



**GRACIENE DA SILVA MOTA**

**CARACTERÍSTICAS ANATÔMICAS E  
ECOLÓGICAS DE CASCA E MADEIRA DE  
*ANADENANTHERA***

**LAVRAS – MG**

**2016**

**GRACIENE DA SILVA MOTA**

**CARACTERÍSTICAS ANATÔMICAS E ECOLÓGICAS DE CASCA E  
MADEIRA DE *ANADENANTHERA***

Tese apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Botânica Aplicada, área de concentração em Botânica Aplicada, para a obtenção do título de Doutora.

Orientador

Dr. Fábio Akira Mori

Coorientadora

Dra. Yule Roberta Fereira Nunes

**LAVRAS – MG**

**2016**

**Ficha catalográfica elaborada pelo Sistema de Geração de Ficha Catalográfica da Biblioteca  
Universitária da UFLA, com dados informados pelo(a) próprio(a) autor(a).**

Mota, Graciene da Silva.

Características anatômicas e ecológicas de casca e madeira de  
*Anadenanthera* / Graciene da Silva Mota. – Lavras : UFLA, 2016  
133 p.

Tese(doutorado)–Universidade Federal de Lavras, 2016.

Orientador: Fábio Akira Mori.

Bibliografia.

1. Angicos. 2. Anatomia. 3. Química. 4. Casca. 5. Madeira. I.  
Universidade Federal de Lavras. II. Título.

**GRACIENE DA SILVA MOTA**

**CARACTERÍSTICAS ANATÔMICAS E ECOLÓGICAS DE CASCA E  
MADEIRA DE ANADENANTHERA**

Tese apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Botânica Aplicada, área de concentração em Botânica Aplicada, para a obtenção do título de Doutora.

APROVADA em de 15 de março de 2016.

Dr. Evaristo Mauro de Castro	UFLA
Dra. Marinês Ferreira pires	UFLA
Dra. Maria das Dores Magalhães Veloso	UNIMONTES
Dra. Teresa Maria Gonçalves Quilhó Marques dos Santos	ISA/Lisboa- Portugal

Dr. Fábio Akira Mori  
Orientador

Dra. Yule Roberta Fereira Nunes  
Coorientadora

**LAVRAS – MG**

**2016**

## AGRADECIMENTOS

Agradeço, em primeiro lugar, a Deus, por me conceder sabedoria, pela proteção, pelas oportunidades que me foram dadas e por ter colocado em minha vida pessoas muito especiais.

Agradeço à minha querida família e isso inclui pai, mãe, irmãos, sobrinhos, cunhadas, avós, tios e primos, por todo o carinho, orações, compreensão, incentivo e amizade.

Ao meu esposo, Paulo Henrique, por todo amor, carinho, companheirismo e incentivo. Obrigada por dividir cada momento e pela paciência, principalmente nos momentos mais críticos para a conclusão do doutorado.

Ao meu orientador, Dr. Fábio Akira, pela orientação, confiança e incentivo.

À minha coorientadora, Dra. Yule, que desde a graduação tem me ajudado, apoiando-me e incentivando-me.

À Professora, Dra. Helena Pereira, por ter me aceitado e orientado na realização do doutorado-sanduíche.

À Dra. Teresa Quilhó, pelo carinho, amizade, paciência, orientação e esclarecimento às dúvidas surgidas, ao longo da execução do trabalho, especialmente, em relação à anatomia das cascas, leitura e revisão do texto.

À Dra. Isabel Miranda, pelo auxílio na documentação para o doutorado-sanduíche e na condução das análises químicas.

A todos dos laboratórios de anatomia e química do Instituto Superior de Agronomia (ISA), em especial à Cristane Alves, pelo auxílio na condução das análises anatômicas das cascas e à Joaquina Silva, Joana Ferreira, Maria Lídia Silva e Duarte Neiva, pelo auxílio na condução das análises químicas.

Ao Dr. Mario Tomazello Filho, pela ajuda na realização da análise de

densitometria de raios X.

Aos queridos colegas do laboratório de anatomia da madeira da UFLA, a todos que passaram ou que ainda estão presentes, especialmente, à Marina e à Cassiana pela amizade e pelo apoio nas análises anatômicas da madeira.

À Carol Sartori, pela amizade, companhia, carinho, pelas boas risadas, ajuda na realização das análises anatômicas e químicas das cascas e pela paciência para me aturar durante todos os meses que passamos em Portugal.

À Dora pelo carinho, amizade, apoio e incentivo desde a minha graduação.

À Gisele Menino, pela amizade, incentivo e carinho.

Ao meu pai, Gregório, e ao Sr. Zé Carlos, pela ajuda na coleta do material.

À Solange Araújo e à Rita Simões pela amizade, carinho, acolhimento e atenção.

Ao Sr. Quim, pela atenção e pelo auxílio nos cortes das cascas.

Aos colegas, especialmente, Alessandra e Gavilanes pela amizade.

Aos membros da banca, por gentilmente aceitarem o convite para participação na defesa.

Aos professores do Programa de Pós-Graduação em Botânica Aplicada, por todos os ensinamentos ao longo do curso, em especial, aos Professores Evaristo Mauro de Castro e Fabrício José Pereira que, também, encorajaram-me para que eu fosse fazer o doutorado-sanduíche.

Ao Rubens Manoel dos Santos, pela identificação do material botânico.

Aos colegas de república, Nanda, Yasmim, Paula e Kátia pelo convívio e pelos bons momentos.

À Universidade Federal de Lavras (UFLA) e ao Programa de Pós-Graduação em Botânica Aplicada, pela oportunidade concedida para a realização do doutorado.

Ao Instituto Superior de Agronomia (ISA), pela oportunidade concedida para a realização do doutorado-sanduíche.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pela concessão das bolsas de estudos no Brasil e no doutorado-sanduíche.

Enfim, a todos que contribuíram direta ou indiretamente para realização deste trabalho.

**Muito Obrigada!**

Bendize, ó minha alma, ao SENHOR, e tudo  
que há em mim bendiga seu santo nome.  
Bendize, ó minha alma, ao SENHOR, e não te  
esqueças de nenhum de seus benefícios.  
SALMOS 103: 1,2



## RESUMO

Estudaram-se as cascas de *Anadenanthera peregrina* e *Anadenanthera colubrina* e lenho de *Anadenanthera peregrina* com os seguintes objetivos: i) Caracterizar a anatomia e química da casca de ambas as espécies; ii) analisar o aspecto ecológico e as modificações estruturais da casca e lenho em *Anadenanthera peregrina*. Estas espécies foram amostradas no campus da Universidade Federal de Lavras, Sul de Minas Gerais e na fazenda Alvação, no município de Coração de Jesus, Norte de Minas Gerais, Brasil. Estruturalmente, as cascas mostraram ser semelhantes ao que se refere à presença, morfologia e distribuição dos elementos constituintes das várias camadas que compõem a casca. Caracteres distintivos entre as duas espécies estudadas não são muito marcados. Pequenas diferenças, em ambas as espécies, foram observadas, nomeadamente, facilidade de remoção da casca da madeira, maior quantidade de células taníferas e maior espessamento das células de felema de *A. peregrina* e maior quantidade de células esclerificadas no floema de *A. colubrina*. A composição química média das cascas de *A. peregrina* e *A. colubrina* foram, respectