengibre, cúrcuma). O gengibre (*Zingiber officinale* Roscoe) se destacou na Idade Média, pois o seu rizoma era utilizado em uma grande diversidade de receitas culinárias, em remédios e nas misturas destinadas ao culto. O açafrão (*Curcuma longa* L.) era também amplamente utilizado como corante (PELT, 2003; CARVALHO, 2002).

Os rizomas de algumas espécies de Zingiberaceae são utilizados na medicina, como: febrífugo, expectorante, e contra dores reumáticas (*Z. officinale*); anti-inflamatório, anti-hepatotóxico e anti-hiperlipidêmico (*C. longa*); enquanto que, *Curcuma zedoaria* (Christm.) Roscoe tem importância como estimulante da secreção biliar e da função renal, como protetor pulmonar e também como ativador da função hepática. As raízes de *Alpinia zerumbet* (Pers.) B.L. Burtt & R. M. Sm. são utilizadas no preparo de chás para o tratamento caseiro da hipertensão (LORENZI e SOUZA, 2001; CARVALHO, 2002; SANTOS et al., 2002).

As relações filogenéticas entre as famílias da ordem Zingiberales foram compreendidas com base em estudos morfológicos e moleculares (TOMLINSON, 1962, 1969; KRESS, 1990, 1995; KRESS et al., 2001). Esses autores concluíram que Cannaceae, Marantaceae, Zingiberaceae e Costaceae compõem um único clado, e Heliconiaceae, Strelitziaceae e Musaceae formando um complexo parafilético. Os estudos moleculares mais recentes realizados nessa ordem abrangem o sequenciamento dos genes *atpA* da mitocôndria, *rbcL* do cloroplasto e o 18S do rDNA nuclear. Esses estudos corroboram os estudos morfológicos anteriormente realizados e reforçam a monofilia da ordem em questão (SMITH et al., 1993; DAVIS et al., 2004; SPECHT, 2006).

Estudos sobre elementos de vasos, em monocotiledôneas, foram iniciados na década 1940 e têm sido incrementados nos últimos anos com uma abordagem evolutiva para diferentes táxons (CHEADLE, 1942; WAGNER, 1977; THORSCH, 2000; SCHNEIDER e CARLQUIST, 2005; RODRIGUES e ESTELITA 2009; CARLQUIST, 2012). Esses

elementos evoluíram independentemente nos grupos de plantas vasculares e se originaram inicialmente no xilema secundário das dicotiledôneas e posteriormente no xilema primário (EVERT, 2006). Em muitas monocotiledôneas são observados a presença de elementos de vaso restritos às raízes, porém em algumas famílias de monocotiledôneas têm sido detectada uma progressiva especialização dos elementos de vaso, que em táxons mais derivados alcançam os órgãos aéreos (TOMLINSON, 1956, 1969; WAGNER, 1977; CARLQUIST, 2012).

Até o momento, poucos estudos foram referidos sobre a distribuição e especialização dos elementos traqueais em Zingiberaceae (TOMLINSON, 1956, 1969; WAGNER, 1977; THORSCH, 2000; CARLQUIST, 2012).

### **Ordem Zingiberales – Família Zingiberaceae Martinov**

Inicialmente, esse táxon incluía as famílias Zingiberaceae, Cannaceae e Musaceae na classe Scitamineae (ENDLICHER, 1837). A partir de Engler e Prantl (1889), Scitamineae foi elevada em nível de ordem, com a inclusão de Marantaceae. Posteriormente, foi denominada de Zingiberales e constituída por seis ou oito famílias dependendo dos botânicos: Musaceae, Strelitziaceae, Lowiaceae, Heliconiaceae, Zingiberaceae, Costaceae, Marantaceae e Cannaceae (HUTCHINSON, 1959; TAKHTAJAN, 1980; KRESS, 1990; DAHLGREN et al., 1985).

Estudos morfológicos e moleculares têm sustentado a monofilia desta ordem (KRESS 1990, 1995; JUDD et al., 2009). O número de estames, a presença ou ausência de ráfides de oxalato de cálcio e os tipos de flavonoides, por outro lado, reforçam a separação das oito famílias em dois grupos: grupo da “banana” (Strelitziaceae, Musaceae, Heliconiaceae e Lowiaceae) e grupo do “gengibre” (Zingiberaceae, Costaceae, Marantaceae e Cannaceae) (DAHLGREN, 1980; DAHLGREN e CLIFFORD, 1982; PUGIALLI et al., 1993; LIIMA e KAPLAN, 2010).

As espécies da ordem Zingiberales se encontram difundidas em todos os continentes, principalmente nos trópicos (JUDD et al., 2009). Essa ampla distribuição ocorre devido ao cultivo que é facilitado pelo seu sistema de reprodução vegetativa através de rizomas, touceiras e estacas (LORENZI e SOUZA, 2001; STASI e LIMA, 2002).

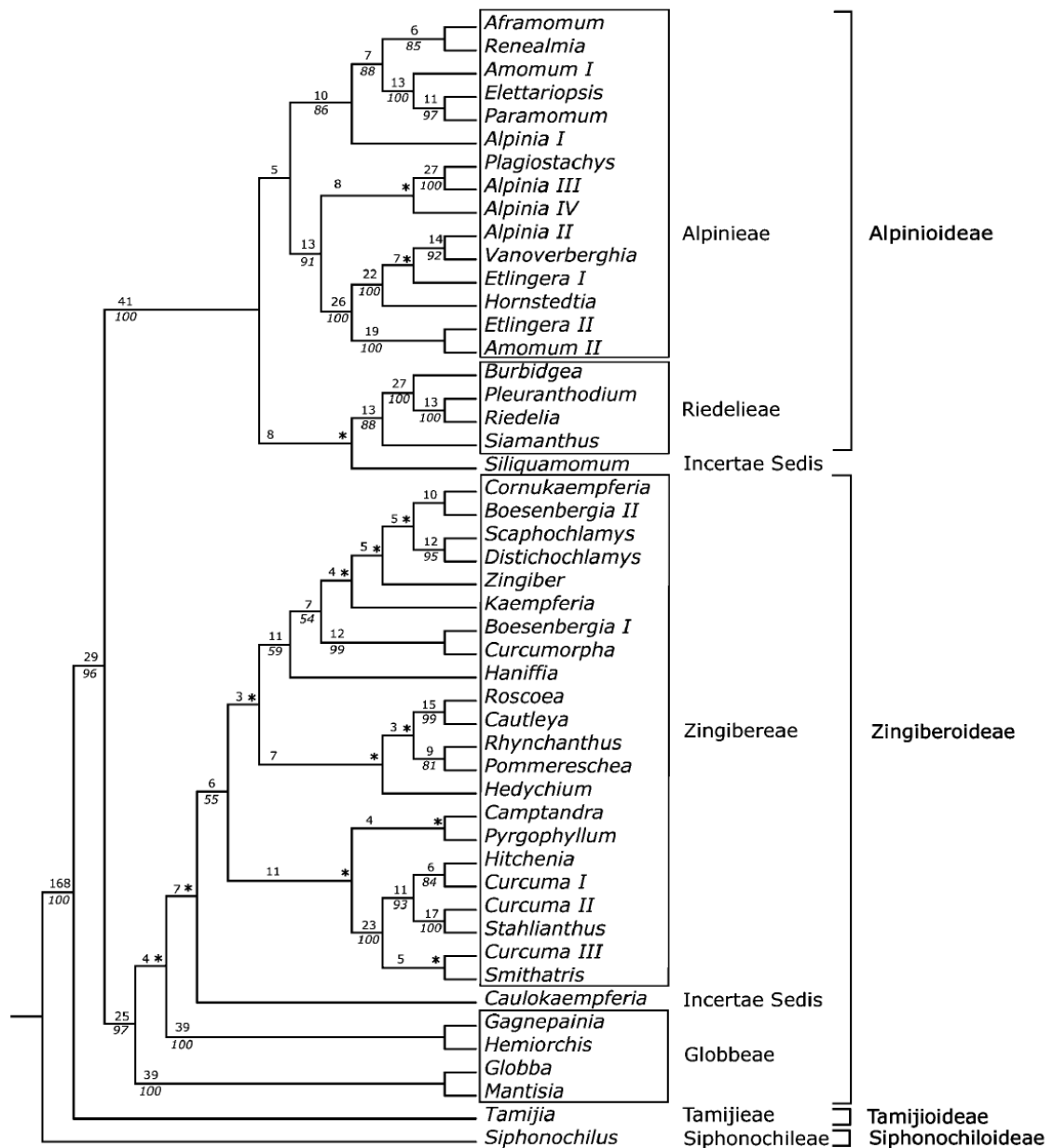
As famílias dessa ordem são constituídas de plantas herbáceas e rizomatosas, conhecidas como ervas gigantes, que se desenvolvem preferencialmente em subosques, sendo

de semi-umbrófilas a heliófilas. Na Mata Atlântica, essas plantas, são encontradas crescendo em brejos, margens de rios e em áreas abertas (KRESS, 1990; PUGIALLI, 1996).

Segundo Judd et al. (2009), as famílias Zingiberaceae e Costaceae constituem um único clado sustentado pela presença de um estame funcional, de lígula no ápice da bainha foliar, sépalas conatas, estaminódios fusionados e redução de dois dos três estigmas. Segundo os autores, Heliconiaceae pode ser o grupo-irmão do clado formado por Cannaceae-Marantaceae- Zingiberaceae pela ocorrência de um estame mediano fértil e externo, pétalas conatas e pormenores da anatomia da raiz.

A família Zingiberaceae apresenta distribuição pantropical (SOUZA e LORENZI, 2012). Com base na análise de caracteres morfológicos, essa família foi previamente dividida em quatro tribos, Alpinieae, Globbeae, Hedychieae e Zingibereae (PETERSEN, 1889; HOLTUM, 1950; LARSEN et al., 1998). A adição dos dados moleculares gerou uma nova proposta que a dividiu em quatro subfamílias (Siphonochiloideae, Tamijioideae, Alpinioideae e Zingiberoideae) e seis tribos (Siphonochileae, Tamijieae, Alpinieae, Riedelieae, Zingibereae e Globbeae) (Fig. 1). Entretanto as relações evolutivas dentro dos gêneros polifiléticos (*Alpinia*, *Amomum*, *Etilingera*, *Curcuma* e *Globba*) ainda não estão bem esclarecidas. A consistência do rizoma (fibroso e succulento) e a orientação das folhas em relação a esse órgão (perpendicular, paralelo) auxiliam na separação das tribos Alpinieae e Zingibereae (KRESS et al., 2002). Kress et al. (2005) expandiu os estudos sobre a família Zingiberaceae e propôs uma nova classificação para o gênero *Alpinia* dividindo-o em seis clados: *Alpinia Fax*, *Alpinia Galanga*, *Alpinia Carolinensis*, *Alpinia Zerumbet*, *Alpinia Eubracteae* e *Alpinia Rafflesiana*.

Figura 1 - Árvore filogenética da atual classificação da família Zingiberaceae.



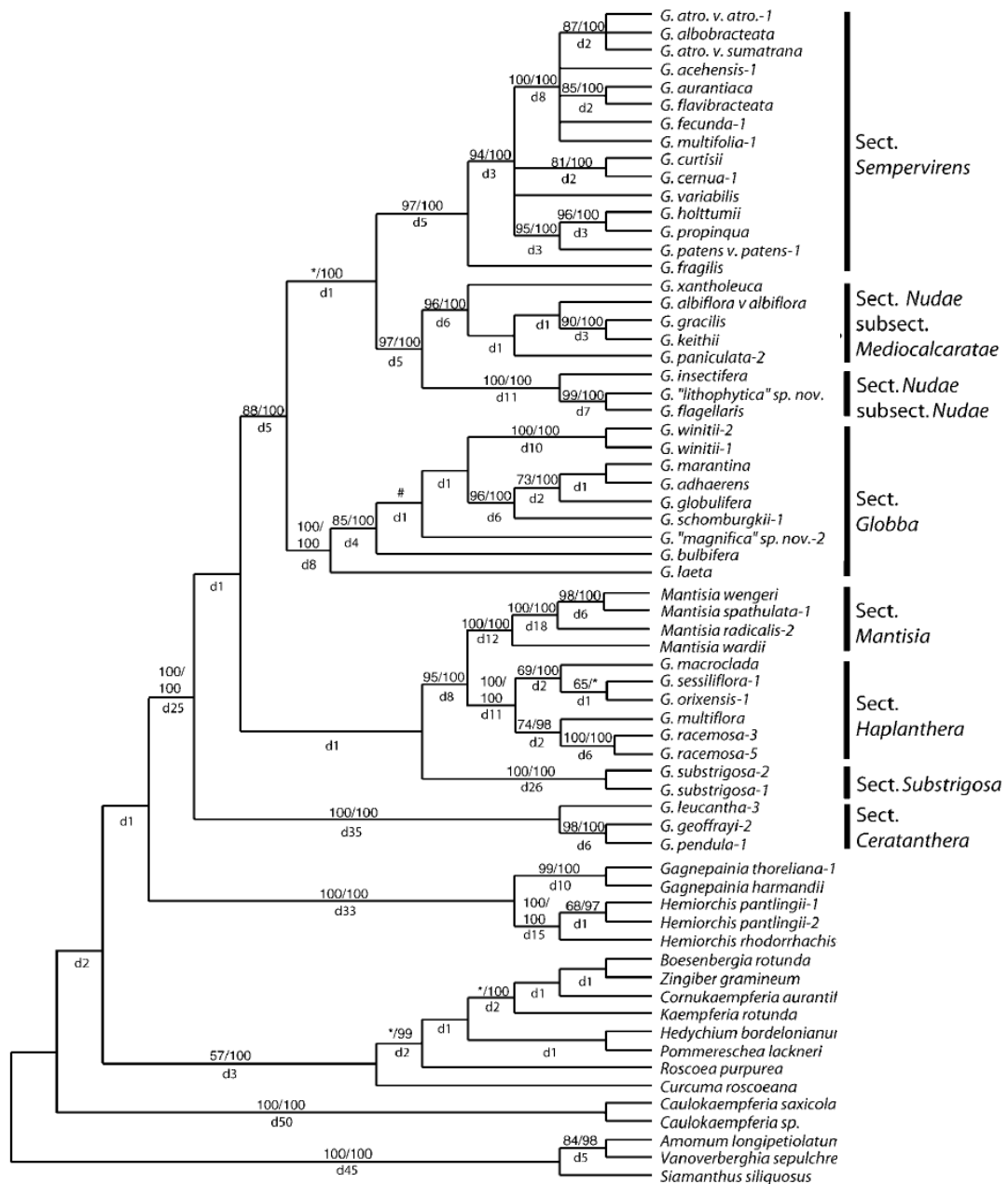
Fonte: KRESS et al. , 2002.

Pedersen (2004) estudou a filogenia da subfamília Alpinioideae, baseado em análises de DNA nuclear e plastidial. Segundo o autor, *Amomum*, *Geocharis*, *Hornstedtia* e *Etlingera* formam um grupo monofilético, fortemente suportado.

Xia et al. (2004) confirmaram o polifiletismo de *Amomum* e propuseram a divisão desse gênero em três grandes grupos, sendo um deles formado por *Paramomum* e *Elettariopsis* que juntos compõem um clado irmão.

Para a tribo Globbeae foi proposta uma classificação infragenética baseada na análise da forma e do número de apêndices na antera, e nas características da inflorescência e da morfologia dos frutos. Essa classificação dividiu a tribo em 3 subgêneros, 7 seções e 2 subseções (Fig. 2) (WILLIAMS et al., 2004).

Figura 2 - Árvore filogenética da atual classificação da tribo Globbeae



Fonte: WILLIAMS et al., 2004.

Tomlinson (1956) separou Zingiberoideae e Costoideae a partir do estudo de caracteres anatômicos dos órgãos vegetativos, realizado em 41 espécies pertencentes a 20 gêneros. Os caracteres anatômicos utilizados foram: a disposição e a forma das células da

epiderme, do estrato subepidérmico e dos feixes vasculares da folha; bem como a presença ou ausência de metabolitos secundários, como por exemplo, de corpos silicosos e de idioblastos oleíferos. O mesmo autor, em 1962, propôs uma filogenia para a ordem Scitamineae baseada nos caracteres morfológicos e anatômicos anteriormente descritos.

### **Evolução e especialização do xilema em monocotiledôneas**

O surgimento do sistema condutor foi um dos fatores que possibilitou a conquista das plantas ao ambiente terrestre, no período do Siluriano e no Devoniano inferior, há aproximadamente 400 milhões de anos.

A produção de lignina e seu depósito na parede do xilema foi responsável pela preservação desse tecido em registros fósseis, permitindo a caracterização das primeiras células condutoras. Na maioria das Pteridófitas e das Gimnospermas ocorrem células longas com extremidades afilada, chamadas traqueídes, que acumulavam as funções de sustentação e de condução (OLIVEIRA, 1996; RAVEN et al., 2007). Com a especialização crescente, as traqueídes deram origem a dois tipos celulares: os elementos de vaso responsáveis pela condução e as fibras, pela sustentação.

Os elementos de vaso evoluíram independentemente nos grupos de plantas vasculares e estão presentes na maioria das angiospermas, e restritos a algumas pteridófitas (*Pteridium*, *Sellaginella*) e gimnospermas (gnetófitas) (SCHNEIDER e CARLQUIST, 2000; RAVEN et al., 2007). A especialização desses elementos seguiu uma tendência que inclui a redução do comprimento e aumento no diâmetro, a alteração na localização das placas de perfuração, passando de oblíquas a transversais e com dissolução das paredes terminais de parciais a totais (foraminada, reticulada, escalariforme, mista e simples) (ESAU, 2000; COSTA et al., 2006).

As pontoações intervasculares areoladas, com a evolução, foram se tornando cada vez menores e dispostas inicialmente de forma escalariforme, e depois em disposição oposta ou alterna (WAGNER, 1977; ESAU, 2000; COSTA et al., 2006).

Nas últimas décadas houve um incremento nos estudos relativos à distribuição, o grau de especialização e a funcionalidade dos elementos de vaso em diversas famílias de monocotiledôneas (WAGNER, 1977; CHEADLE e KOSAKAI, 1980, 1982; THORSCH e CHEADLE, 1996; CARLQUIST e SCHNEIDER, 1998, 2006, 2007, 2010; THORSCH, 2000; SCHNEIDER e CARLQUIST, 2005; RODRIGUES et al., 2007; RODRIGUES e ESTELITA, 2009; PACE et al., 2011; CARLQUIST, 2012).



Cheadle e Kosakai (1980) concluíram que, de modo geral, elementos de vaso não estão presentes nas folhas de Commelinales e sua especialização não é contínua, uma vez que os elementos de vaso do caule aéreo são mais especializados do que os do rizoma. Os mesmos autores (1982) verificaram que em Xyridaceae, esses elementos estão presentes em todos os órgãos e a sua especialização é decrescente da raiz até as folhas.

Thorsch e Cheadle (1996) encontraram diferentes níveis de especialização nos elementos de vaso de Eriocaulaceae e correlacionaram esses resultados com os seus diferentes habitats. *Eriocaulon septangulare* With. cresce em locais alagados e apresenta elementos de vaso basais, com placas de perfuração escalariforme. Em contraste, *Paepalanthus alsinoides* C. Wright, que é uma espécie xeromórfica, apresenta elementos de vaso derivados com placas de perfuração simples.

Na subfamília Colocasioideae (Araceae) a distinção entre os elementos de vaso dentro de cada gênero se relaciona intimamente com o seu hábito e habitat. Os gêneros *Alocasia*, *Caladium* e *Colocasia* apresentam um caule que armazena água e amido, e uma raiz que precisa absorver água rapidamente quando a umidade é sazonalmente limitada. Portanto, os elementos de vaso das raízes dessas espécies apresentam grande parte das placas de perfurações transversais, com poucas barras e espessamento parietal escalariforme, ou seja, maior grau de especialização. Em *Xanthosoma*, os caules estão na posição vertical, mas apresentam função de armazenamento, por serem bem espessos e suculentos, como nos outros gêneros. As espécies do gênero *Syngonium* ocorrem em habitat com curtos períodos de umidade. Mesmo assim, este gênero possui como características caules acentuadamente alongados e escandentes, com elementos de vaso portando placas de perfurações oblíquas com muitas barras, além de espessamento parietal helicoidal, tanto na raiz como no caule (CARLQUIST e SCHNEIDER, 1998).

Elementos de vaso foram encontrados nas raízes e nos caules de *Hanguana* (Hanguanaceae – Commelinales). Os graus de especialização são distintos nesses elementos, sendo restritos às raízes aqueles que reúnem caracteres derivados (SCHNEIDER e CARLQUIST, 2005).

Para a família Orchidaceae, Carlquist e Schneider (2006) mostraram que elementos traqueais com características intermediárias entre traqueídes e elementos de vaso prevalecem no tecido condutor. Além disso, essa família é importante no estudo da evolução dos elementos traqueais em diferentes órgãos, visto que o fluxo é mais rápido nas raízes do que nos órgãos suculentos e uma menor obstrução está correlacionada com a mudança da forma de vida de terrestre para epífita.

Em *Sansevieria* (Asparagaceae), sugere-se que a restrição dos vasos às raízes está associada à suculência natural dos seus órgãos ou ainda a transpiração limitada da folha como resposta adaptativa ao ambiente (CARLQUIST e SCHNEIDER, 2007).

Os elementos de vaso do sistema subterrâneo de cinco espécies de *Cyperus* L. (Cyperaceae) exibem alta especialização, por conter placas de perfuração simples e apresentar nos rizomas o comprimento menor quando comparado aos das raízes (RODRIGUES et al., 2007). Essa última característica foi justificada pelo fato de ser o rizoma um órgão compacto com entrenós reduzidos, o que poderia dificultar o alongamento de suas células.

Rodrigues e Estelita (2009), ao estudarem as diversas origens dos feixes vasculares nos rizomas de cinco espécies de Cyperaceae, observaram que o meristema de espessamento primário origina feixes vasculares os quais apresentam elementos de vaso longos com apêndices, enquanto que, os oriundos do meristema de espessamento secundário são constituídos por elementos de vaso curtos com apêndices e ramificações.

Carlquist e Schneider (2010) estudaram espécies terrestres e escandentes/epífitas do gênero *Astelia* (Asteliaceae – Aspargales) e concluíram que o hábito é mais importante que o habitat para a determinação dos elementos traqueais nesse táxon, quando comparado às demais monocotiledôneas. Essas espécies apresentam uma menor especialização para o aumento da eficiência de condução devido a uma sutil diferença encontrada nos elementos traqueais de representantes de hábitos distintos. Além disso, os elementos traqueais da raiz e do caule não se distinguem, esse fato sugere, segundo os autores, uma longa ocupação dessas plantas em ambientes méxicos. Segundo Carlquist (2012), o xilema mais especializado nos órgãos subterrâneos pode estar presente em plantas que entram em ambiente xérico, enquanto que as plantas que estão em ambiente méxico retêm caracteres primitivos. Elementos de vaso longos e placas de perfuração escalariforme portando muitas barras são condições primitivas em monocotiledôneas, enquanto que, elementos de vaso curtos com placa simples são indicadores de especialização (CHEADLE, 1942).

Pace et al. (2011) estudaram os elementos de vaso do metaxilema de três palmeiras do gênero *Syagrus* de hábitos distintos e habitats similares. Os autores encontraram nesse táxon duas situações incomuns para as espécies, como: maior comprimento dos elementos de vaso das raízes em relação ao caule e as folhas e variabilidade no comprimento dos elementos condutores do caule. Os resultados foram associados à funcionalidade do órgão, pelo fato de nos elementos de vaso longos ocorrer maior potencial de pressão e com isso, as embolias são mais facilmente evitadas e reparadas.

Carlquist (2012) fez uma revisão sobre xilema em monocotiledôneas com o intuito de entender como esse tecido teria evoluído, baseado nos aspectos filogenéticos, funcionais e ecológicos. O autor verificou que, de modo geral, os elementos de vaso não estão presentes nos caules e nas folhas das monocotiledôneas e que o xilema nem sempre apresenta uma maior especialização, com redução progressiva da raiz até alcançar as folhas. Como exemplo, o autor se refere a algumas monocotiledôneas que possuem elementos de vaso com placas de perfuração simples na raiz e apenas traqueídes nos outros órgãos.

Wagner (1977) observou que os elementos de vaso das raízes de Zingiberaceae são mais especializados do que os encontrados nas demais famílias da ordem Zingiberales. Com exceção do gênero *Renealmia*, onde esses elementos estão restritos às raízes, diferentemente do que ocorre em Marantaceae que possui vasos na grande maioria de seus caules. O xilema na raiz, no caule e na folha de 25 gêneros e 54 espécies de Zingiberaceae foi estudado por Thorsch (2000). Os critérios adotados no estudo foram os seguintes: presença ou ausência de traqueídes, tipos de placas de perfuração dos elementos de vaso e quantificação do nível de especialização dos elementos traqueais. Como resultado foi observado que os vasos se originaram nas raízes e, de modo geral, não são altamente especializados nessa família.

Apesar de Zingiberaceae ser constituída por um grande número de espécies, os estudos anatômicos voltados para o delineamento dos aspectos evolutivos desse táxon ainda são escassos.

Diante do exposto, o presente trabalho visa responder as seguintes questões, a saber: *i)* nas espécies analisadas, os elementos de vasos estão restritos às raízes? *ii)* existem diferentes graus de especialização nesses elementos de vaso? *iii)* caracteres dos elementos de vaso são diagnósticos para a distinção das três tribos de Zingiberaceae?

A partir dos dados supracitados, verifica-se a necessidade e a importância de ampliar o conhecimento sobre as tendências evolutivas da família Zingiberaceae, por meio da análise, principalmente dos elementos de vaso.

## 1 OBJETIVO GERAL

Caracterizar anatomicamente os órgãos subterrâneos e aéreos de representantes da família Zingiberaceae para melhor compreender a distribuição dos elementos traqueais nessa família. Após a determinação do grau de avanço evolutivo desses elementos, pretende-se avaliar tendência evolutiva de 28 espécies pertencentes às tribos *Alpinieae*, *Zingibereae* e *Globbeae*.

## **2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Descrever a anatomia dos órgãos subterrâneos e aéreos de oito espécies de Zingiberaceae;
- Estabelecer a distribuição e caracterizar os elementos traqueais dos órgãos subterrâneos e aéreos dessas espécies;
- Caracterizar os tipos e o grau de especialização nos elementos de vaso das raízes de 28 espécies pertencentes às três tribos;
- Identificar os caracteres dos elementos de vaso importantes para a distinção das mesmas.

### 3 MATERIAIS E MÉTODOS

#### 3.1 Espécies selecionadas e áreas de estudo

O presente estudo abrange espécies nativas e subespontâneas, ocorrentes em áreas preservadas e cultivadas. Nas tabelas 1 e 2 estão listadas as espécies da família Zingiberaceae selecionadas para o estudo. As caracterizações anatômicas dos órgãos vegetativos foram realizadas com as oito espécies presentes na tabela 1. Para a avaliação do grau de especialização dos elementos de vaso das raízes foram processadas todas as 28 espécies listadas nas tabelas 1 e 2.

Tabela 1 - Relação das espécies utilizadas nos estudos anatômicos e na avaliação dos elementos de vaso, acompanhada da categorização taxonômica, procedência e número de registro no Herbário da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro (RBR) e no Herbário da Universidade do Estado do Rio de Janeiro (HRJ).

Espécies	Subfamília/Tribo	Áreas de estudo	Registro
<i>Alpinia purpurata</i> (Vieill.) K. Schum.	Alpi/Alp	Fazendinha Agroecológica – EMBRAPA Agrobiologia	34622(RBR)/ 12.283(HRJ)
<i>A. zerumbet</i> (Pers.) B.L. Burt & R. M. Sm.	Alpi/Alp	Cultivada no Município de Seropédica	349739(RBR)
<i>Renealmia chrysotricha</i> Petersen	Alpi/Alp	Parque Nacional de Itatiaia	33416(RBR)/ 12.284(HRJ)
<i>Curcuma longa</i> L.	Zing/Zin	Jardim Botânico da UFRRJ	34971(RBR)
<i>C. zedoaria</i> (Christm.) Roscoe	Zing/Zin	Jardim Botânico da UFRRJ	34972(RBR)
<i>Hedychium coronarium</i> J. König	Zing/Zin	Parque Nacional de Itatiaia	33417(RBR)/ 12.285(HRJ)
<i>Zingiber officinale</i> Roscoe	Zing/Zin	Jardim Botânico da UFRRJ	34975(RBR)/ 12.286(HRJ)
<i>Z. spectabile</i> Griff.	Zing/Zin	Jardim Botânico da UFRRJ	34922(RBR)

Legenda: Subfamília- Alpinioideae (Alpi), Zingiberoideae (Zing); Tribos- Alpinieae (Alp), Zingibereae (Zin)

As espécies de *Alpinia*, *Curcuma* e *Zingiber* foram coletadas no município de Seropédica, situada na zona oeste do estado do Rio de Janeiro. Essa região apresenta clima quente e seco, com pluviosidade média de 100,2 mm por mês. As coletas foram feitas em três locais distintos: Jardim Botânico da UFRRJ que compreende uma área de 16,5 ha, localizado nas coordenadas (22°55'45" S e 42°58'54" W), com uma elevação média de 27 m (MIRANDA e COLOMBINI, 2009; CYSNEIROS et al., 2011), Fazendinha Agroecológica que está localizada na Embrapa Agrobiologia, que abrange uma extensão de 59 ha e possui

solo de baixa fertilidade destinado ao exercício da agroecologia e no Km 49 da antiga Rodovia Rio/São Paulo.

As espécies *R. chrysotricha* e *H. coronarium* foram coletadas no Parque Nacional de Itatiaia, localizado a sudoeste do estado do Rio de Janeiro, entre as coordenadas 22° 30' e 22° 33'S e 42° 15' e 42° 19'W. O relevo do local é montanhoso, com gradiente latitudinal, desde o rio Paraíba a 500 m até o Pico das Agulhas Negras, a 2789 m (LIMA e GUEDES-BRUNI, 2004). O solo tem predomínio de latossolos e cambissolo de caráter argilo-arenoso com acentuada acidez. O clima é quente e úmido no mês de janeiro e mais frio e seco em junho, com precipitação anual total de 2400 mm (SILVA-NETO, 2006). As amostras utilizadas no presente trabalho foram coletadas a 700 m de altitude, na vgetação classificada como Floresta ombrófila densa montana. As espécies de *Etilingera* foram coletadas no Instituto de Pesquisas Jardim Botânico do Rio de Janeiro (JBRJ).

Dezoito espécies dos gêneros, *Alpinia*, *Etilingera*, *Amomum*, *Aframomum*, *Elettariopsis*, *Curcuma*, *Hedychium* e *Zingiber* (Tabela 2), foram cedidas pelo Doutor John Kress, pesquisador do Departamento de Botânica do Instituto de Pesquisas de Smithsonian (Washington DC – EUA). As espécies são provenientes de casa de vegetação (Botany Greenhouse / Smithsonian Institution – Suitland, MD) (Fig. 3).

Tabela 2 - Relação das espécies utilizadas na avaliação dos elementos de vaso, acompanhada da categorização taxonômica, procedência e número de registro da casa de vegetação.

<b>Espécies</b>	<b>Subfamília/Tribo</b>	<b>Áreas de Estudo</b>	<b>Registro</b>
<i>Alpinia elegans</i> Ridl.	Alpi/Alp	Casa de Vegetação	94-756
<i>A. nigra</i> (Gaertn.) B.L. Burtt	Alpi/Alp	Casa de Vegetação	02-078
<i>A. galanga</i> (L.) Willd.	Alpi/Alp	Casa de Vegetação	00-221
<i>Amomum delbatum</i> Roxb.	Alpi/Alp	Casa de Vegetação	06-033
<i>Aframomum angustifolium</i> (Sonn.) K. Schum.	Alpi/Alp	Casa de Vegetação	92-039
<i>Elettariopsis curtisii</i> Baker	Alpi/Alp	Casa de Vegetação	99-078
<i>Etilingera elatior</i> (Jack) R.M. Sm.	Alpi/Alp	JBRJ	35796*
<i>E. fulgens</i> (Ridl.) C.K.Lim	Alpi/Alp	JBRJ	35797*
<i>Curcuma comosa</i> Roxb.	Zing/Zin	Casa de Vegetação	96-229
<i>C. domestica</i> Valetton	Zing/Zin	Casa de Vegetação	01-072
<i>C. petiolata</i> Roxb.	Zing/Zin	Casa de Vegetação	00-040
<i>Hedychium greenei</i> W.W. Sm.	Zing/Zin	Casa de Vegetação	94-776
<i>H. thyriforme</i> Sm.	Zing/Zin	Casa de Vegetação	1994-773
<i>Zingiber cassumunar</i> Roxb.	Zing/Zin	Casa de Vegetação	2000-070
<i>Z. corallinum</i> Hance	Zing/Zin	Casa de Vegetação	95-199
<i>Z. wrayii</i> Prain ex Ridley	Zing/Zin	Casa de Vegetação	94-844
<i>Z. mioga</i> (Thunb.) Roscoe	Zing/Zin	Casa de Vegetação	1999-282
<i>Globba curtisii</i> Holttum	Zing/Glo	Casa de Vegetação	89-050
<i>G. sherwoodiana</i> W.J. Kress & V. Gowda	Zing/Glo	Casa de Vegetação	97-141
<i>G. schomburgkii</i> Hook. f.	Zing/Glo	Casa de Vegetação	98-186

\* Espécies depositadas no herbário RBR / UFRRJ. Legenda: Subfamílias- Alpinioideae (Alpi), Zingiberoideae (Zing); Tribos- Alpinieae (Alp), Zingibereae (Zin), Globbeae (Glo)



Figura 3 - Casa de vegetação, aspecto geral e inflorescência das espécies cultivadas



Legenda: A. Botany Greenhouse / Smithsonian Institution. B. *Elettariopsis curtisii*. C e D. *Globba sherwoodiana*. E. *Curcuma comosa*. F. *Hedychium greenei*, detalhe da inflorescência. G. *Zingiber corallinum*

## 3.2 Anatomia dos órgãos vegetativos

### 3.2.1 Microscopia óptica de campo claro

Órgãos vegetativos das oito espécies foram coletados e fragmentos foram fixados em FAA 70% (JOHANSEN, 1940) e, subsequentemente, conservados em álcool 70% (JENSEN, 1962). As folhas coletadas estavam expandidas e sendo provenientes do 3º ou 4º nós.

Os rizomas foram incluídos em polietileno glicol (PEG) 1500 e seccionados (transversal e longitudinal) na espessura média de 20 µm em micrótomo de deslize. As raízes foram incluídas em Historresina®, seccionadas em séries transversais na região mediana, em micrótomo rotatório Leica RM 2235, com espessura média de 5 µm e, posteriormente, coradas com azul de toluidina 0.05% (O' BRIEN et al., 1964).

Outras avaliações estruturais dos órgãos vegetativos foram feitas em secções provenientes de cortes em micrótomo de Ranvier. Essas secções foram clarificadas com hipoclorito de sódio a 50%, neutralizadas em água acética (1:500), coradas com uma mistura de azul de astra 2% e safranina 0,5% em solução aquosa e montadas em lâminas semipermanentes (BUKATSCH, 1972).

Para a dissociação dos elementos traqueais desses órgãos foi utilizado o método modificado de Franklin (1945). Os fragmentos obtidos foram corados com safranina aquosa 1% e depois montados em lâminas semipermanentes.

A morfologia externa dos órgãos foi documentada por meio de fotografias com câmera digital e os dados anatômicos registrados com o auxílio de um sistema digital, acoplado ao microscópio óptico Olympus BX 51 e ao computador, utilizando o software Cell.

A denominação das regiões anatômicas do rizoma está de acordo com o que foi descrito para Zingiberaceae (TOMLINSON, 1956, 1969; SANTOS e SILVA, 1997; MARTINS et al., 2010).

### 3.2.2 Microscopia eletrônica de varredura

Para Microscopia Eletrônica de Varredura, os elementos de vaso dissociados foram afixados em suportes próprios com fita adesiva de carbono, secos ao ar livre e posteriormente cobertos com uma fina camada de ouro de 20 nm (Bal-Tec Sputer Coater SCD 050). As amostras foram observadas em microscópio eletrônico de varredura DSEM-ZEISS 962, em diferentes acelerações de voltagem (KLEIN et al., 2004).

### 3.2.3 Testes histoquímicos

Para a detecção de metabólitos especiais nas células vegetais foram realizados testes histoquímicos em material recém coletado, não fixado e cortado com o micrótomo de Ranvier. Os reagentes utilizados foram: Sudan IV para lipídeos e paredes cutinizadas (FOSTER, 1949); vermelho de Rutênio para a identificação de mucilagem péctica (JENSEN, 1962); floroglucina clorídrica para evidenciar lignina (JOHANSEN, 1940); lugol para grãos de amido (LANGERON, 1949); dicromato de potássio 10% para evidenciar substâncias fenólicas (GABE, 1968); ácido clorídrico 10% para testar a natureza dos cristais (STRASBURGER, 1986) e por observação ao microscópio de luz polarizada.

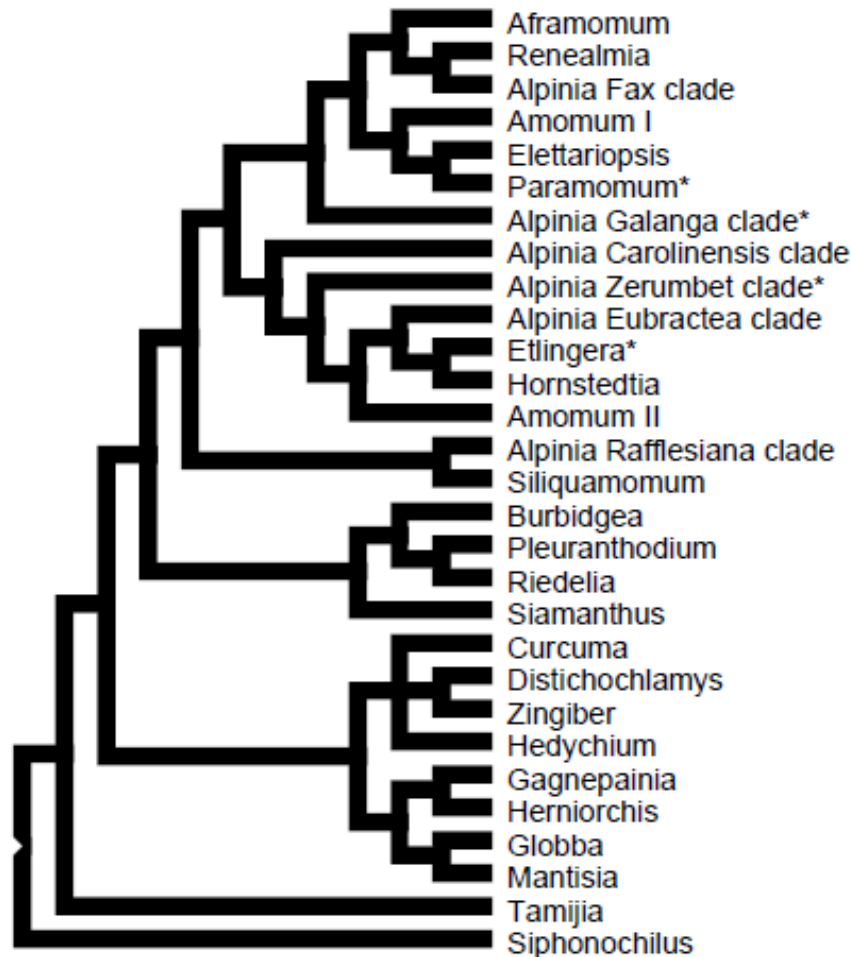
### 3.3 **Análise filogenética**

Para caracterizar e avaliar o grau de especialização dos elementos de vaso foram utilizados os seguintes caracteres: placas de perfuração, inclinação da parede terminal, número de barras e tipos de espessamento parietal. A análise evolutiva desses caracteres foi realizada com base em uma árvore filogenética molecular resultante da análise combinada de regiões sequenciadas, ITS (Internal Transcriber Spacer) e *matK*, do DNA cloroplastidial de espécies de Zingiberaceae. Essa árvore foi gerada por Kress et al. (2005) para explicar as relações entre os gêneros dessa família e recriada com o auxílio do programa Mesquite: a molecular system for evolutionary analysis (Fig. 13) (MADDISON e MADDISON, 2011).

Uma lista foi gerada com os caracteres selecionados e seus estados de caráter por meio da presença ou ausência (Tabelas 4, 5 e 6). Essas informações foram utilizadas para gerar uma matriz (APÊNDICE) com até dois números para cada gênero, os quais estariam representando os estados de caráter mais significativos. Posteriormente, esses estados de caráter foram plotados e interpretados individualmente na árvore, onde cada número da matriz foi ilustrado por uma cor.

As espécies contidas neste trabalho foram colocadas, a partir dos estudos moleculares (KRESS et al., 2005), nos seguintes clados: *A. zerumbet* - clado *Alpinia Zerumbet*; *A. purpurata* e *A. elegans* - clado *Alpinia Eubractea*; *A. galanga* e *A. nigra* - clado *Alpinia Galanga*; e *Amomum delbatum* - *Amomum II*.

Figura 4 - Árvore filogenética molecular proposta por Kress et al. (2005) reproduzida no programa Mesquite



### 3.4 Análise estatística

As mensurações dos elementos de vaso seguiram, em parte, as normas pré-estabelecidas por Coradin e Muñiz (1991). O número de mensurações por indivíduo foi de 25 para os parâmetros de comprimento e diâmetro dos elementos de vaso. A priori, os dados quantitativos obtidos serão submetidos ao teste de normalidade pela prova de Shapiro-Wilk, no nível de significância de  $\alpha=0,05$ . A partir disto será aplicado o teste de análise de variância (ANOVA) de comparação entre as médias, no nível de significância de  $\alpha=0,05$  e o teste t para a diferenciação de médias, utilizando-se o R Core Team (2012).

## 4 RESULTADOS

### 4.1 Caracterização anatômica

#### 4.1.1 Raiz

As raízes de todas as espécies estudadas, em seção transversal, apresentam epiderme uniestratificada com pêlos absorventes, a cerca de três centímetros do ápice. O córtex é formado por uma exoderme constituída por 4-6 camadas de células com paredes delgadas e levemente suberificadas.

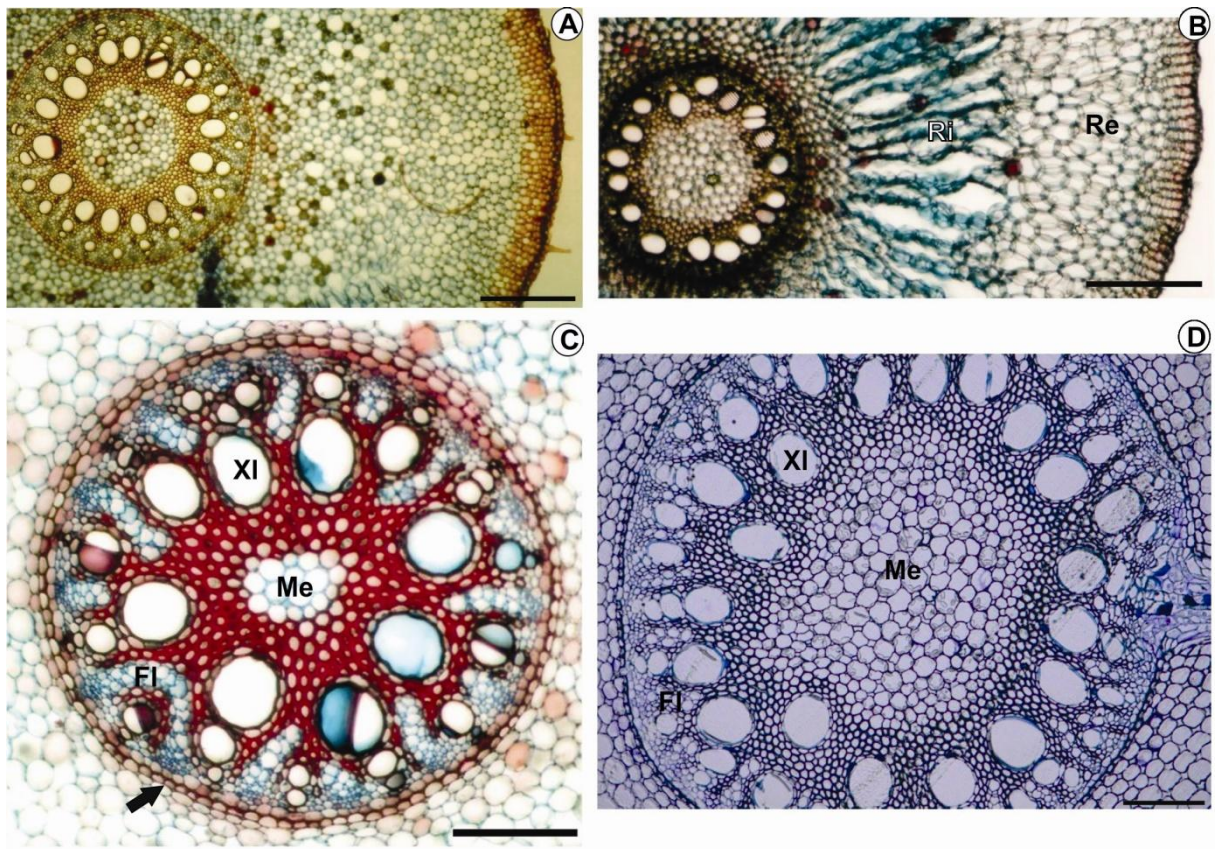
O parênquima cortical organiza-se em duas regiões, a mais externa com células isodiamétricas dispostas compactamente e meatos, e a mais interna, com lacunas ou canais bem definidos (Fig.5A-B). Somente, em *Hedychium coronarium* foram observadas células brachiformes nas lacunas do parênquima cortical. O córtex é delimitado por uma endoderme uniestratificada, constituída de células com espessamento em U (Fig. 5C) e células de passagem.

O cilindro central apresenta periciclo uniestratificado e composto apenas por células parenquimáticas. O sistema vascular é poliarco, possuindo um número variado de elementos de protoxilema e metaxilema, sendo esses últimos circundados por pequenas células parenquimáticas (Fig.5C-D), com exceção de *Curcuma*, na qual foi observado um único elemento de metaxilema para cada pólo (Fig. 5B). Os elementos de vaso foram encontrados nas raízes de todas as espécies e as traqueídes somente em *H. coronarium* e *C. longa*.

Em geral, o floema é formado por pequenos grupos de elementos de tubo crivado, de células companheiras e de idioblastos, intercalados com elementos de protoxilema. Em *Alpinia purpurata*, os elementos de metafloema atingem porções mais internas, sendo circundados por fibras e intercalados com elementos de metaxilema. O protostelo medulado é formado por células parenquimáticas circundadas por fibras.

Os testes histoquímicos confirmam a presença de idioblastos fenólicos e oleíferos em toda a raiz. A presença de grãos de amido foi confirmada no córtex e na medula de *Renealmia chrysotricha*, *H. coronarium* e *Zingiber spectabile*. Cristais prismáticos de oxalato de cálcio de tamanhos variados foram identificados no parênquima cortical de *H. coronarium* (Tab. 3).

Figura 5 - Seções transversais de raízes de Zingiberaceae



Legenda: A. Visão geral da raiz de *Hedychium coronarium*. B. Visão geral da raiz de *Curcuma longa*. C. Detalhe do cilindro central de *H. coronarium*, espessamento em U na endoderme (seta). D. Detalhe do cilindro central de *Zingiber spectabile*. (Me= medula, FI= floema, Re= região cortical externa, Ri= região cortical interna, XI= xilema). A e B= 400  $\mu$ m, C e D= 150  $\mu$ m.

#### 4.1.2 Rizoma

O rizoma das espécies estudadas, em seção transversal, apresentam súber estratificado constituído por cinco a oito camadas de células compactas e levemente espessadas (Fig. 6A). Em um indivíduo jovem de *Zingiber officinale* foi possível observar a formação inicial desse súber a partir da divisão de células parenquimáticas corticais subepidérmicas (Fig. 6C).

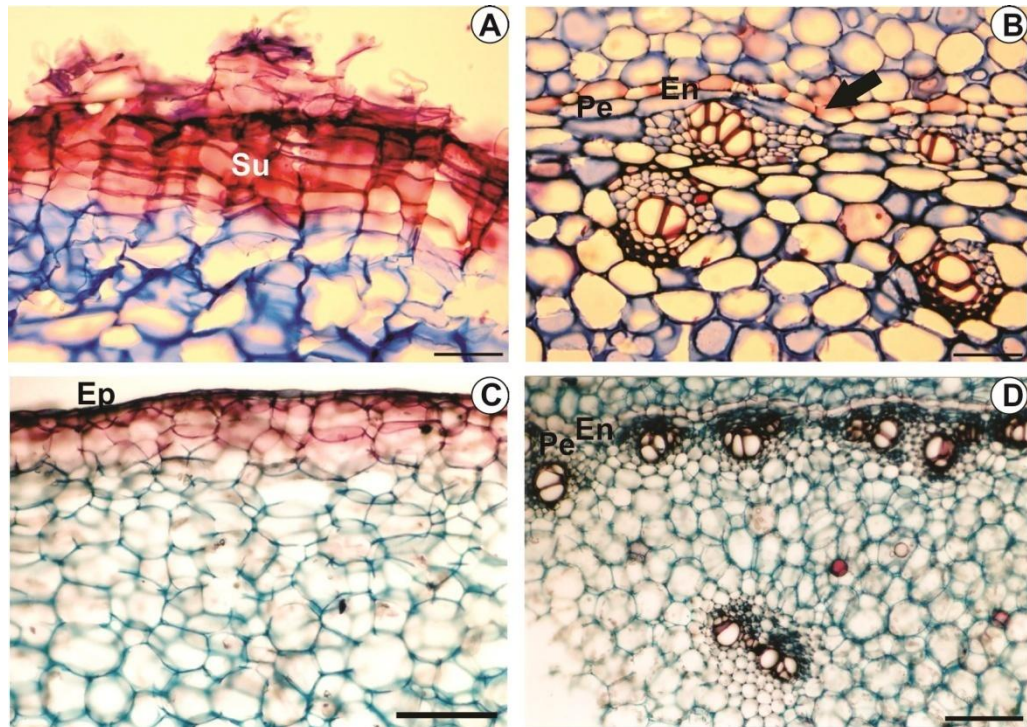
A região cortical do rizoma, em seção transversal, apresenta 10-15 camadas de células parenquimáticas, seguida de estratos que apresentam feixes colaterais fechados dispersos. O número de elementos de protoxilema e de metaxilema por feixe varia nas espécies. A delimitação do córtex é marcada pela presença da endoderme com estrias de Caspary.

O cilindro central apresenta periciclo parenquimático uniestratificado. Uma faixa contínua e estreita de feixes vasculares é observada internamente junto a esse tecido (Fig. 6B e 6D). O sistema vascular é uma estrutura atactostélica formada por feixes colaterais, com disposição oposta. Os feixes do cilindro central são mais desenvolvidos e estão em maior quantidade quando comparados ao córtex. Em *Alpinia purpurata*, os feixes estão envoltos por uma bainha fibrosa, enquanto que, em *Curcuma longa* e *C. zedoaria* ocorre uma bainha parenquimática. Nas demais espécies ocorrem calotas de fibras associadas aos elementos condutores do xilema. O xilema está constituído somente por traqueídes que apresentam espessamento parietal escalariforme (Fig. 7A-D). Traqueídes com apêndices são encontrados em *Zingiber spectabile* (Fig. 7B), *Renealmia chrysotricha* (e Fig. 7C) e *C. longa*.

O teste com lugol confirmou a presença de parênquima amilífero no rizoma de todas as espécies. As espécies de *Hedychium*, *Curcuma* e *Zingiber* apresentam grãos de amido compostos e naviculares (Fig. 16A), enquanto que *Alpinia* apresenta grãos simples e elipsóides. Para *Renealmia* é comum a ocorrência de ambos os tipos descritos acima. Nas cúrcumas, grãos de amido não estão presentes na bainha parenquimática dos feixes (Fig. 16C).

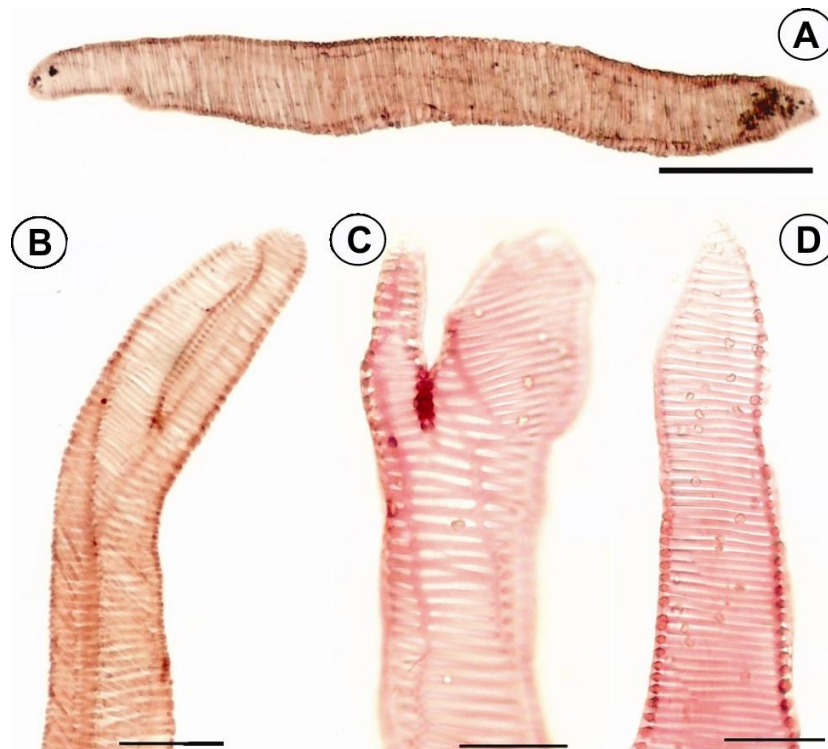
Os idioblastos fenólicos e os oleíferos estão dispersos por todo o córtex (Fig. 16D) e cilindro central, inclusive no parênquima que circunda os elementos condutores do xilema. Em *A. purpurata* as camadas parenquimáticas adjacentes à epiderme contém grande quantidade de idioblastos fenólicos e nas camadas corticais mais internas os grãos de amido são abundantes (Fig. 16F). Cristais prismáticos de oxalato de cálcio foram observados nas células parenquimáticas da maioria dos rizomas (Tab. 3).

Figura 6 - Seções transversais do rizoma.



Legenda: A e B. *Renealmia chrysotricha*. A. Detalhe do súber estratificado. B. Endoderme com estria de Caspary (seta). C e D. *Zingiber officinale*. C. Epiderme. D. Endoderme. (En= endoderme, Ep= epiderme, Pe= periciclo, Su= súber estratificado). A, B= 100  $\mu$ m, C, D= 150  $\mu$ m.

Figura 7 – Traqueídes do rizoma



Legenda: A. *Zingiber officinale*. B. *Z. spectabile*. C e D. *Renealmia chrysotricha*. A= 150  $\mu$ m, B= 100  $\mu$ m, C e D= 40  $\mu$ m.



#### 4.1.3 Caule

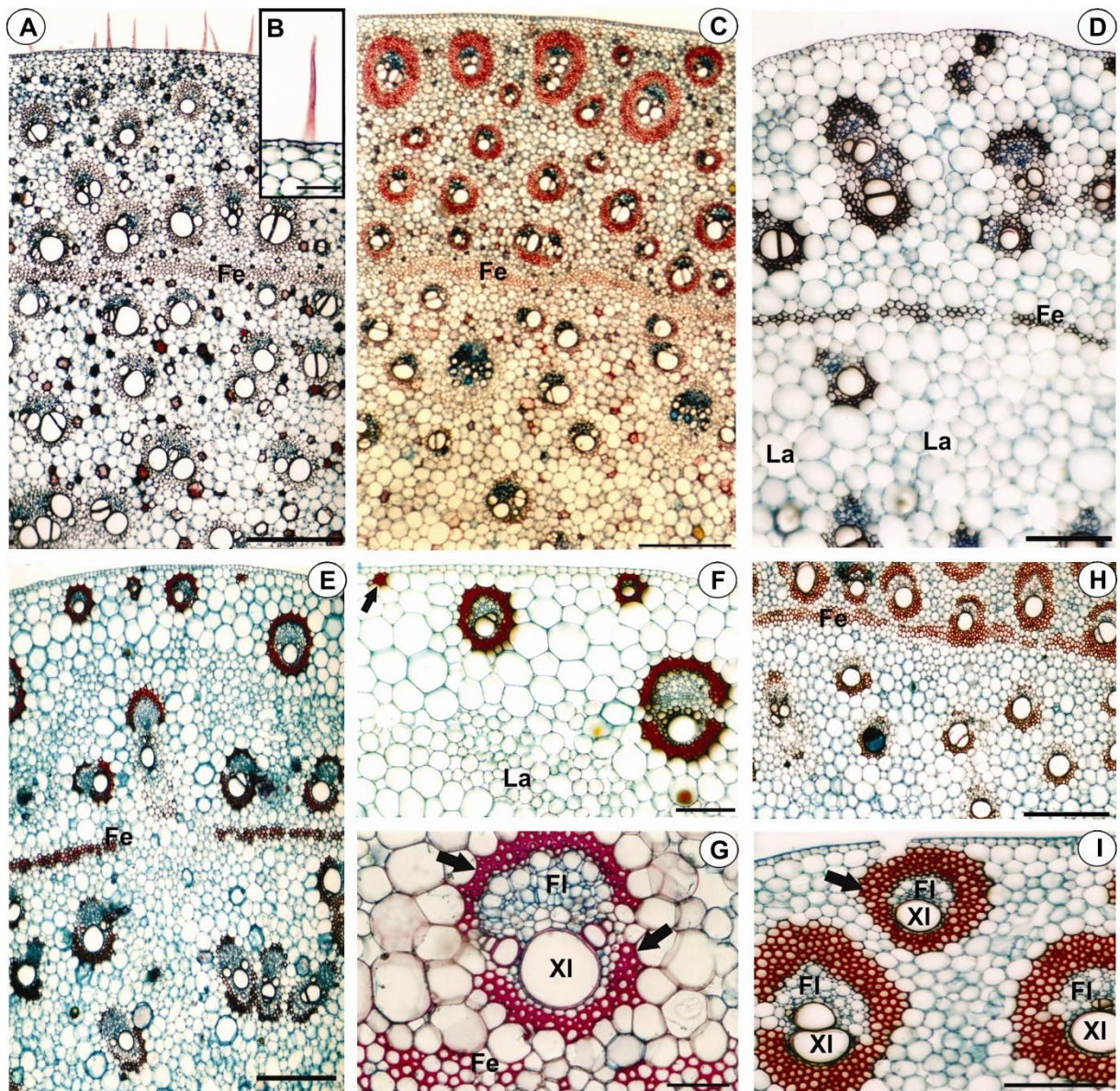
As espécies de *Curcuma* analisadas não apresentam caule aéreo. O caule das demais espécies estudadas, em seção transversal, apresenta uma epiderme uniestratificada com células tabulares e quadrangulares revestidas por uma cutícula delgada. Tricomas tectores unicelulares foram observados no caule jovem de *Alpinia purpurata* (Fig. 8B).

Subjacente à epiderme são observados células parenquimáticas (Fig. 8A e 8C), pequenos grupos isolados de fibras (Fig. 8E) e feixes menores circundados por fibras (Fig. 8E e 8F). Uma faixa esclerenquimática descontínua divide o caule em duas regiões em todas as espécies (Fig. 8A, 8C, 8D, 8E, 8H), sendo que em *Alpinia* e *Zingiber*, essa faixa é frequentemente interrompida por feixes condutores (Fig. 9B).

Na região externa das espécies de *Alpinia* e *Zingiber* ocorrem feixes condutores de calibres distintos portando bainha fibrosa. Em *Hedychium coronarium* e *Renealmia chrysotricha*, essa bainha envolve apenas os feixes menos desenvolvidos adjacentes a epiderme. Na região interna, de todas as espécies estudadas, os feixes apresentam calotas fibrosas junto aos tecidos condutores. Em *Alpinia* e *Zingiber*, feixes internos, em geral, são constituídos por um único elemento de metaxilema. Os feixes condutores são formados por traqueídes (Fig. 15A).

Em *R. chrysotricha* e *H. coronarium* lacunas são frequentes em todo o caule (Fig. 8D e 8F). Cristais poliédricos estão presentes no parênquima do córtex e do cilindro central do caule de todas as espécies. Entretanto, em *Alpinia* os cristais são pequenos e estão em grande quantidade formando uma areia cristalífera, enquanto que, em *Hedychium* são isolados e grandes. Idioblastos fenólicos e oleíferos ocorrem frequentemente em todas as regiões do caule (Tab. 3).

Figura 8 - Seção transversal do caule aéreo de espécies de Zingiberaceae



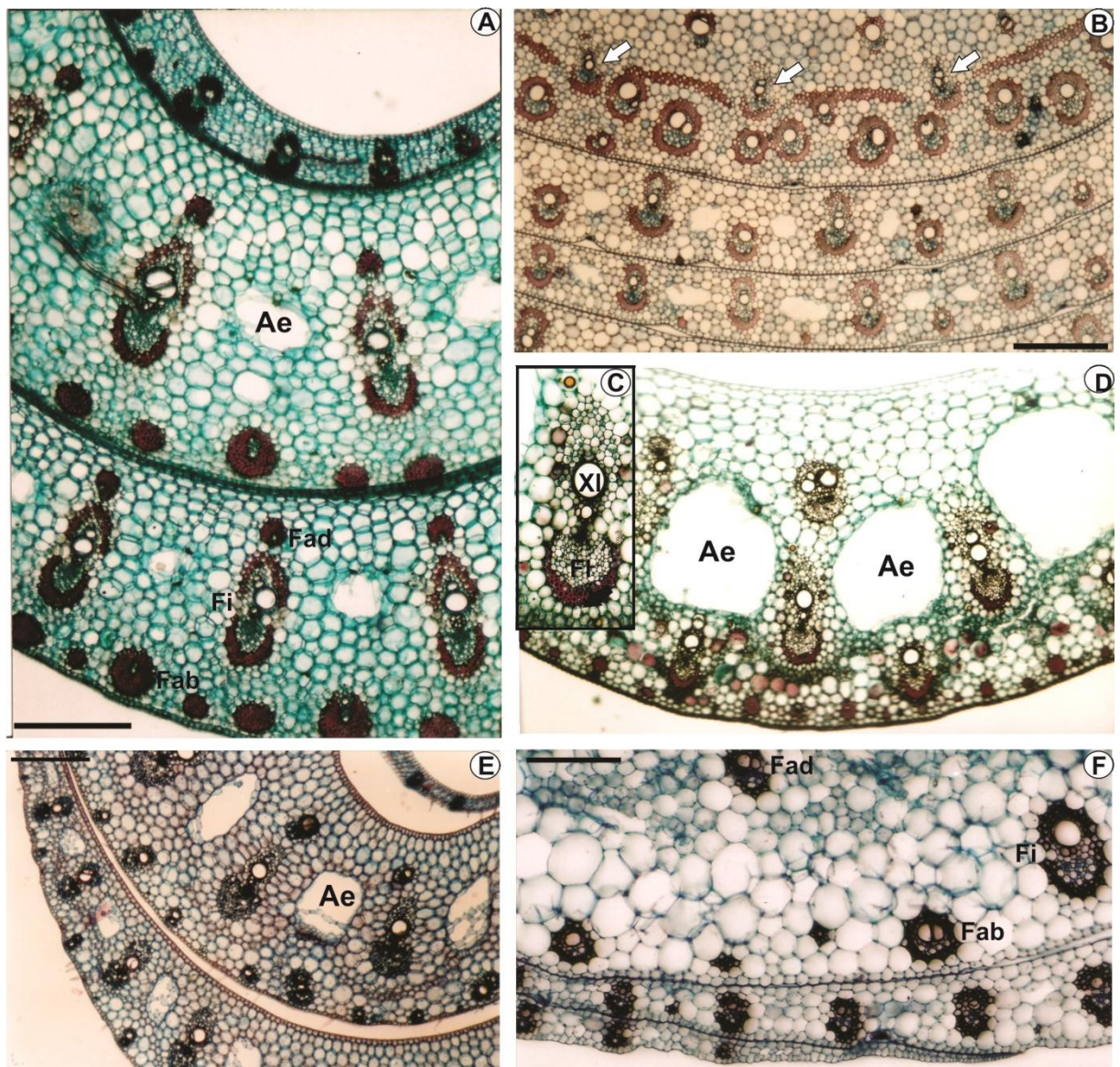
Legenda: A, B e C. *Alpinia purpurata*. A. Vista geral do caule jovem. B. detalhe do tricoma tector unisseriado. C. Vista geral do caule adulto. D. *Renanthera chrysotricha*. E, F e G. *Hedychium coronarium*. E. Detalhe da faixa esclerenquimática separando a região externa da interna. F. Feixes externos de diferentes tamanhos e grupos de fibras isolados subjacentes à epiderme (seta). G. Detalhe do feixe externo próximo à faixa esclerenquimática, calotas fibrosas (setas). H e I. *Zingiber spectabile*. I. Bainha fibrosa envolvendo os feixes da região externa (seta). (Fe= faixa esclerenquimática, Fl= floema, La= lacuna, XI= xilema). A, F e I= 400  $\mu$ m, B= 50  $\mu$ m, C, D, G= 150  $\mu$ m, E e H= 100  $\mu$ m.

#### 4.1.4 Folha – bainha foliar

A bainha foliar de todas as espécies analisadas apresenta contorno côncavo-convexo. A epiderme, em seção transversal, apresenta-se uniestratificada, em ambas as faces, com células tabulares e cutícula delgada. Em *Alpinia zerumbet* e *Zingiber spectabile* ocorrem tricomas tectores unicelulares na epiderme adaxial. O parênquima fundamental apresenta células isodiamétricas, com idioblastos contendo óleo e cristais poliédricos (Fig. 9C, Tab. 3), já as espécies de *Alpinia* apresentam bainha amilácea nessa região (Fig. 16B). Na porção central da bainha, na maioria das espécies, os feixes condutores encontram-se intercalados com aerênquima (Fig. 9A, 9B, 9D e 9E). Esse último é interrompido por diafragma formado por células lobadas e braciiformes. Entre os feixes condutores e as câmaras de ar ocorre um parênquima clorofiliano com células isodiamétricas. Idioblastos fenólicos foram encontrados no parênquima fundamental.

O sistema vascular é formado por feixes colaterais localizados em três regiões distintas: adaxiais, principais e abaxiais (Fig. 9A e 9F). Os feixes voltados à face adaxial são de calibre intermediário e apresentam bainha fibrosa. Os feixes centrais são os de maior calibre e apresentam fibras associadas aos elementos condutores. Os feixes voltados à face abaxial apresentam menor calibre e fibras com paredes muito espessas e lume reduzido. Pequenos grupos de fibras isolados são encontrados junto à epiderme de ambas as faces da bainha foliar.

Figura 9 - Seções transversais da bainha foliar e do caule aéreo de espécies de Zingiberaceae



Legenda: A. Aspecto geral dos feixes e do aerênquima de *Alpinia zerumbet*. B. Caule e bainha foliar de *Zingiber spectabile*, traços foliares interrompendo a faixa esclerenquimática no caule (setas). C. Detalhe do feixe condutor intermediário e da gotícula de óleo (seta) de *Hedychium coronarium*. D. Aspecto geral do aerênquima de *H. coronarium*. E. Aspecto geral do aerênquima de *Curcuma longa*. F. Aspecto geral dos feixes de *Renealmia chrysotricha*. (Ae= aerênquima, Fab= feixe abaxial, Fad= feixe adaxial, Fe= faixa esclerenquimática, Fi= feixe intermediário, Fl= floema, Xi= xilema). A, D e E= 400  $\mu$ m, B e F= 150  $\mu$ m, C= 75  $\mu$ m.

#### 4.1.5 Folha – lâmina foliar

A epiderme, em seção transversal, apresenta-se unisseriada com células tabulares e cutícula delgada em ambas as faces. Tricomas tectores unicelulares foram observados na região intercostal e na nervura principal de *Curcuma longa* e *Renealmia chrysotricha*.

As folhas de todas as espécies estudadas são anfiestomáticas. Na região intercostal, de todas as espécies, ocorre um estrato subepidérmico em ambas as faces da lâmina foliar, com exceção das espécies de *Curcuma*.

A estrutura foliar apresenta organização dorsiventral, formada por um ou dois estratos bem definidos de parênquima paliádico e de dois a quatro estratos de parênquima lacunoso (Fig. 10B, 10E, 11B, 11E, 12B, 12E, 13B e 13E). Os feixes vasculares de *Alpinia zerumbet* e *Zingiber officinale* são envoltos por bainha parenquimática com extensão de natureza esclerenquimática até o estrato subepidérmico ou a epiderme (Fig. 10B e 12B). Idioblastos oleíferos, fenólicos e cristalíferos são encontrados na região intercostal. Os cristais de oxalato de cálcio, de um modo geral, são poliédricos e se apresentam como areias cristalinas até unidades maiores por célula (Fig. 16G). Em *Z. zpectabile*, idioblastos cristalíferos foram encontrados no parênquima lacunoso (Fig. 16E).

As células epidérmicas na região da nervura mediana, de todas as espécies estudadas em seção transversal, apresentam tamanho reduzido e formato circular, em ambas às faces. Adjacente à epiderme adaxial encontra-se um parênquima fundamental com células isodiamétricas seguido de células alongadas, com exceção de *Zingiber*. Junto à face abaxial, o clorênquima circunda os feixes de maior calibre delimitando os canais de ar. Em *Alpinia*, o aerênquima se encontra reduzido ou ausente (Fig. 10A e 10D).

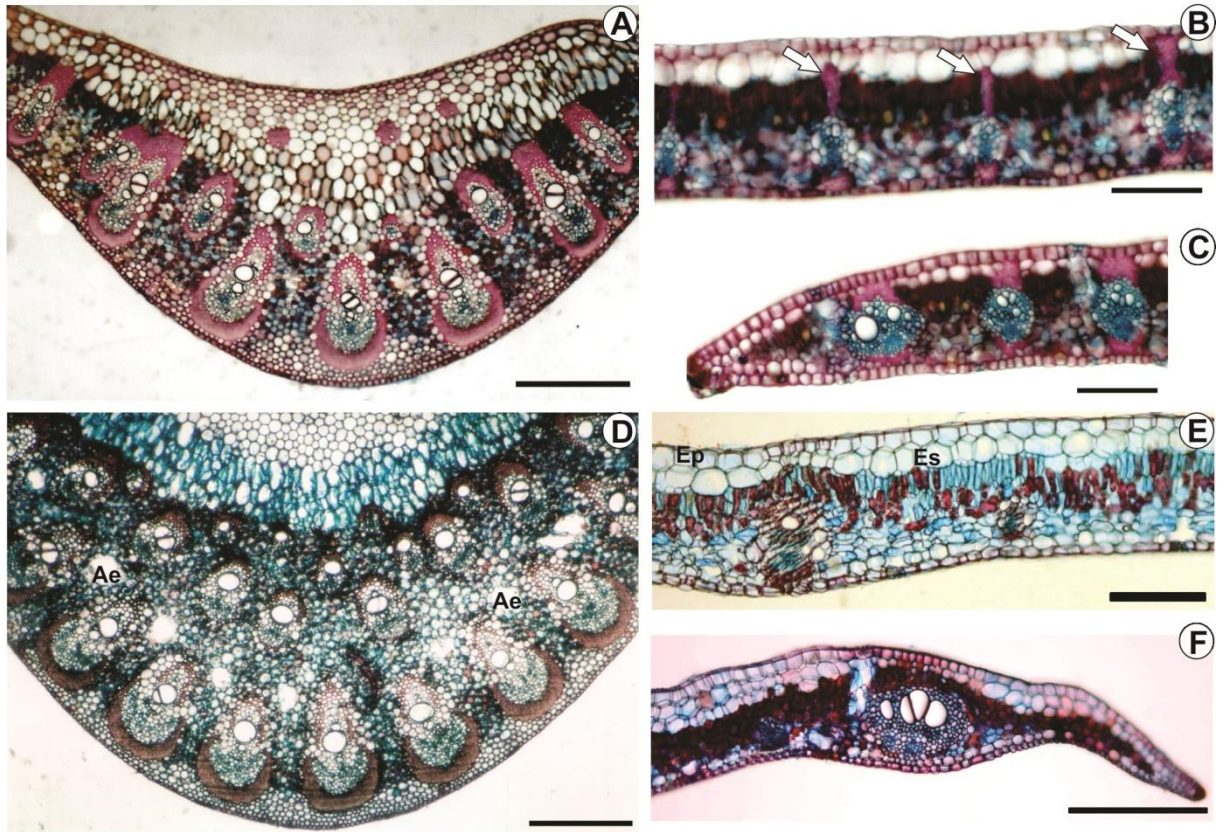
Na região da nervura mediana são encontrados feixes vasculares colaterais de diferentes calibres. Os de pequeno porte localizam-se próximos à epiderme abaxial e estão envoltos por bainha fibrosa (Fig. 11A, 11D, 13A, 13D, 14D e 14E), exceto nas espécies de *Zingiber* e *Alpinia* (Fig. 10A, 10D, 12A, 12D, 14A, 14B e 14F). Feixes de maior calibre se encontram intercalados com o aerênquima em todas as espécies nessa região. Esses últimos feixes apresentam calota de fibras com paredes altamente lignificadas junto ao floema e próximo ao xilema ocorrem de uma a três camadas de fibras pouco lignificadas, com lúmen grande.

Idioblastos mucilaginosos estavam presentes próximos aos feixes vasculares da nervura mediana em *A. zerumbet* (Fig. 16G). Foram observadas, somente nas espécies de *Alpinia*, a presença de bainha cristalífera.

O bordo, em seção transversal, mostra-se fletido em direção à face abaxial (Fig. 10F, 11C, 11F, 12C, 12F, 13F), em todas as espécies, com exceção de *C. longa* que apresenta bordo levemente fletido (Fig. 13C) e *A. zerumbet* que possui bordo reto (Fig. 10C). As células epidérmicas têm forma isodiamétrica ou tabular, nas espécies de *Curcuma* e em *R. chrysotricha* essas células se apresentam justapostas em ambas às faces resultando em um bordo mais afilado. O estrato subepidérmico prolonga-se nessa região, em ambas as faces e apresenta parede celular espessada e celulósica. O tecido vascular está representado por um feixe de grande porte com elementos do metaxilema organizados em arcos e apenas *H. coronarium* apresenta três feixes fusionados (Fig. 11F).

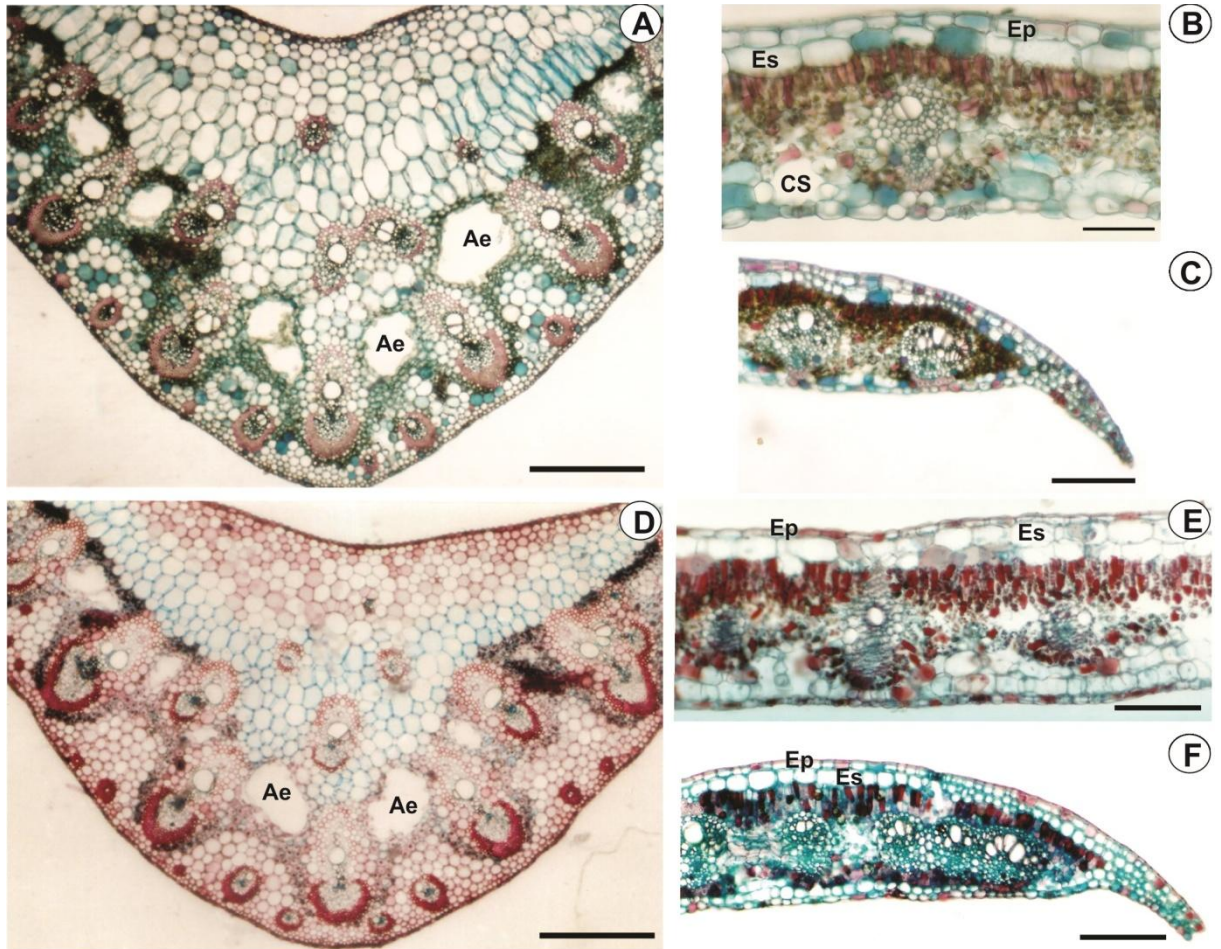
Os elementos traqueais das folhas estudadas são representados apenas por traqueídes, e essas apresentam espessamento parietal escalariforme ou anelado (Fig. 15B-E).

Figura 10 - Seções transversais da lâmina foliar



Legenda: A, B e C. *Alpinia zerumbet*. D, E e F. *Alpinia purpurata*. A, D. Nervura principal. B, E. Região dorsiventral. C, F. Bordo. (Ae= aerênquima, Ep= epiderme, Es= estrato subepidérmico). A e D=400  $\mu$ m, F=100  $\mu$ m, B, C e E=150  $\mu$ m.

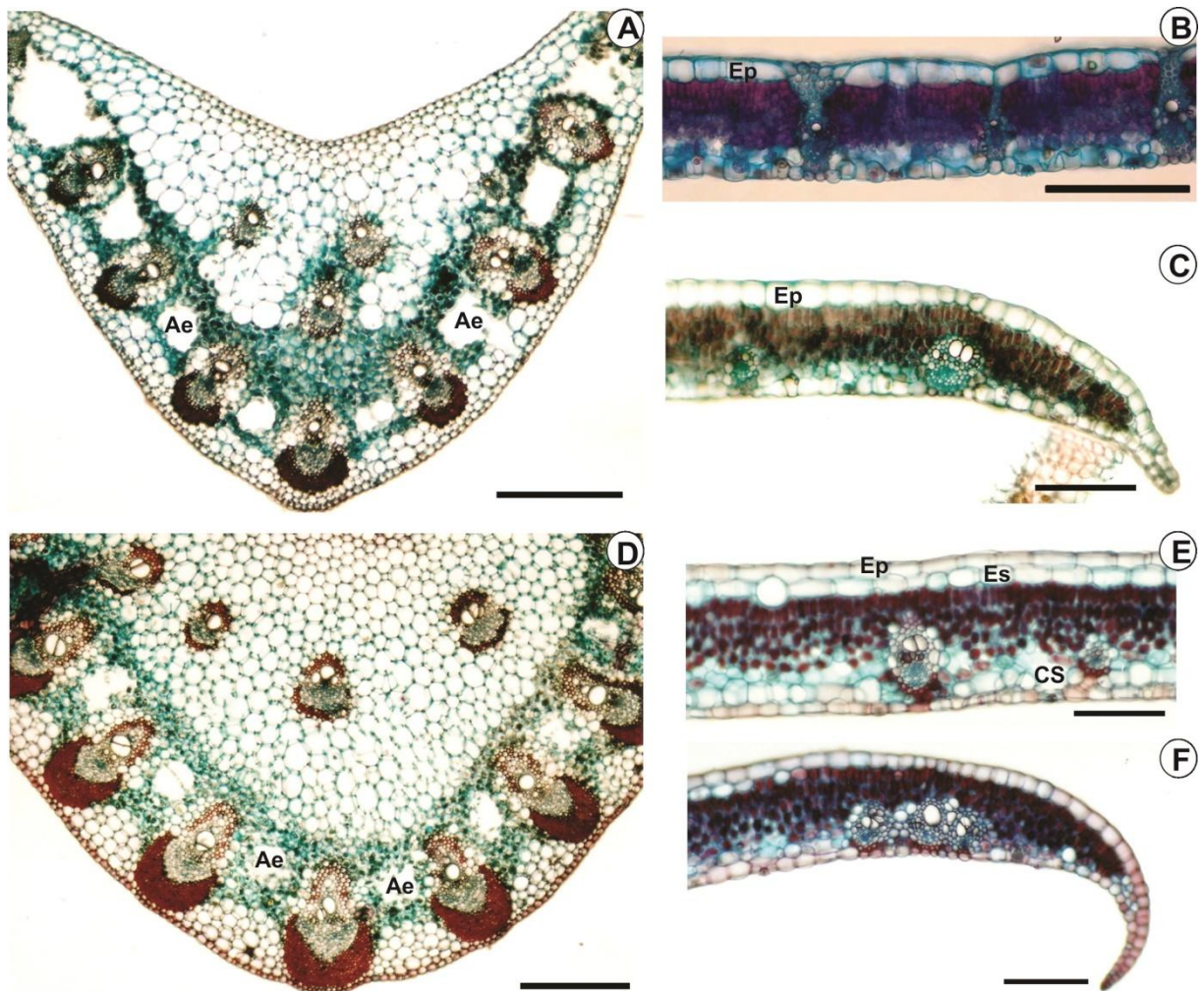
Figura 11 - Seções transversais da lâmina foliar



Legenda: A, B e C. *Renalmia chrysotricha*. D, E e F. *Hedychium coronarium*. A, D. Nervura principal. B, E. Região dorsiventral. C, F. Bordo. (Ae= aerênquima, CS= câmara substomática, Ep= epiderme, Es= estrato subepidérmico). A e D=400  $\mu$ m, B=100  $\mu$ m, C, E e F=150  $\mu$ m.

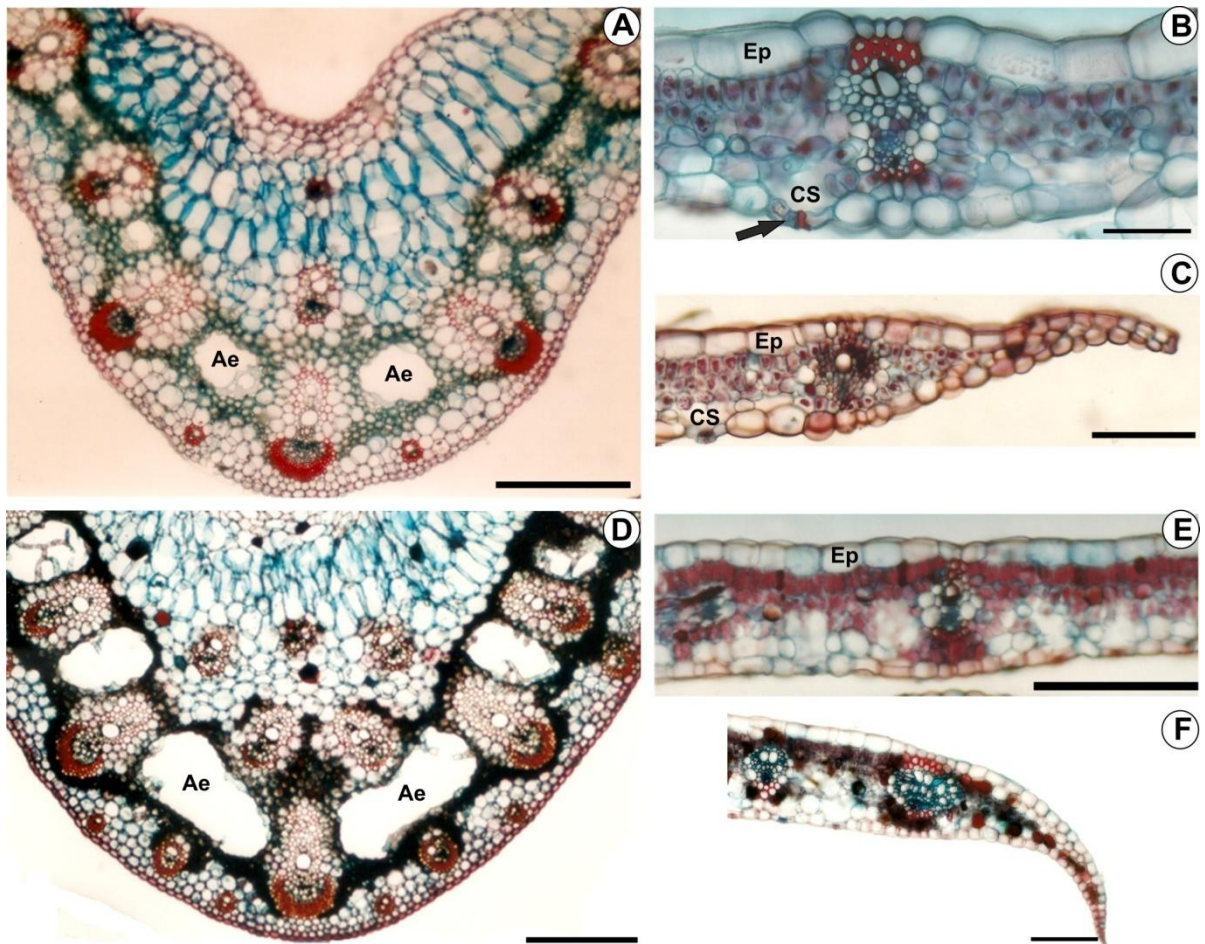


Figura 12 - Seções transversais da lâmina foliar



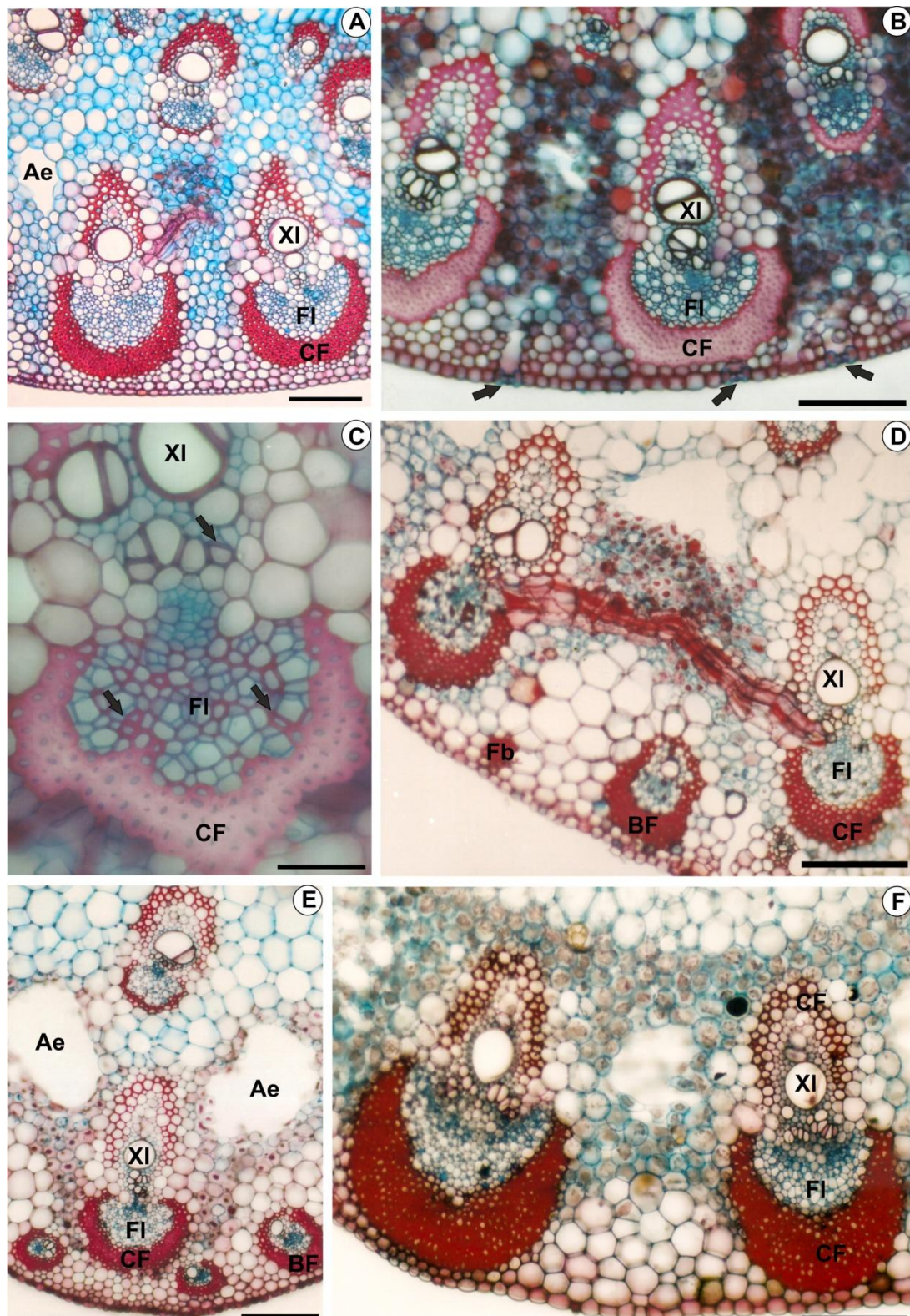
Legenda: A, B e C. *Zingiber officinale*. D, E e F. *Zingiber spectabile*. A e D. Nervura principal. B e E. Região dorsiventral. C e F. Bordo acentuadamente fletido. (Ae= aerênquima, CS= câmara subestomática, Ep= epiderme, Es= estrato subepidérmico). A e D=400  $\mu\text{m}$ , B=250  $\mu\text{m}$ , C, E e F=150  $\mu\text{m}$ .

Figura 13 - Seções transversais da lâmina foliar



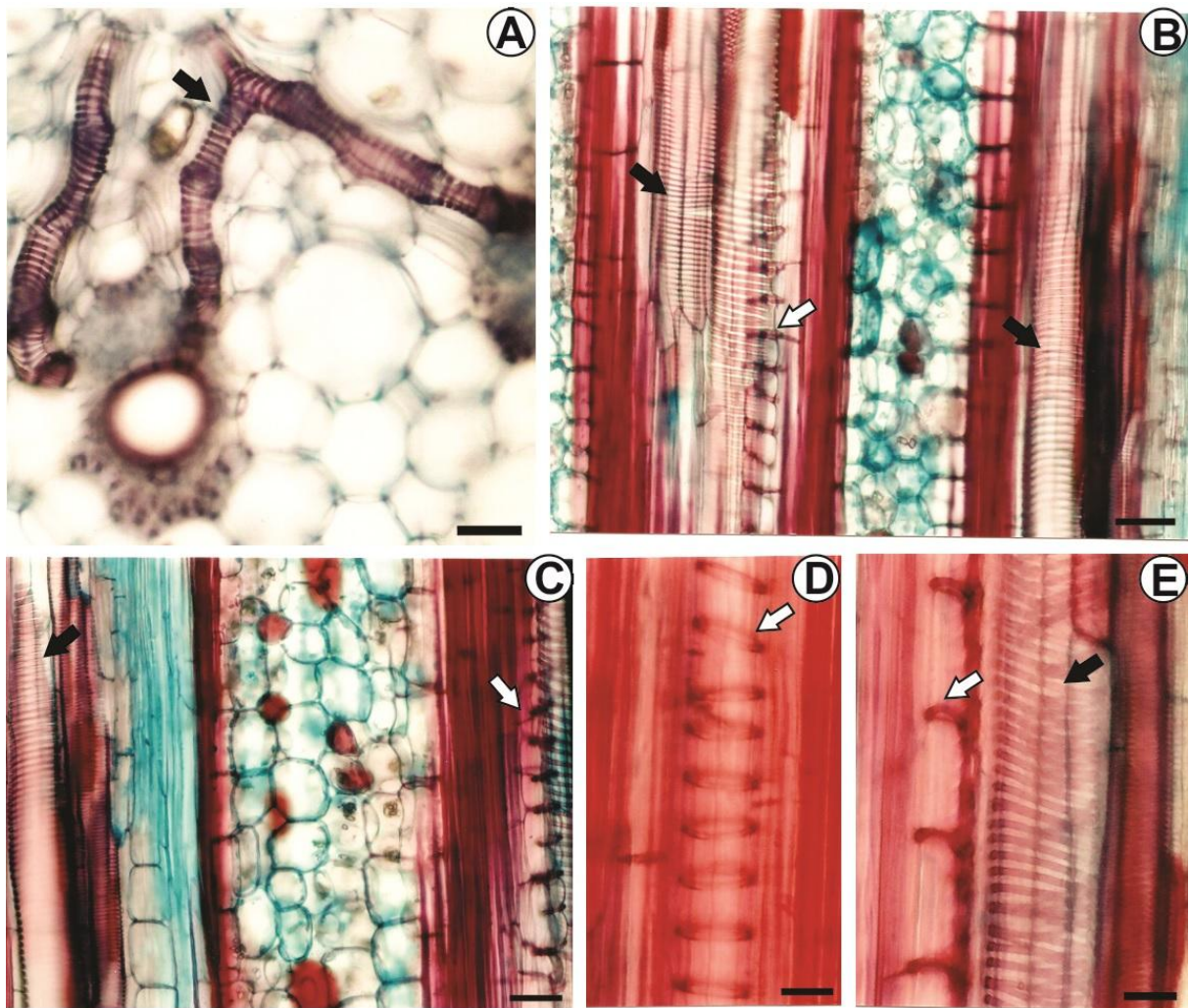
Legenda: A, B e C. *Curcuma longa*. D, E e F. *Curcuma zedoaria*. A e D. Nervura principal. B e E. Região dorsiventral. B. Destaque para o estômato na face abaxial (seta). C. Bordo reto. F. Bordo acentuadamente fletido. (Ae= aerênquima, CS= câmara subestomática, Ep= epiderme). A e D= 400  $\mu$ m, B= 100  $\mu$ m, C, E e F= 150  $\mu$ m.

Figura 14 - Seções transversais da nervura mediana de espécies de Zingiberaceae



Legenda: A. *Alpinia purpurata*. B e C. *Alpinia zerumbet*. B. Estômatos na face adaxial (seta). C. Detalhe do feixe condutor, células lignificadas no floema (seta). D. *Renealmia chrysotricha*. E. *Curcuma longa*. F. *Zingiber spectabile*. (Ae= aerênquima, BF= bainha fibrosa, CF= calota de fibras, Fb= fibras, FI= floema, XI= aerênquima) A, B, D, E e F= 150 µm. C= 40 µm

Figura 15 - Seções longitudinais do caule e da folha de espécies de Zingiberaceae



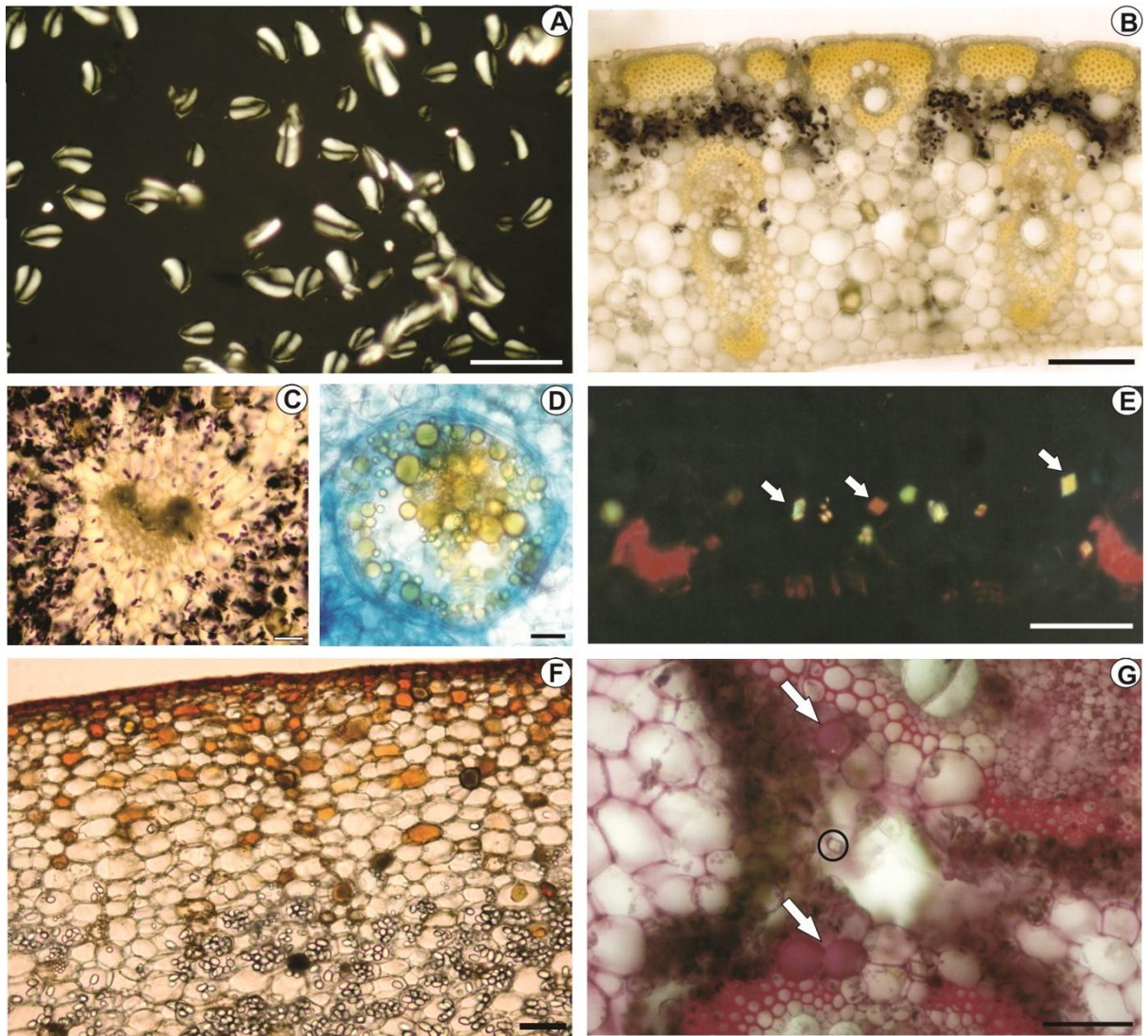
Legenda: A. caule de *R. chrysotricha*. B, C, D e E. Seções longitudinais das folhas. B. *A. purpurata*. C. *Z. spectabile*. D. *H. coronarium*. E. *C. zedoaria*. Traqueídes com espessamento parietal escalariforme – seta preta. Traqueídes com espessamento parietal anelado – seta branca. A e B= 50  $\mu\text{m}$ . C, D e E= 20  $\mu\text{m}$ .

Tabela 3 - Resultado dos testes histoquímicos para as espécies estudadas.

Espécies	Órgão	Óleo	Substância fenólica	Amido	Cristal de oxalato de cálcio	Mucilagem
<i>Alpinia purpurata</i>	Raiz	+	+	-	-	-
	Rizoma	+	+	+	+	-
	Caule aéreo	+	+	+	+	-
	Bainha	-	+	+	+	-
	Lâmina foliar	+	+	-	+	-
<i>A. zerumbet</i>	Raiz	+	+	-	-	-
	Rizoma	+	+	+	+	-
	Caule aéreo	+	+	+	+	-
	Bainha	+	+	+	+	-
	Lâmina foliar	+	+	-	+	+
<i>Renealmia chrysotricha</i>	Raiz	+	+	+	-	+
	Rizoma	+	+	+	+	-
	Caule aéreo	+	+	+	+	-
	Bainha	+	+	+	+	-
	Lâmina foliar	+	+	-	+	-
<i>Curcuma longa</i>	Raiz	+	+	-	-	-
	Rizoma	+	+	+	+	-
	Bainha	+	+	-	-	-
	Lâmina foliar	+	-	+	-	-
<i>C. zedoaria</i>	Raiz	+	+	+	-	-
	Rizoma	+	+	+	-	+
	Bainha	+	+	+	-	-
	Lâmina foliar	+	+	+	-	-
<i>Hedychium coronarium</i>	Raiz	+	+	+	+	-
	Rizoma	-	+	+	+	-
	Caule aéreo	+	+	+	+	-
	Bainha	+	+	-	-	-
<i>Zingiber officinale</i>	Lâmina foliar	+	+	-	-	-
	Raiz	+	+	-	-	-
	Rizoma	+	+	+	+	-
	Caule aéreo	+	+	+	+	-
	Bainha	+	+	-	+	-
<i>Z. spectabile</i>	Lâmina foliar	+	+	-	+	-
	Raiz	+	+	+	-	-
	Rizoma	+	+	+	+	-
	Caule aéreo	+	+	+	+	-
	Bainha	+	+	-	+	-
Lâmina foliar	+	+	-	+	-	

Símbolos: (+) presença; (-) ausência.

Figura 16 - Conteúdos celulares identificados em espécies de Zingiberaceae



Legenda: A. Grãos de amido do rizoma de *Curcuma zedoaria* observados sob luz polarizada. B. Amido evidenciado pelo teste com lugol na bainha foliar de *Alpinia zerumbet*. C. Bainha parenquimática no feixe do rizoma de *C. longa*. D. Célula oleífera no rizoma de *C. longa*. E. Idioblastos cristalíferos no mesofilo de *Zingiber spectabile*, sob luz polarizada (seta). F. Rizoma de *A. purpurata*, regiões mais externas com muitos idioblastos fenólicos evidenciado pelo dicromato de potássio e região mais interna com acúmulo de amido. G. Detalhe da região entre os feixes vasculares da nervura mediana de *A. zerumbet*, cristal poliédrico de oxalato de cálcio (O) e idioblastos com mucilagem evidenciados pelo vermelho de rutênio (setas). A, E e G= 100  $\mu$ m, B = 150  $\mu$ m, C e F = 75  $\mu$ m, D = 20  $\mu$ m.

#### 4.2 Implicações filogenéticas dos elementos de vaso em três tribos de Zingiberaceae

Elementos de vaso do metaxilema das raízes de 28 espécies pertencentes às tribos Alpinieae, Zingibereae e Globbeae foram avaliados de acordo com os seguintes caracteres: tipo, inclinação e número de barras da placa de perfuração e tipo de espessamento parietal (Tab. 4, 5 e 6).

Placa de perfuração e espessamento parietal escalariforme ocorrem em todas as espécies estudadas (Tab. 4, 5 e 6).

Na tribo Alpinieae foram avaliados os gêneros, *Aframomum*, *Alpinia*, *Amomum*, *Elettariopsis*, *Etilingera* e *Renealmia*, totalizando 11 espécies. A maioria delas apresenta elementos de vaso com espessamento parietal parcialmente pontoadado (Fig. 17B), com exceção de *Alpinia nigra*, *Aframomum angustifolium* e *Renealmia chrysotricha*. O tipo de espessamento reticulado ocorre apenas nas duas últimas. Nessa tribo, as placas de perfuração são simples (Fig. 17A, 17C, 17D, 19A) e escalariformes, geralmente com poucas barras ( $\leq 10$ ) (Fig. 17E, 17F, 19B). Em um mesmo elemento podem ocorrer os dois tipos de placas. A figura 17G mostra a junção de duas placas de perfuração simples e a figura 17H a junção de duas placas de perfuração escalariforme.

Placas de perfuração simples com disposição oblíquas estão presentes no gênero *Alpinia* (Fig 17A), com exceção de *Alpinia zerumbet* e *Renealmia chrysotricha* que apresenta apenas placas de perfuração escalariforme. Em *Etilingera fulgens* é frequente a presença de placa de perfuração simples, porém quando ocorre placa de perfuração escalariforme em uma das extremidades a outra parede terminal apresenta placa simples.

*Renealmia chrysotricha* e *Elettariopsis curtisii* têm em comum a presença de placas de perfuração acentuadamente oblíquas com mais de 40 barras (Tab. 4).

Na tribo Zingibereae foram avaliadas 14 espécies pertencentes aos gêneros *Curcuma*, *Hedychium* e *Zingiber*. Os elementos de vaso dessas espécies são longos e estreitos, em sua grande maioria, apresentando placas de perfuração escalariforme, acentuadamente oblíquas, com exceção de *Z. wrayii* (Fig. 18A-E, 18G, 18H, 19C-F).

No gênero *Zingiber* foram encontrados espessamento parietal do tipo reticulado (Fig. 18B) e espiralado (Fig. 18C), enquanto que em *Hedychium* e *Curcuma*, foi observado apenas o primeiro tipo.

Elementos de vaso com placas de perfuração portando um grande número de barras (>40) foram encontrados em *Hedychium coronarium* (Fig. 18G, 18H) nas espécies de *Zingiber*.

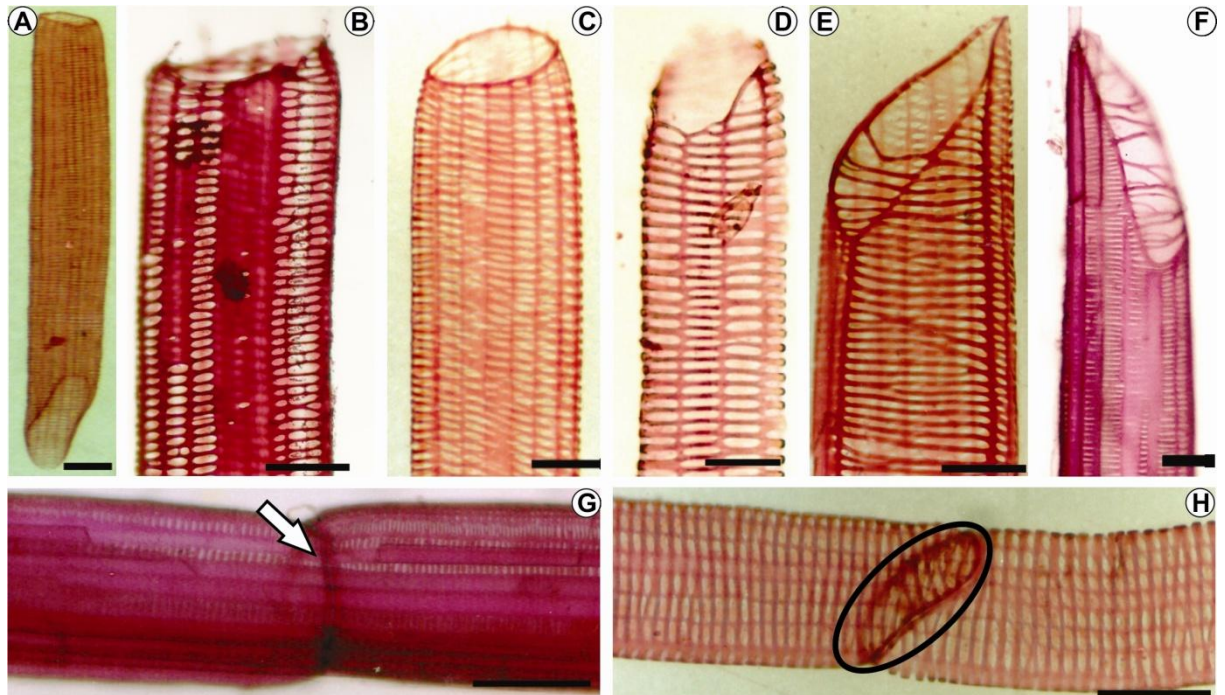
Traqueídes foram encontrados em *E. curtisii*, na tribo Alpinieae e em *H. borneensis* e *Z. cassumunar*, na tribo Zingibereae.

Dados quantitativos do diâmetro e do comprimento dos elementos de vaso de duas espécies da tribo Alpinieae e de três espécies da tribo Zingibereae estão listados na tabela 7. Com relação ao diâmetro, *A. pupurata* e *H. coronarium* apresentaram médias significativamente iguais, assim como *R. chrysotricha* e *Z. spectabile*. As mensurações de comprimento indicaram que a média de *R. chrysotricha* é estatisticamente igual as de *C. longa* e *H. coronarium*. Os resultados encontrados não permitem correlação entre as espécies das tribos estudadas.

Três espécies do gênero *Globba*, da tribo Globbeae, foram analisadas. Essas espécies diferem das demais estudadas, pois não se enquadram na descrição de ervas gigantes proposta para Zingiberaceae, apresentando aproximadamente 40 centímetros de altura. Os elementos traqueais desse gênero são constituídos por dois tipos celulares: traqueídes e elementos de vaso. Os elementos de vaso possuem placa de perfuração e espessamento parietal escalariformes. Em *G. curtisii* e *G. sherwoodiana*, esses elementos são longos e estreitos com placas de perfuração bem inclinada portando muitas barras (> 20), enquanto que em *G. schomburgkii* também foram encontrados elementos de vaso curtos, com placas de perfuração levemente oblíquas e portando número menor de barras (10-20).

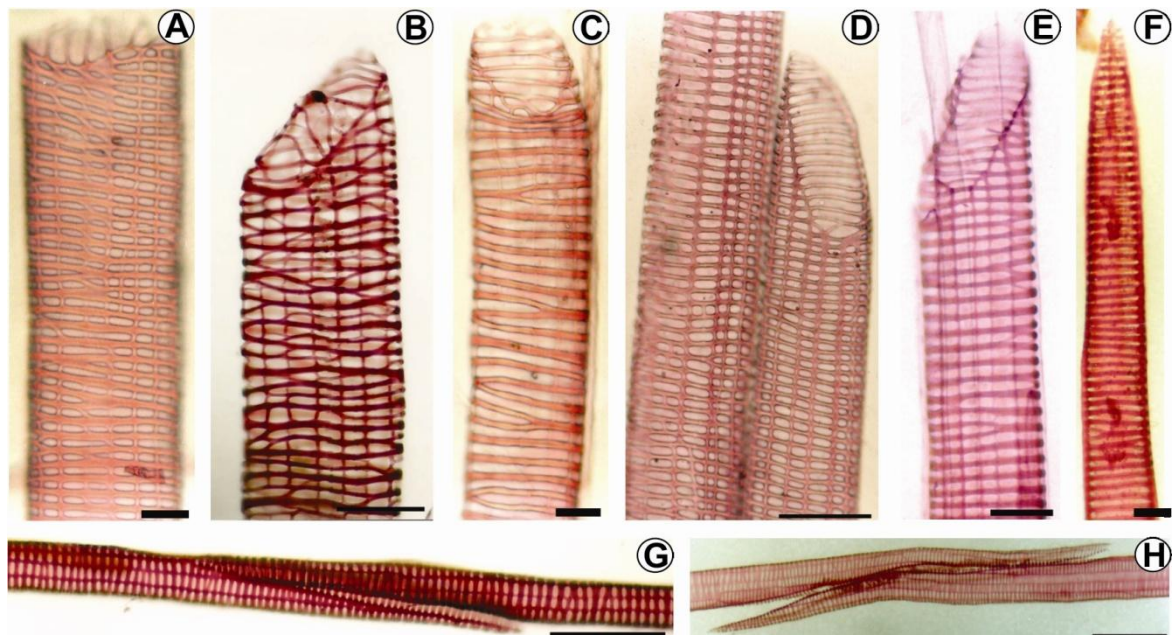


Figura 17 - Elementos de vaso da tribo Alpinieae. A e H. *Alpinia nigra*. B. *Alpinia zerumbet*



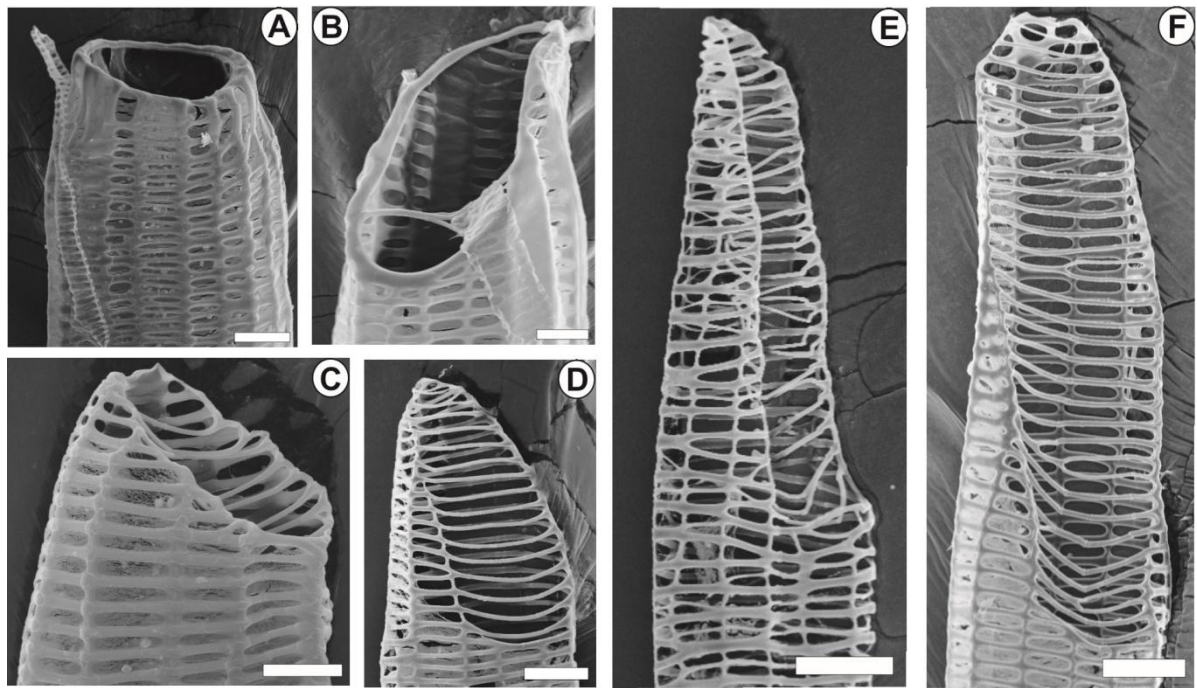
Legenda: A e H. *Alpinia nigra*. B. *Alpinia zerumbet*. C e E. *Amomum delbatum*. D, F e G. *Etlingera fulgens*. G. Junção de placas de perfuração transversais (→). H. Junção de placas de perfuração escalariformes levemente inclinadas. A = 200  $\mu\text{m}$ , B, E e H= 100  $\mu\text{m}$ , C e F=75  $\mu\text{m}$ , D= 50  $\mu\text{m}$ , G= 150  $\mu\text{m}$ .

Figura 18 - Elementos traqueais da tribo Zingibereae



Legenda: A, B, C, D, E, G e H. Elementos de vaso. F. Traquéide. A. *Curcuma comosa* – espessamento parietal escalariforme. B. *Zingiber officinale* – espessamento parietal reticulado. C e D. *Z. wrayii*. C. espessamento parietal espiralado. E. *Hedychium thyriforme*. F e H. *H. greenei*. G. *H. coronarium*. G e H. Junção de placas de perfuração escalariformes e acentuadamente oblíquas de elementos de vaso distintos. A, B, D e G= 100  $\mu\text{m}$ , C= 75  $\mu\text{m}$ , E e F= 50  $\mu\text{m}$ , H=150  $\mu\text{m}$ .

Figura 19 - Detalhes dos diferentes tipos de placas de perfuração em MEV



Legenda: A. Placa de perfuração simples. B, C, D, E e F Placa de perfuração escalariforme. A e B. *Alpinia purpurata*. C. *Curcuma zedoaria*. D e F. *Zingiber spectabile*. E. *Z. officinale*. A, B e C= 10  $\mu$ m, D e F= 20  $\mu$ m e E= 50  $\mu$ m.

Tabela 4 – Caracterização dos elementos de vaso presentes nas raízes das espécies pertencentes à tribo Alpinieae.

	<i>Alpinia</i>					<i>Etilingera</i>		<i>Amomum</i>	<i>Aframomum</i>	<i>Elettariopsis</i>	<i>Renealmia</i>
	purp	zeru	eleg	gala	nigr	fulg	elat	delb	angu	curt	chry
<b>Espessamento parietal</b>											
escalariforme	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Reticulado	-	-	-	-	-	-	-	-	+	-	+
parcialmente pontoado	+	+	+	+	-	+	+	+	-	+	-
Espiralado	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<b>Placa de perfuração</b>											
escalariforme	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Simples	+	-	+	+	+	+	+	+	+	+	-
simples/escalariforme	+	-	+	+	+	+	+	+	+	+	-
<b>Disposição das placas de perfuração</b>											
transversal/transversal	+	-	+	+	+	+	-	+	+	-	-
transversal/levemente oblíqua	+	+	+	+	+	+	-	+	+	-	+
transversal/acentualmente oblíqua	+	-	+	+	+	+	-	+	+	-	-
levemente oblíqua/ levemente oblíqua	-	+	-	+	+	+	+	-	-	+	-
levemente oblíqua/acent oblíqua	-	+	-	+	-	-	+	-	-	+	+
acentualmente oblíqua/acent oblíqua	-	+	-	-	-	-	+	-	-	+	+
<b>Número de barras</b>											
≤ 10	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
10-20	+	+	+	+	+	+	+	-	-	+	+
20-40	-	-	-	-	-	-	+	-	-	+	+
≥ 40	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	+

Legenda: purp (*purpurata*), zeru (*zerumbet*), eleg (*elegans*), gala (*galanga*), nigr (*nigra*), fulg (*fulgens*), elat (*elator*), delb (*delbatum*), angu (*angustifolium*), curt (*curtisii*), chry (*chrysotricha*). Símbolos: (+) presença; (-) ausência.

Tabela 5 - Caracterização dos elementos de vaso presentes nas raízes das espécies pertencentes à tribo Zingibereae.

	<i>Curcuma</i>					<i>Hedychium</i>			<i>Zingiber</i>					
	como	zedo	long	peti	dome	coro	gree	thyr	spec	offi	cass	cora	miog	wray
<b>Espessamento parietal</b>														
Escalariforme	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Reticulado	-	-	-	-	-	+	-	-	-	+	+	-	-	-
parcialmente pontoado	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Espiralado	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	+	+
<b>Placa de perfuração</b>														
Escalariforme	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Simples	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
simples/escalariforme	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<b>Disposição das placas de perfuração</b>														
transversal/transversal	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
transversal/levemente oblíqua	-	+	+	-	-	+	-	-	+	+	-	-	-	-
transversal/acentuadamente oblíqua	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
levemente oblíqua/ levemente oblíqua	+	+	+	-	+	+	+	+	+	+	-	-	+	+
levemente oblíqua/acent oblíqua	+	-	-	+	+	+	+	+	-	-	+	-	+	+
acentuadamente oblíqua/acent oblíqua	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	-
<b>Número de barras</b>														
≤ 10	+	+	+	+	+	+	-	-	+	+	+	+	+	+
10-20	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
20-40	+	-	-	+	+	+	+	+	+	+	+	+	-	-
≥ 40	-	-	-	-	-	+	+	+	+	+	-	-	-	-

Legenda: como (*comosa*), zedo (*zedoaria*), long (*longa*), peti (*petiolata*), dome (*domestica*), coro (*coronarum*), gree (*greenei*), thyr (*thyrsiforme*), spec (*spectabile*), offi (*officinale*), cass (*cassumunar*), cora (*coralinum*), miog (*mioga*), wray (*wrayii*). Símbolos: (+) presença; (-) ausência.

Tabela 6 - Caracterização dos elementos de vaso presentes nas raízes das espécies pertencentes à tribo Globbeae.

	<i>Globba</i>		
	<i>curtisii</i>	<i>schomburgkii</i>	<i>Sherwoodiana</i>
<b>Espessamento parietal</b>			
Escalariforme	+	+	+
Reticulado	-	-	-
parcialmente pontoado	-	-	-
Espiralado	-	-	-
<b>Placa de perfuração</b>			
Escalariforme	+	+	+
Simple	-	-	-
simples/escalariforme	-	-	-
<b>Disposição das placas de perfuração</b>			
Transversal/transversal	-	-	-
Transversal/levemente oblíqua	-	-	-
Transversal/acentuadamente oblíqua	-	-	-
levemente oblíqua/ levemente oblíqua	+	+	+
levemente oblíqua/acent oblíqua	+	+	+
acentuadamente oblíqua/acent oblíqua	+	+	+
<b>Número de barras</b>			
≤ 10	-	+	-
10-20	+	+	+
20-40	+	+	+
≥ 40	+	+	+

Símbolos: (+) presença; (-) ausência.

Tabela 7 – Dados quantitativos dos elementos de vaso de cinco espécies de Zingiberaceae.

Espécies	Diâmetro ( $\mu\text{m}$ )				Comprimento ( $\mu\text{m}$ )			
	MIN	MED	MAX	DP	MIN	MED	MAX	DP
<i>A. purpurata</i>	98,37	125,72a	139,88	10,21	509,43	795,20a	1389,99	222,60
<i>R. chrysotricha</i>	62,44	89,39b	111,2	11,81	1017,19	1889,03bc	2639,96	469,15
<i>C. longa</i>	164,29	194,86c	224,67	14,22	923,07	1616,85c	2772,88	447,17
<i>Z. spectabile</i>	72,81	90,57b	112,29	9,63	2523,23	3196,30d	4338,96	566,41
<i>H. coronarium</i>	110,31	136,20a	151,64	10,91	1658,53	2217,02b	2741,36	287,06

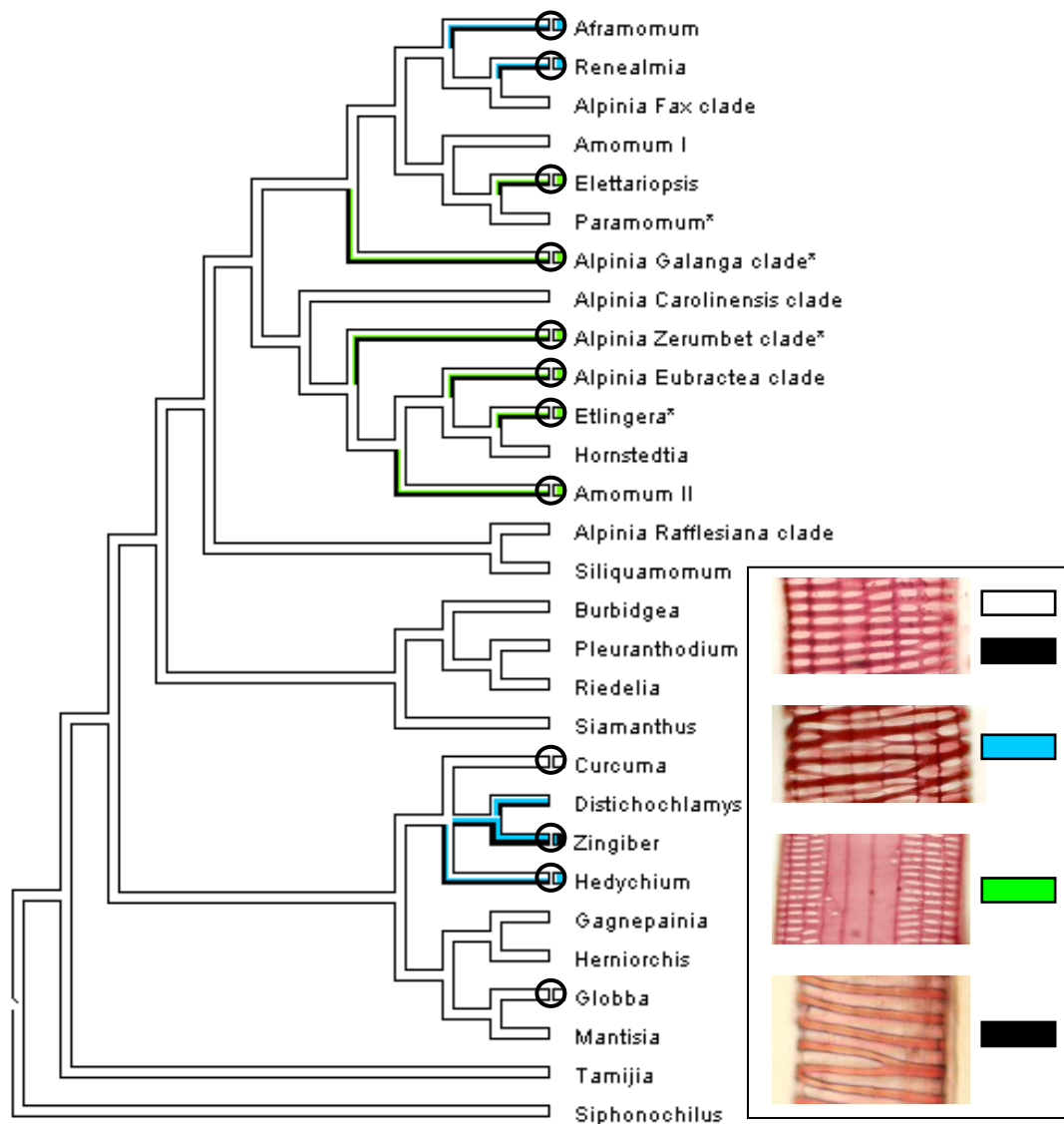
Legenda: MIN (mínimo), MED (média), MAX (máximo), DP (desvio-padrão). Letras diferentes ao lado das médias indicam diferença significativa para 95% de confiança pelo Teste t (R).

O mapeamento dos quatro caracteres considerados significativos (Tab. 4, 5 e 6) são apresentados nas figuras 20 a 23 sobre as árvores filogenéticas.

Todas as espécies analisadas nesse estudo são marcadas na árvore com um quadrado e foram destacados na figura 20 (O). Os demais ramos apresentam colorações atribuídas pelo próprio programa. Por exemplo, na figura 20, os elementos de vaso do clado *Alpinia fax* não foram estudados. Entretanto o programa sugere, de acordo com a máxima parcimônia, que esse táxon apresente espessamento parietal do tipo parcialmente pontado, ilustrado pela coloração branca.

Neste trabalho foi observado em todas as espécies o espessamento parietal do tipo escalariforme. Somente nas espécies de *Zingiber* (Zingibereae) foi encontrado também o tipo reticulado e o espiralado. O espessamento parcialmente pontado foi encontrado em vários gêneros e clados da tribo Alpinieae, com exceção de *Renealmia* e *Aframomum* (Fig. 20, Tab. 4, 5 e 6).

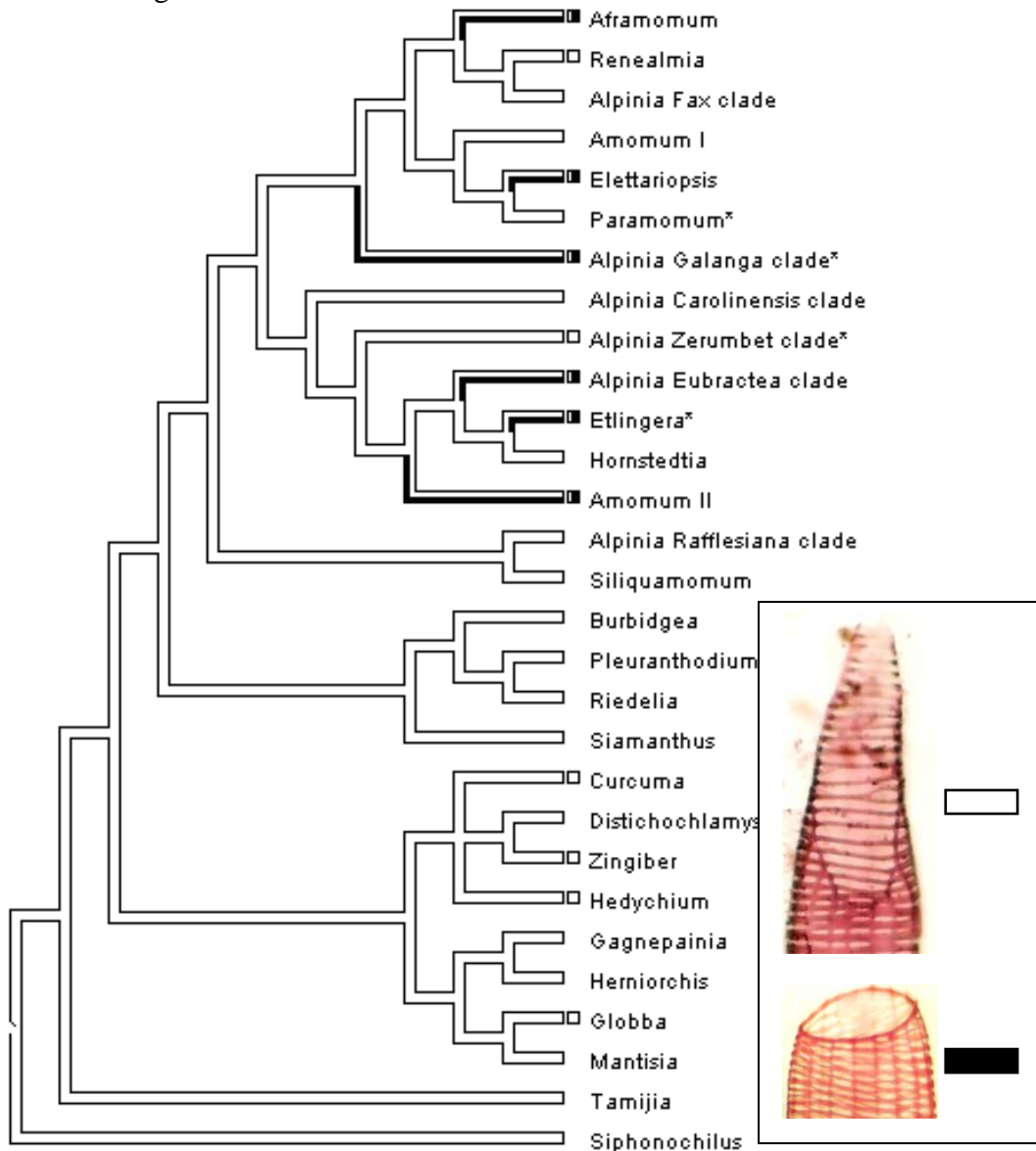
Figura 20 - Mapeamento do tipo de espessamento parietal dos elementos de vaso sobre a árvore filogenética de Kress et al. 2005



Legenda: coloração branca – espessamento parietal escalariforme, coloração preta - espessamento parietal escalariforme e espiralado, coloração azul - espessamento parietal reticulado e coloração verde - espessamento parietal parcialmente pontado.

Todas as espécies analisadas apresentaram placas de perfuração escalariforme (Fig. 21, Tab. 4, 5 e 6). Nos representantes da tribo Alpinieae também foram encontradas placas de perfuração simples, com exceção de *Renealmia chrysotricha* e *A. zerumbet* (clado Alpinia Zerumbet) (Fig. 21).

Figura 21 - Mapeamento do tipo de placa de perfuração dos elementos de vaso sobre a árvore filogenética de Kress et al. 2005.

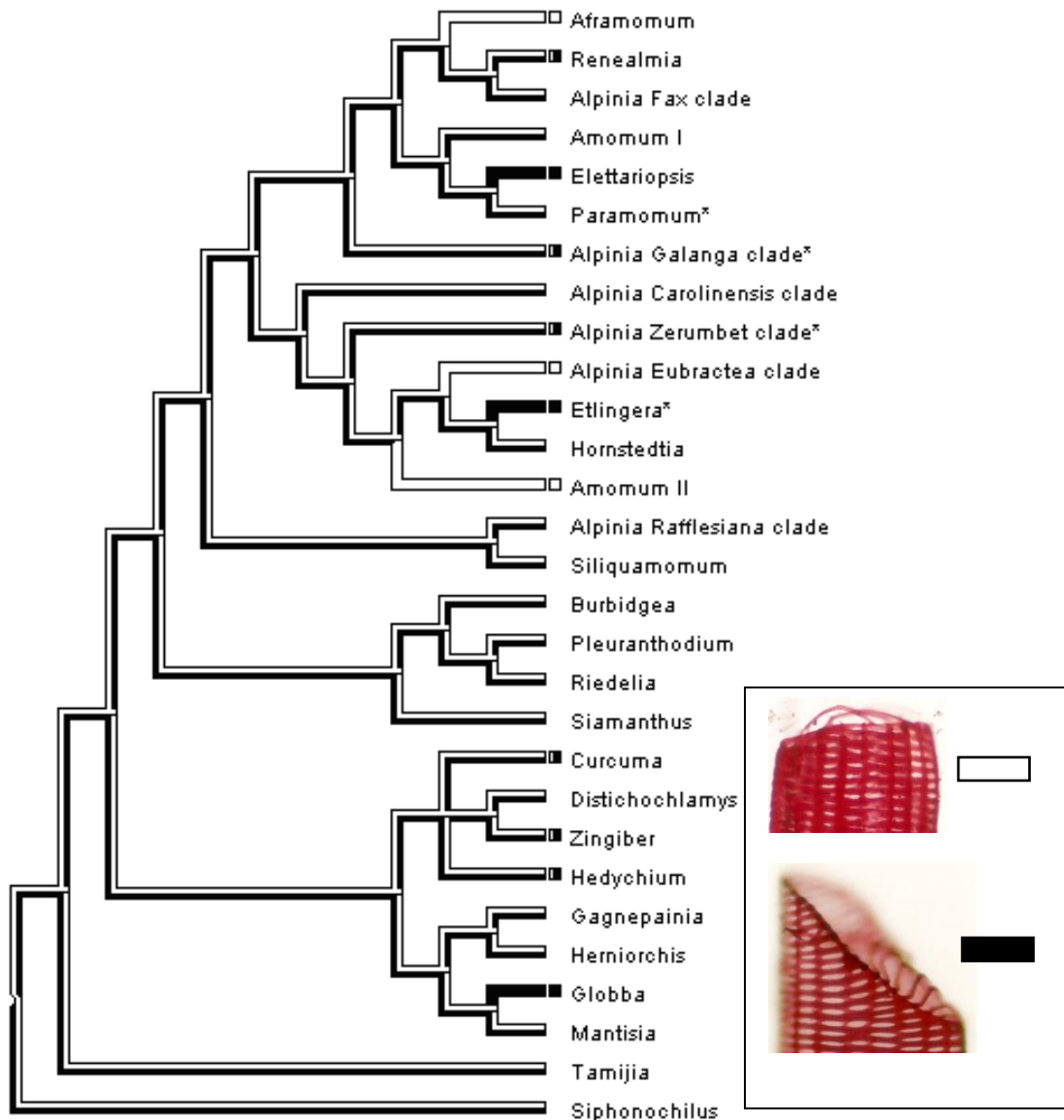


Legenda: coloração branca – placa de perfuração escalariforme e coloração preta – placa de perfuração simples.

A disposição das placas de perfuração variou bastante entre as espécies estudadas (Tab. 4, 5 e 6). Para a construção da matriz (APÊNDICE) foram selecionados os estados de caráter mais significativos, sendo eles: 1) elementos de vaso com pelo menos uma parede terminal transversal e 2) elementos de vaso com ambas as paredes terminais oblíquas. Em *Amomum* e *Aframomum* foi observado apenas o tipo 1 e em *Elettariopsis* apenas o tipo 2, nos demais táxons estudados ambos os tipos foram encontrados (Fig. 22).



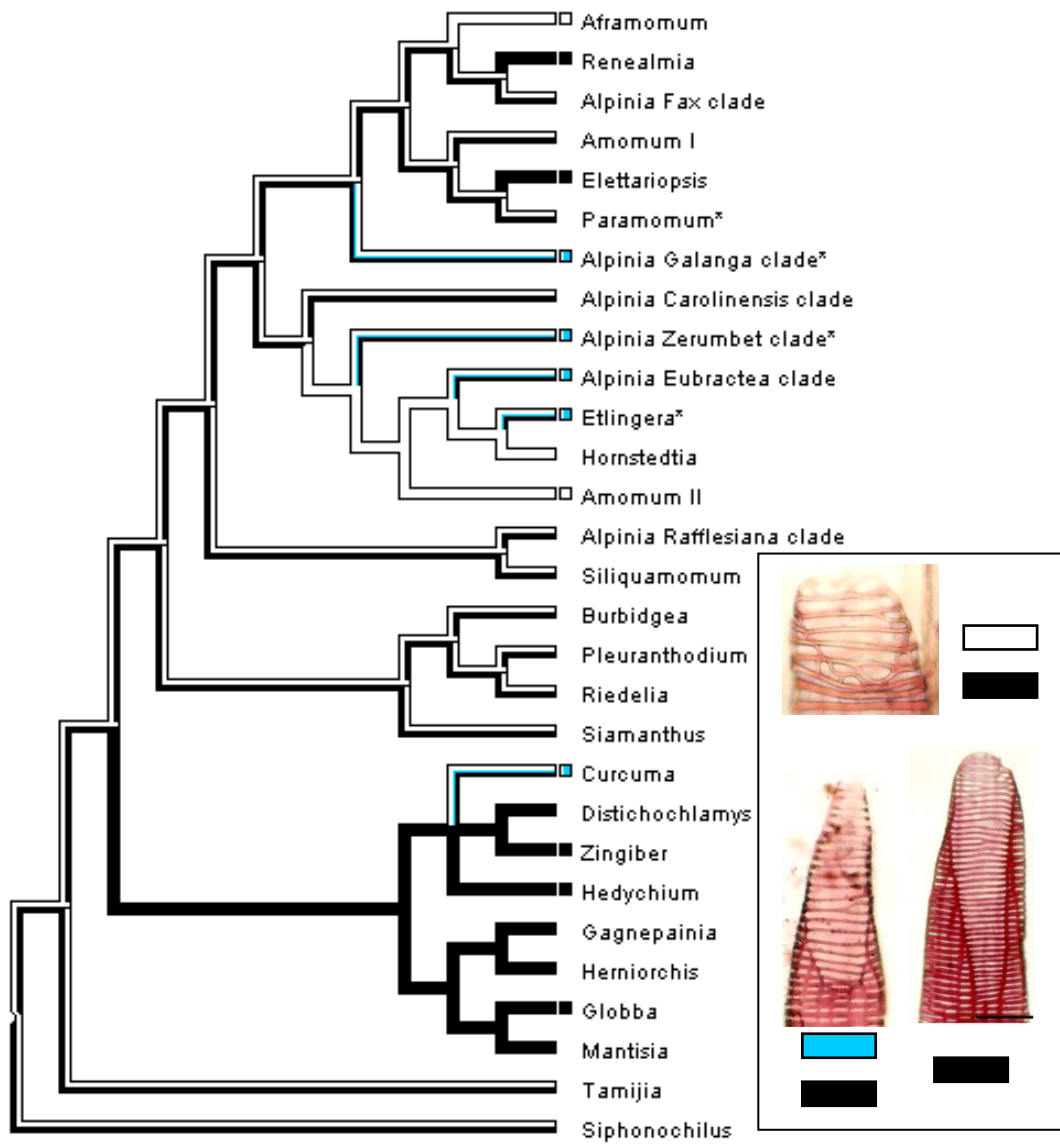
Figura 22 - Mapeamento da disposição das placas de perfuração dos elementos de vaso sobre a árvore filogenética de Kress et al. 2005.



Legenda: coloração branca – disposição transversal em pelo menos uma das paredes terminais e coloração preta – disposição oblíqua em ambas as paredes terminais.

Em Alpinieae, *Aframomum* e *Amomum* se diferem dos demais gêneros por apresentarem apenas placas de perfuração com menos de 10 barras. *Renealmia*, *Elettariopsis*, *Zingiber*, *Hedychium* e *Globba* apresentam número de barras bastante variado, incluindo os três intervalos selecionados ( $\leq 10$ , 10-40 e  $\geq 40$ ) (Fig. 23, Tab. 4, 5 e 6).

Figura 23 - Mapeamento do número de barras da placa de perfuração dos elementos de vaso sobre a árvore filogenética de Kress et al. 2005.



Legenda: coloração branca:  $\leq 10$ , coloração preta:  $\geq 10$ , 10-40 e  $\geq 40$ , coloração azul: 10-40.

## 5 DISCUSSÃO

### 5.1 Caracterização anatômica

Desde Tomlinson (1956, 1962, 1969) alguns caracteres anatômicos foram atribuídos como diagnósticos para a família Zingiberaceae, a partir dos estudos dos órgãos vegetativos. Nas folhas é comum a organização dorsiventral, a presença de tricomas unicelulares, de hipoderme unisseriada, de canais de ar formando um arco único e de idioblastos silicosos. O sistema vascular das raízes é formado somente por elementos de vaso e o floema, raramente, se estende para as regiões mais internas do cilindro central. Células oleíferas são freqüentes em todos os órgãos. Poucas variações foram encontradas nas espécies estudadas relativas aos caracteres descritos por esse autor.

Nas raízes estudadas, o tecido de revestimento é constituído por uma epiderme uniestratificada persistente. Tomlinson (1956) enfatiza a baixa ocorrência da periderme nesse órgão. A exoderme, em todas as espécies, apresenta características similares às descritas pelo autor, como camadas de células compactas com paredes finas e suberizadas.

Tomlinson (1962) observou o aerênquima em todas as famílias da ordem Zingiberales e atribuiu a sua presença ao fato do tecido fundamental ser geralmente escasso em um órgão grande, que se desenvolve rapidamente. Neste caso, o aerênquima teria função de sustentação. Simão e Scatena (2001), ao estudar duas espécies de *Heliconia*, sugerem que a presença desses canais de ar pode estar relacionada com o crescimento de raízes em solo com alta disponibilidade de água. Nas espécies estudadas o aerênquima foi observado na região cortical interna. Em *Curcuma*, o aerênquima é bem desenvolvido e em *Zingiber* foram observadas pequenas lacunas, sendo que essas espécies são oriundas do mesmo sítio de coleta.

Tomlinson (1956, 1969) havia citado para Zingiberaceae que o limite interno do córtex é demarcado por uma camada endodermoide levemente suberificada, normalmente de paredes finas. Nas espécies estudadas foi observada na endoderme a presença de células com espessamento em "U" e poucas células de passagem.

O rizoma de grande parte das espécies estudadas apresenta súber estratificado que, segundo Tomlinson (1956), é resultante da suberificação das células corticais externas. Esse autor cita que esse processo também pode estar associado a divisões celulares provenientes de um meristema lateral superficial, constituindo assim uma "periderme". Apesar de Tomlinson considerar pouco frequente essa diferenciação nos membros de Zingiberaceae, esse processo

inicial de formação foi observado em *Z. officinale*, visto que nessa espécie a epiderme é persistente, como descrito por Santos e Silva (1997). Este tecido de revestimento já foi descrito para algumas espécies de Zingiberaceae, Bromeliaceae e Cyperaceae (TOMLINSON, 1969; SEGECIN e SCATENA, 2004; MENEZES et al., 2005; RODRIGUES e ESTELITA, 2009; MARTINS et al., 2010).

Subjacente ao periciclo do rizoma foi observado uma faixa contínua de feixes vasculares constituídos por traqueídes, em *Renealmia chrysotricha*, *Curcuma longa* e *Zingiber spectabile* esse tipo celular apresenta apêndices. Yoshizawa et al. (1985) observaram nas plantas lenhosas que a compressão pode levar ao crescimento intrusivo das traqueídes, e conseqüentemente, a formação de apêndice. Como visto nesse trabalho, outros estudos com órgãos suculentos mostram que estes não apresentam elementos de vaso e que tem como função primordial o estoque de substâncias (CARLQUIST e SCHNEIDER, 2007).

Em todas as espécies estudadas, com exceção das cúrcumas, foi observado o desenvolvimento de caule aéreo, confirmando as descrições de Tomlinson (1962) e Dahlgren e Clifford (1982). Segundo Tomlinson (1969), esse órgão é constituído de córtex e cilindro central, usualmente, separados por um cilindro fibroso estreito. Neste trabalho, essas regiões foram referidas como interna e externa, respectivamente, devido a ausência de estudos ontogenéticos.

Tricomas tectores unicelulares foram encontrados, apenas, nas lâminas foliares de *C. longa* e *R. chrysotricha*. Segundo Metcalfe e Chalk (1989), tricomas são mais comuns em dicotiledôneas do que em monocotiledôneas. Para Zingiberaceae, a presença de tricomas na nervura mediana e no bordo foliar da lâmina foliar já tinha sido citada por Tomlinson (1962) e Albuquerque e Neves (2004).

As folhas de todas as espécies estudadas são anfiestomáticas, o mesmo foi visto para outras espécies de Zingiberaceae (TOMLINSON, 1956, 1969; ALBUQUERQUE e NEVES, 2004; BOEGER et al., 2007; MARTINS et al., 2010; NOBERTO-IRMÃO et al., 2013).

A organização dorsiventral da folha incluindo, geralmente, 1-3 camadas de parênquima paliçádico compacto foi descrita por diversos autores para Zingiberaceae (TOMLINSON, 1956, 1969; ALBUQUERQUE e NEVES, 2004; BOEGER et al., 2007 e MARTINS et al., 2010). Nas espécies estudadas, o parênquima é formado por 1-2 camadas, seguido de uma camada de transição e 2-4 estratos de parênquima lacunoso.

Na nervura mediana da maioria das espécies estudadas ocorre um parênquima com características estruturais semelhantes à de um parênquima aquífero. A presença desse tipo de parênquima foi observado por Scatena et al. (2004) na região mediana de folhas de

*Syngonanthus* sect. *Eulepis* (Eriocaulaceae). A esse tecido estão associadas as funções de armazenamento de água e de sustentação (SCATENA e SCREMIN-DIAS, 2006).

Henslow (1911) sugeriu que as monocotiledôneas teriam um ancestral aquático, visto que é comum nesse grupo a ocorrência de canais aeríferos na folha. Tomlinson (1962) relatou que a presença de aerênquima formando um único arco abaxial, geralmente alternado com os feixes vasculares, é um caráter derivado dentro da ordem Scitamineae e está presente na família Zingiberaceae, o mesmo consta nesse trabalho.

Idioblastos oleíferos foram identificados em todos os órgãos das espécies estudadas, com exceção da bainha foliar de *A. purpurata* e do rizoma de *H. coronarium*. Resultado distinto foi encontrado no rizoma dessa última espécie, que apresentou células oleíferas na região cortical (MARTINS et al., 2010). Gottlieb e Salatino (1987) citaram que as células oleíferas têm um valor filogenético. A presença de óleo foi utilizada como caráter diagnóstico da família Zingiberaceae (TOMLINSON, 1962, 1969; PUGIALLI, 1991). O acúmulo de óleo, anatomicamente, teria ocorrido de forma diferenciada segundo uma sequência evolutiva, a partir de: células oleíferas, cavidade ou canal e tricoma glandular. Tomlinson (1969) referiu as células como sendo abundantes no parênquima fundamental de todos os órgãos e também comuns na epiderme foliar. Esses idioblastos apresentam parede suberificada e mais espessa no rizoma de *C. longa*.

Em Zingiberaceae os grãos de amido são abundantes no rizoma e nas raízes tuberosas e comuns no caule e em todo o eixo foliar na região próxima aos feixes (TOMLINSON, 1969). Nas espécies estudadas foram observados grãos de amido em todos os rizomas e caules aéreos, já na raiz e na folha a sua ocorrência é facultativa. As formas dos grãos de amido referidas por Czaja (1979) para algumas famílias de monocotiledôneas, inclusive Zingiberaceae, assemelham-se aquelas encontrados para os rizomas (simples – elipsóides e compostos – naviculares).

Tomlinson (1956, 1969) cita que é comum a ocorrência de tanino nas células do parênquima fundamental de todos os órgãos em representantes de Zingiberaceae, tal como observado nas espécies estudadas. Tais substâncias conferem proteção à planta contra herbívoros, putrefação e desidratação e apresentam diversas atividades biológicas, como ação antimicrobiana, antiinflamatória, cicatrizante e carcinogênica (FAHN, 1985; HASLAM, 1996).

Cristais prismáticos de oxalato de cálcio estão presentes em todos os órgãos, com exceção da raiz, nas espécies de Alpinieae. São raros nas espécies de *Curcuma*, ausente nas folhas de *H. coronarium* e nas raízes de *Zingiber*. Martins et al. (2010) e Noberto-Irmão et al.

(2013) observaram a presença desses cristais no parênquima clorofiliano de folhas de *H. coronarium* e no mesofilo de *C. zedoaria*, respectivamente. A esses cristais podem ser atribuídas as seguintes funções, como, suporte mecânico, detoxicação de metais e regulação do cálcio (METCALFE e CHALK, 1989; FRANCESCHI e NAKATA, 2005).

Células de mucilagem foram encontradas apenas no rizoma de *C. zedoaria*, na raiz de *R. chrysotricha* e na região da nervura mediana na lâmina foliar de *A. zerumbet*. Tomlinson (1962) observa a presença de idioblastos de mucilagem apenas para a família Cannaceae, enquanto que Albuquerque e Neves (2004) citam a ocorrência desses idioblastos no parênquima paliçádico e lacunoso da região intercostal de folhas de *A. zerumbet*.

Os caracteres comuns nas oito espécies estudadas e relevantes para a família foram estrutura foliar dorsiventral, folhas anfiestomáticas, camada subepidérmica unisseriada e hipertrofiada. A presença de idioblastos taniníferos, oleíferos e cristalíferos.

## 5.2 Implicações filogenéticas dos elementos de vaso em três tribos de Zingiberaceae

Os resultados obtidos a partir da análise dos órgãos vegetativos mostram que os elementos de vaso estão presentes, apenas, nas raízes das espécies estudadas. Trabalhos desenvolvidos com espécies de monocotiledôneas já indicavam a restrição desses elementos a esse órgão, mostrando que não ocorre uma progressão contínua e especialização do xilema nos órgãos aéreos (CHEADLE e KOSAKAI, 1982; CARLQUIST e SCHNEIDER, 1998, THORSCH, 2000, CARLQUIST, 2005, 2012). Ewers et al. (1997) e Fisher et al. (1997) correlacionam esse fato à pressão radicular pronunciada nesse grupo de plantas.

Wagner (1977) citou que a família Zingiberaceae seria a única da ordem a apresentar elementos de vaso com caracteres mais derivados, principalmente nas raízes. Até o momento, a ocorrência desses elementos no caule restringiu-se ao gênero *Renealmia*, de acordo com Tomlinson (1956). Resultados diferentes foram encontrados neste estudo para *R. chrysotricha*, que apresentou unicamente traqueídes no rizoma e no caule aéreo.

Os resultados encontrados mostram uma tendência evolutiva dos elementos de vaso. Os seis gêneros e onze espécies estudadas da tribo Alpinieae apresentam ambas as placas de perfuração simples e escalariforme, com exceção de *R. chrysotricha* e *A. zerumbet* que possuem apenas o tipo escalariforme. Solereder e Meyer (1930, *apud* WAGNER, 1977) e Tomlinson (1969) já haviam citado para o gênero *Alpinia* a presença tanto de placas de perfuração simples como também escalariformes. De acordo com os resultados obtidos, *Elettariopsis* e *Amomum* compartilham os mesmos estados de caráter, corroborando os

resultados de Tomlinson (1956, 1969). Nas raízes de *Amomum delbatum* foram encontrados os mesmos tipos estruturais de elementos de vaso, diferente de Thorsch (2000) que observou em *Amomum compactum*, apenas placa de perfuração escalariforme.

As espécies *Amomum delbatum* e *Aframomum angustifolium*, e o clado *Alpinia Eubractea* apresentam sempre uma das paredes terminais transversal e a outra variando de oblíqua a transversal. Essa característica foi encontrada em espécies de *Cyperus*, segundo Rodrigues et al. (2007). Os resultados obtidos a partir da análise da árvore filogenética (Fig. 21) mostram a convergência desse estado de caráter nos táxons supracitados e validam a categorização de grupos a partir da análise da inclinação da parede como sugerida por Chalk (1989).

Dentre os gêneros analisados pertencentes à tribo *Alpinieae*, *Renealmia* difere por compartilhar vários caracteres com *Zingibereae*, que incluem espessamento parietal reticulado, placa de perfuração apenas escalariforme e grande variação no número de barras. Esses dados estruturais, juntamente com os morfológicos e químicos (LIMA e KAPLAN, 2010), assim como a presença de inflorescência basal e de bractéolas com forma tubular, e flavonóis primitivos de (kaempferol e quercetina), reiteram o *status* basal de *Renealmia*.

Nos elementos de vaso da tribo *Zingibereae* predominam paredes terminais oblíquas. De acordo com Chalk (1989), as placas de perfuração com grande número de barras podem ser originadas de traqueídes com pontoações escalariformes em suas paredes terminais. *Hedychium coronarium* e as espécies de *Zingiber* estudadas apresentam traqueídes e elementos de vaso com placas de perfuração escalariforme portando muitas barras sugerindo assim, uma posição mais basal, quando comparadas às espécies de *Curcuma* (*Zingibereae*). Os resultados encontrados em *H. coronarium* corroboram as observações de Solereder e Meyer (1930, *apud* WAGNER, 1977) e Tomlinson (1956) que encontraram, respectivamente, traqueídes e elementos de vaso no gênero *Hedychium*. Sob o ponto de vista funcional, as placas de perfuração longas e oblíquas são consideradas responsáveis pelo aumento da resistência ao fluxo (ELLERBY e ENNOS, 1998).

A presença somente de placas de perfuração escalariforme nos elementos de vaso de *C. longa*, *H. coronarium*, *H. greenii* e *Z. officinale*, e a grande variação no número de barras dessas placas corrobora os resultados de Thorsch (2000). A autora considerou menos especializados os elementos de vaso em *Zingiberaceae*.

Thorsch (2000) descreve a presença somente de elementos de vaso com placas de perfuração escalariforme em *Globba schomburgkii*, entretanto, esse estudo mostrou que traqueídes também estão presentes nas raízes dessa espécie.

As três espécies de *Globba* estudadas apresentam uniformidade nos caracteres analisados, espessamento parietal e placa de perfuração do tipo escalariforme, ambas as placas terminais oblíquas e portando geralmente mais de 10 barras. Segundo Kress et al. (2002), *Globba* é um gênero polifilético, ou seja, as relações entre as suas espécies ainda não estão bem definidas. *Globba curtissi* e *G. schomburgkii* fazem parte de uma mesma seção e compartilham os mesmos caracteres dos elementos de vaso (WILLIAMS et al. 2004).

Experimentos mostraram que a resistência do fluxo de água no xilema é influenciada pelo tipo de placa de perfuração e pelo espessamento das paredes, sendo este último o caráter mais efetivo (ELLERBY e ENNOS, 1998). Com relação às placas de perfuração essa resistência varia de 0,6-18,6%, as do tipo escalariforme com grande número de barras propiciam os maiores valores de resistência e as do tipo simples e com disposição transversal, os menores valores (ELLERBY e ENNOS, 1998). Segundo Sperry et al. (2007), placas de perfuração escalariformes primitivas geram grandes obstruções ao fluxo, sendo responsáveis por aproximadamente 50% do total de sua resistividade. Por outro lado, as placas de perfuração longas, estreitas e escalariformes diminuem a probabilidade de formação de embolias e promovem mais facilmente a reparação desses danos (SPERRY, 2003; KOHONEN e HELLAND, 2009). Sendo assim, os elementos de vaso das espécies da tribo Alpinieae parecem apresentar menor resistência ao fluxo e menor segurança no transporte quando comparados as demais tribos estudadas.

Com relação às mensurações realizadas para o diâmetro dos elementos de vaso de cinco espécies das tribos Alpinieae e Zingibereae, *C. longa* apresentou a maior média. Segundo Tyree e Zimmermann (2002) e Carlquist (2012), o aumento do diâmetro desses elementos confere grande vantagem ao fluxo e seria uma das adaptações para ambientes méxicos, enquanto que os vasos estreitos são mais resistentes a cavitação e por isso estão presentes em ambientes secos.

De acordo com a classificação proposta por Kress et al. (2002), as tribos Globbeae e Zingibereae apresentam sinapomorfias que as colocam na subfamília Zingiberoideae. Os resultados encontrados confirmam a proposição anterior pelo fato de reunirem os seguintes caracteres basais: i) placas de perfuração escalariformes; ii) variação na inclinação da parede terminal de acentuadamente a levemente oblíquas e iii) espessamento parietal escalariforme.

A presença das traqueídes nas raízes de todas as espécies de *Globba* e em algumas espécies da tribo Zingibereae reitera o posicionamento taxonômico pré-estabelecido e mostra uma menor especialização do xilema nessas tribos.



## CONCLUSÃO

A partir da avaliação comparativa da anatomia dos órgãos vegetativos foi observada grande semelhança dos caracteres estruturais nas oito espécies estudadas.

A análise dos elementos traqueais pertencentes a diferentes tribos da família Zingiberaceae permitiu concluir que os elementos de vaso estão restritos às raízes e que a ocorrência de placa de perfuração e espessamento parietal escalariforme é freqüente, podendo ser um caráter basal e conservativo para esse táxon.

Foi possível estabelecer por meio da análise dos elementos de vaso, os estados de caráter que servem de diagnóstico para as tribos. Zingibereae e Globbeae reúnem estados de caracteres mais basais, como placa de perfuração escalariforme e espessamento parietal espiralado, e os mais derivados são encontrados na tribo Alpinieae, incluindo placa de perfuração simples e espessamento parietal parcialmente pontoado.

A presença das traqueídes e os caracteres basais citados para as espécies de Globbeae e Zingibereae reiteram o posicionamento dessas tribos na subfamília Zingiberoideae.

Esses elementos representam um importante marcador das tendências evolutivas de Zingiberaceae. A partir dos resultados encontrados pretende-se avaliar um número maior de espécies das tribos Alpinieae, Zingibereae e Globbeae, assim como ampliar os estudos dos elementos traqueais nas demais subfamílias e tribos.

## REFERÊNCIAS

- ALBUQUERQUE, E.S.B. e NEVES, L.J. Anatomia foliar de *Alpinia zerumbet* (Pers.) Burt & Smith (Zingiberaceae). *Acta Botanica Brasilica*, v.18, n.1, p.109-121, 2004.
- ARRUDA, E.C.P.; ALVES, M.; MELO-DE-PINNA, G.F. Elementos traqueais de cinco táxons de Cactaceae da caatinga pernambucana, Brasil. *Acta Botanica Brasilica*, v.18, n.4, p.731-736, 2004.
- BOEGER, M.R.T.; PIL, M.W.B.; BELÉM FILHO, N. Arquitetura foliar comparativa de *Hedychium coronarium* J. Koenig (Zingiberaceae) e de *Typha domingensis* Pers (Typhaceae). *Iheringia*, v.62, n.1-2, p.113-20, 2007.
- BUKATSCH, F. Bemerkungen zur Doppel färbung Astrablau-Safranin. *Mikrokosmos*, v. 61, p. 255, 1972.
- CARLQUIST, S.J. *Comparative Wood Anatomy*. Berlin, Spinger-Verlag, 448p, 2001.
- CARLQUIST, S. Monocot Xylem Revisited: New Information, New Paradigms. *Botanical Review*, v.78, p.87-153, 2012.
- CARLQUIST, S. e SCHNEIDER, E. L. Origin and Nature of vessels in monocotyledons. 5. Araceae subfamily Colocasioideae. *Botanical Journal of the Linnean Society*, v.128, p.71-86, 1998.
- \_\_\_\_\_. Origin and Nature of vessels in monocotyledons. 8. Orchidaceae. *American Journal of Botany*, v.93, n.7, p. 963-971, 2006.
- \_\_\_\_\_. Origin and Nature of vessels in monocotyledons. 9. *Sansevieria*. *South African Journal of Botany*, v.73, n.2, p.196-203, 2007.
- \_\_\_\_\_. Origin and Nature of vessels in monocotyledons. 12. Pit Membrane Microstructure Diversity in Tracheary Elements of *Astelia*. *Pacific Science*, v.64, n.4, p.607-618, 2010.
- CARVALHO, A.F. *Ervas e temperos: cultivo, processamento e receitas*. Viçosa: Aprenda Fácil, 2002, 296p.
- CHALK, L. Wood anatomy, phylogeny, and taxonomy. In: Metcalfe, C.R. e Chalk, L. (eds.). *Anatomy of the Dicotyledons*. Oxford University Press, Oxford, p.108-125, 1989.
- CHEADLE, V. I. The occurrence and types of vessels in various organs of the plant in the Monocotyledoneae. *American Journal of Botany*, v. 29, p.441-450, 1942.
- CHEADLE, V.I. e KOSAKAI, H. Occurrence and specialization of vessels in Commelinales. *Phytomorphology*, v.30, p.98-117, 1980.
- \_\_\_\_\_. Occurrence and specialization of vessels in Xyridales. *Nordic Journal of Botany*, v.2, p.97-109, 1982.

- CORADIN, V. T. R. e MUÑIZ, G.M.B. 1991. Normas de procedimento em estudos de anatomia da Madeira: I Angiospermae. II Gimnospermae. *L.P.F.*, v.5, p.1-19, 1991.
- COSTA, C.G.; CALLADO, C.H.; CORADIN, V.T.R. e CARMELLO-GUERREIRO, S.M. Xilema. In: Appezato-da-Glória, B. e Carmello-Guerreiro, S.M. (eds.). *Anatomia Vegetal*. Viçosa: Editora UFV. 2ªed, p.129-141, 2006.
- CYSNEIROS, V.C.; PEREIRA-MOURA, M.V.L.; PAULA, E.P. e BRAZ, D.M. Arboreal Eudicotyledons, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro Botanical Garden, state of Rio de Janeiro, Brazil, *Check List*, v.7, p.1-6, 2011.
- DAHLGREN, R.M.T. A revised system of classification of the angiosperms. *Botanical Journal of the Linnean Society*, v.80, p.91-124, 1980.
- DAHLGREN, R.M.T. e CLIFFORD, H.T. *The monocotyledons: A comparative study*. Academic Press, London, 1982.
- DAHLGREN, R.M.T.; CLIFFORD, H.T. e YEO, P.F. *The Families of the Monocotyledons*. Berlin: Springer-Verlag, 520p, 1985.
- DAVIS, J.I.; PETERSEN, G.; SEBERG, O.; CAMPBELL, L.M.; FREUDENSTEIN, J.V.; GOLDMAN, D.H.; HARDY, C.R.; MICHELANGELI, F.A.; SIMMONS, M.P.; SPECHT, C.D.; VERGARA-SILVA, F. e GANDOLFO, M. A phylogeny of the Monocots, as inferred from rbcL and atpA sequence variation, and a comparison of methods for calculating jackknife and bootstrap values. *Sistematic Botany*, v.29, n.3, p.467-510, 2004.
- DICKISON, W. C. *Integrative Plant Anatomy*. San Diego, Harcourt Academic Press, 533p, 2000.
- ELLERBY, D.J. e ENNOS, A.R. Resistances to fluid flow of model xylem vessels with simple and scalariform perforation plates. *Journal of Experimental Botany*, v.49, n.323, p.979-985, 1998.
- ENDLICHER, S. L. *Genera plantarum secundum ordines naturales*. Wien (Fr. Beck), v. 1, p.221-229, 1837.
- ENGLER, A. e PRANTL, K.A. Musaceae, Zingiberaceae, Cannaceae, Marantaceae (O. G. Petersen). *Die Natürlichen Pflanzenfamilien*, 2ªed.,v.2, p.1-43, 1889.
- ESAU, K. *Anatomia das plantas com sementes*. Edgard Blücher, 293p, 2000.
- EVERT, R.F. *Esau's Plant Anatomy. meristems: cells, and tissues of the plant body: their structure, function, and development*. 3ªed., p.255-283, 2006.
- EWERS, F.W. Xylem structure and water conduction in conifer trees, dicot trees, and lianas. *IAWA Bulletin*, v. 6, p.309-317, 1985.
- EWERS, F.W.; COCHARD, H. e TYREE, M.T. A survey of root pressures in vines of a tropical lowland forest. *Oecologia*, v.110, p.191-196, 1997.
- Fahn, A. *Anatomia Vegetal*. Ediciones Pirámide, Madrid, 599p., 1985.

- FISHER, J.B.; ANGELES, G.; EWERS, F.W. e LOPES-PORTILLO, J. Survey of root pressure in tropical vines and woody species. *International Journal of Plant Sciences*. v. 158, p.44–50, 1997a.
- FISHER, J.B.; COCHARD, H. e TYREE, M.T. A survey of root pressures in vines of a tropical lowland forest. *Oecologia*, v.110, p.191–196, 1997b.
- FOSTER, A.S. *Practical Plant Anatomy*. New York: D. Van Nostrand, INC, 2ªed., 228p, 1949.
- FRANCESCHI, V.R. e NAKATA, P.A. Calcium oxalate in plants: formation and function. *Annual Review of Plant Biology*, v.56, p.41-71, 2005.
- FRANKLIN, G.L. Preparation of thin sections of synthetic resin and wood-resin composites, and a new macerating method for wood. *Nature*, v.155, p.51, 1945.
- GABE, M. *Techniques Histologiques*. Paris: Masson & Cie., 1113p, 1968.
- GOTTLIEB, O.R. e SALATINO, A. Função e evolução de óleos essenciais e de estruturas secretoras. *Ciência e Cultura*, v.3, n.8, p.707-716, 1987.
- GUEDES-BRUNI R.R. Composição, estrutura e similaridade florística de dossel em seis unidades fisionômicas de Mata Atlântica no Rio de Janeiro. Tese de Doutorado, Universidade de São Paulo, SP. 206p. 1998.
- HASLAM, E. Natural polyphenols (vegetable tannins) as drugs possible modes of action. *Journal of Natural Products*, v.59, p.205-215, 1996.
- HESLOW, G. The origin of monocotyledon from dicotyledons through self adaptation to a moist or aquatic habit. *Annals of Botany*, v.25, p.717-744, 1911.
- HOLTTUM, R.E. The Zingiberaceae of the Malay Peninsula. *Gardener's Bulletin of Singapore*, v.13, p.1–249, 1950.
- HUTCHINSON, J. *The families of flowering plants, Monocotyledons*. Oxford: Clarendon Press, 2ªed., p.325-343, 1959.
- JENSEN, W.A. *Botanical histochemistry: principles and practice*. São Francisco: W. H. Freeman & Company, 408p, 1962.
- JOHANSEN, D.A. *Plant microtechnique*. New York: MacGraw-Hill Book Company, Inc, 3ª ed., 523 p, 1940.
- JUDD, W.S.; CAMPBELL, C.S.; KELLOGG, E.A.; STEVENS, P.F. e DONOGHUE, M.J. *Sistemática vegetal: um enfoque filogenético*. Porto Alegre: Artmed, 3ªed., 632p, 2009.
- KLEIN, D.E., GOMES, V.M., NETO, S.J.S. e DA CUNHA, M. The Structure of Colleters in Several Species of Simira (Rubiaceae). *Annals of Botany*, v. 94, p.733-740, 2004.
- KOHONEN, M.M. e HELLAND, A. 2009. On the function of wall sculpturing in xylem conduits. *Journal of Bionic Engineering*, v.6, p.324–329, 2009.

KRESS, W. J. The phylogeny and classification of the Zingiberales. *Annals of the Missouri Botanical Garden*, v.77, p.698-721, 1990.

KRESS, W. J. Phylogeny of the Zingiberanae: morphology and molecules. In: Rudall P.J.; Cribb P.J.; Cutler D.F. & Humphries C.J. (eds.). *Monocotyledons: systematics and evolution*. Kew, Royal Botanic Gardens, p. 443-460, 1995.

KRESS W.J., PRINCE L.M., HANH W.J. & ZIMMER E.A. Unraveling the evolutionary radiation of the families of the Zingiberales using morphological and molecular evidence. *Systematic Biology* 50 (6): p.926-944, 2001.

KRESS, W.J.; PRINCE, L.M. e WILLIAMS, K. J. The phylogeny and a new classification of the gingers (Zingiberaceae): Evidence from molecular data. *American Journal of Botany*, v.89, n.11, p.1682-1696, 2002.

KRESS, W.J.; LIU, A.; NEWMAN M. e LI Q. The Molecular Phylogeny of *Alpinia* (Zingiberaceae): A Complex and Polyphyletic Genus of Gingers. *American Journal of Botany*, v.92, n.1, p.167-178, 2005.

LANGERON, M. *Précis de microscopie*. Paris: Massori et Cie, 1430p, 1949.

LARSEN, K.; LOCK, J.; MASS, H. e MASS, P.J.M. Zingiberaceae. In: K. Kubitzki (Ed.), *The families and genera of vascular plants*, Berlin, Germany: Springer-Verlag, v.4, p.474-495, 1998.

LIMA, H.R.P. e KAPLAN, M.A.C. Quimiosistemática micromolecular e tendências evolutivas da Superordem Zingiberiflorae (*sensu* Dahlgren). In: Kaplan, M.A.C.; Abreu, H.S.; Lima, H.R.P. e Soares, G.L.G. (Eds.), *Abordagem quimiosistemática e evolução química de fanerógamas*, Rio de Janeiro: Ed. da UFRRJ, p.231-259, 2010.

LIMA, W.G. e GUEDES-BRUNI, R.R. Myrceugenia (Myrtaceae) ocorrentes no Parque Nacional do Itatiaia, Rio de Janeiro. *Rodriguésia*, v.55, n.85, p.73-94, 2004.

LORENZI, H. e SOUZA, H.M. *Plantas ornamentais no Brasil*. São Paulo: Nova Odessa, Instituto Plantarum de Estudos da Flora LTDA, 3ª ed., p.1065-1088, 2001.

MADDISON, W.P. e MADDISON, D.R. Mesquite: a modular system for evolutionary analysis. Version 2.75, <http://mesquiteproject.org>, 2011.

MARTINS, M.B.G.; CARAVANTE, A.L.C.; APPEZATO-DA-GLÓRIA, B.; SOARES, M.K.M.; MOREIRA, R.R.D. e SANTOS, L.E. Caracterização anatômica e fitoquímica de folhas e rizomas de folhas e rizomas de *Hedychium coronarium* J. König (Zingiberaceae). *Revista Brasileira de Plantas Mediciniais*, v.12, n.2, p. 179-187, 2010.

MENEZES, N. L.; SILVA, D. C.; ARRUDA, R. C. O.; MELO-DE-PINNA, G. F.; CARDOSO, V. A.; CASTRO, N. M.; SCATENA, V. L. e SCREMIN-DIAS E. Meristematic activity of the Endodermis and the Pericycle in the primary thickening in monocotyledons. Considerations on the "PTM". *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, v.77, n.2, p.259-274, 2005.

METCALFE, C.R. e CHALK, L. *Anatomy of the Dicotyledons*. Oxford University Press, Oxford, v.2, 2ªed., 297p., 1989.

- MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE; INSTITUTO DO MEIO AMBIENTE DOS RECURSOS NATURAIS RENOVÁVEIS. *Revisão do Plano de Manejo: Reserva Biológica de Poço das Antas*. Rio de Janeiro, MMA/IBAMA, 87p. 2005.
- MIRANDA, E.E. e COLOMBINI, F. *Jardins Botânicos do Brasil*. São Paulo: Metalivros, 173p, 2009.
- NOBERTO-IRMÃO, V.; SILVA, I.V.; PESSOA, M.J.G. e ROSSI, A.B. Anatomia foliar como ferramenta na identificação de *Curcuma zedoaria* (Zingiberaceae) utilizada medicinalmente e cultivada em quintais no município de Alta Floresta-MT. *Enciclopédia Biosfera*, v.9, n.17, p.2669-2685, 2013.
- O'BRIEN, T.P.; FEDER, N. e MCCULLY, M.E. Polychromatic staining of plant cell walls by toluidine blue. *Protoplasma*, v.59, n.2, p.368-373, 1964.
- OLIVEIRA, E.C. *Introdução à Biologia Vegetal*. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo, 43p, 1996.
- OLIVEIRA, F. & AKISUE, G. *Fundamentos de Farmacobotânica e de Morfologia Vegetal*. 3ª Ed. São Paulo: Editora Atheneu, 228 p, 2009.
- PACE, M.R.; BOTÂNICO, M.P. e ANGYALOSSY, V. Diversity of metaxylem vessel elements in three *Syagrus* palms (Arecaceae) of different habits. *Acta Botanica Brasilica*, v.25, n.2, p.315-323, 2011.
- PEDERSEN, L.B. Phylogenetic analysis of the subfamily Alpinioideae (Zingiberaceae), particularly *Etlingeria* Giseke, based on nuclear and plastid DNA. *Plant, systematic and evolution*, v.245, p.239-258, 2004.
- PELT, J. – *Especiarias e ervas aromáticas: história, botânica e culinária*; tradução, André Telles – Rio de Janeiro: Jorge Zahar Editor, 223p., 2003.
- PETERSEN, O.G. Musaceae, Zingiberaceae, Cannaceae, Marantaceae. In: Engler H.G.A. and K.A.E. Prantl [eds.]. *Die Natürlichen Pflanzenfamilien*. Leipzig Verlag von Wilhelm Engelmann, v.1, p.1-30, 1889.
- \_\_\_\_\_. Zingiberaceae. In: Lima, M.P. & Guedes-Bruni, R.R. (Orgs.). *Reserva Ecológica de Macaé de Cima: Nova Friburgo – RJ: Aspectos Florísticos das Espécies Vasculares*, v.2, 465 p, 1996.
- PUGIALLI, H.R.L. Quimiotaxonomia da superordem Zingiberiflorae (*sensu* Dahlgren). Dissertação de Mestrado, Rio de Janeiro, Museu Nacional, Universidade Federal do Rio de Janeiro, 99p. il. 1991.
- PUGIALLI, H.R.L.; KAPLAN, M.A.C. e GOTTLIEB, O.R. Quimiotaxonomia da superordem Zingiberiflorae (*sensu* Dahlgren) I. Flavonóides como marcadores quimiosistemáticos. *Acta Botanica Brasilica*, v.7, p.135-148, 1993.

- PUGIALLI, H.R.L. Zingiberaceae. In: Lima, M.P.M. e Guedes-Bruni, R.R. (Eds.), *Reserva Ecológica de Macaé de Cima: Nova Friburgo – RJ. Aspectos florísticos das espécies vasculares*. Rio de Janeiro – Jardim Botânico, v.2, p.459-465, 2006.
- R CORE TEAM. *R: A language and environment for statistical computing*. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. ISBN 3-900051-07-0, URL <http://www.R-project.org/>, 2012.
- RAVEN, P. H.; EVERT, R.F. e EICHHORN, S.E. *Biologia Vegetal*. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 7ª ed., p.386-389, 2007.
- RODRIGUES, A.C.; CAVALCANTI, T.A.; LIMA, R.S. e ESTELITA M.E.M. Elementos de vaso do sistema subterrâneo de cinco espécies de *Cyperus* L. (Cyperaceae) ocorrentes na Caatinga paraibana. *INSULA*, n.36, p.27-37, 2007.
- RODRIGUES, A.C. e ESTELITA, M.E. Diferenciação dos feixes vasculares e dos elementos traqueais no rizoma de algumas Cyperaceae. *Revista Brasileira de Botânica*, v.32, n.2, p.349-359, 2009.
- SANTOS, C.M.; GUIMARÃES, M.E.M.; HIRUMA-LIMA, C.A. e DI STASI, L.C. 2002. Zingiberidae medicinais. In: Di Stasi L.C.D. & Hiruma-Lima C.A. (Org.). *Plantas medicinais na Amazônia e na Mata Atlântica*, São Paulo, UNESP, 2ªed., p.51-63, 2002.
- SANTOS G.O. e SILVA E.A. Crescimento e desenvolvimento do rizoma de gengibre (*Zingiber officinale* R.). *Arquivos de Biologia e Tecnologia*, v.40, n.3, p.651-656, 1997.
- SCATENA, V.L. e SCREMIN-DIAS, E. In: Appezato-da-Glória, B. e Carmello-Guerreiro, S.M. (eds.). *Anatomia Vegetal*. Viçosa: Editora UFV. 2ªed, p.109-119, 2006.
- SCATENA, V.L.; VICH, D.V. e PARRA, L.R. Anatomia de escapos, folhas e brácteas de *Syngonanthus* sect. *Eulepis* (Bong. ex Koern.) Ruhland (Eriocaulaceae). *Acta Botanica Brasilica*, v.18, n.4, p.825-837, 2004.
- SCHNEIDER, E.L. e CARLQUIST, S. SEM studies on the vessels of heterophyllous species of *Selaginella*. *Journal of the Torrey Botanical Society*, v.127, n.4, p.263-270, 2000.
- \_\_\_\_\_. Origin and nature of vessels in monocotyledons. 6. Hanguana (Hanguanaceae). *Pacific Science*, v.59, n.3, p.393-398, 2005.
- SEGECIN, S. e SCATENA, V. L. Morfoanatomia de rizomas e raízes de *Tillandsia* L. (Bromeliaceae). *Acta Botanica Brasilica*, v.18, n.2, p.253-260, 2004.
- SILVA-NETO, S.J. *A família Rubiaceae Juss. no Parque Nacional do Itatiaia, Itatiaia, RJ*. Tese de Doutorado. Universidade Federal do Rio de Janeiro, RJ, 2006.
- SIMÃO, D.G. e SCATENA, V.L. Morphology and anatomy in *Heliconia augusta* and *H. velloziana* L. Emygd. (Zingiberales: Heliconiaceae) from the Atlantic forest of southeastern Brazil. *Revista Brasileira de Botânica*, v.24, n.4, p.415-424, 2001.
- \_\_\_\_\_. Morfoanatomia das brácteas em *Heliconia* (Heliconiaceae) ocorrentes no estado de São Paulo, Brasil. *Acta Botanica Brasilica*, v.18, n.2, p.261-270, 2004.

SMITH, J.F.; KRESS, W.J. e ZIMMER, E.A. Phylogenetic analysis of the Zingiberales based on rbcL sequences. *Annals Missouri Botanical Garden*, v.80, p.620-630, 1993.

SOUZA, V.C. e LORENZI, H. *Botânica Sistemática: Guia ilustrado para identificação das famílias de Fanerógamas nativas e exóticas no Brasil, baseado em APG III*. São Paulo: Nova Odessa, Instituto Plantarum de Estudos da Flora LTDA, 3ª ed., p.203-204, 2012.

SPECHT, C.D. Systematics and Evolution of the Tropical Monocot Family Costaceae (Zingiberales): A Multiple Dataset Approach. *Systematic Botany*, v.31, n.1, p.89-106, 2006.

SPERRY, J. S. Xylem embolism in the palm *Rhapis excelsa*. *IAWA Bulletin, new series*, v.6, p.283–292, 1985.

\_\_\_\_\_ Relationship of xylem embolism to xylem pressure potential, stomata closure, and shoot morphology in the palm *Rhapis excelsa*. *Plant Physiology*, v.80, p.110–116, 1986.

\_\_\_\_\_ Evolution of water transport and xylem structure. *International Journal of Plant Sciences*, v.164, p.115-127, 2003.

SPERRY, J.S.; HACKE, U.G.; FIELD, T.S.; SANO, Y. e SIKKEMA, E.H. 2007. Hydraulic consequences of vessel evolution in angiosperms. *International Journal of Plant Sciences*, v.168, p.1127–1139, 2007

STASI, L.C.D. e LIMA, C.A.H. *Plantas medicinais na Amazônia e na Mata Atlântica*. São Paulo: UNESP, p.51-63, 2002.

STRASBURGER, E. *Tratado de Botânica*. Barcelona: Ed. Madri, 7ªed., 1098p, 1986.

TAKHTAJAN, A. L. Outline of the classification of flowering plants (Magnoliophyta). *Botanical Review*, v.46, p.225-359, 1980.

THORSCH, J.A. Vessels in Zingiberaceae: A light, scanning, and transmission microscope study. *Journal IAWA*, v.21, n.1, p.61-76, 2000.

THORSCH, J.A. e CHEADLE, V. I. Vessels in Eriocaulaceae. *Journal IAWA*, v.17, n.2, p.183-204, 1996.

TOMLINSON, P.B. Studies in the systematic anatomy of the Zingiberaceae. *Botanical Journal of Linnean. Society*, v.55, p.547-592, 1956.

\_\_\_\_\_ Phylogeny of the Scitamineae – morphological and anatomical considerations. *Evolution*, v.16, p.192-213. 1962.

\_\_\_\_\_ Classification of the Zingiberales (Scitamineae) with special reference to anatomical evidences. In: Metcalfe, C.R. *Anatomy of the Monocotyledons*. Oxford: Clarendon Press, v.3, p.224-302, 1969.

TYREE, M.T. e ZIMMERMANN, M.H. *Xylem structure and the ascent of sap*, ed. 2. Springer Verlag, Berlin, 2002.



XIA, Y.; KRESS, W.J. e PRINCE, L.M. Phylogenetic analysis of Amomum (Alpinioideae: Zingiberaceae) using ITS and *matK* DNA sequence data. *Systematic Botany*, v.29, n.2, p.334-344, 2004.

WAGNER, P. Vessel types of the monocotyledons: a survey. *Botaniska Notiser*, v.130, p.383-402, 1977.

WILLIAMS, K.J.; KRESS, W.J. e MANOS, P. The phylogeny, evolution, and classification of the genus *Globba* and Tribe *Globbeae* (Zingiberaceae): appendages do matter. *American Journal of Botany*, v.91, n.1, p.100-114, 2004.

YOSHIZAWA, N.; MATSUMOTO, S. e IDEI, T. Morphological features of tracheid tips associated with compression wood formation in *Larix leptolepis* Gord. *IAWA Bulletin*, v.6, n.3, p.245–253, 1985.

**APÊNDICE – Matriz construída no programa Mesquite**

Caráter	Grupos											
	Af	Re	El	AG	AZ	AE	Et	Am	Cu	Zi	He	Gl
<b>Espessamento parietal:</b> escalariforme (0), reticulado (1), parcialmente pontoado (2), escalariforme e espiralado (3). (Fig. 20)	0&1	0&1	0&2	0&2	0&2	0&2	0&2	0&2	0	1&3	0&1	0
<b>Placa de perfuração:</b> escalariforme (0), simples (1). (Fig. 21)	0&1	0	0&1	0&1	0	0&1	0&1	0&1	0	0	0	0
<b>Disposição das placas:</b> disposição transversal em pelo menos uma das paredes terminais (0), disposição oblíqua em ambas as paredes terminais (1). (Fig. 22)	0	0&1	1	0&1	0&1	0	1	0	0&1	0&1	0&1	1
<b>Número de barras na placas:</b> ≤ 10 (0), 10-40 (1), ≤ 10, 10-40 (2) e ≥40. (Fig. 23)	0	3	3	0&1	0&1	0&1	0&1	0	0&1	3	3	3

Af (*Aframomum*), Re (*Renealmia*), El (*Elettariopsis*), AG (clado *Alpinia Galanga*), AZ (clado *Alpinia Zerumbet*), AE (clado *Alpinia Eubractea*), Et (*Etlingera*), Am (*Amomum II*), Cu (*Curcuma*), Zi (*Zingiber*), He (*Hedychium*), Gl (*Globba*).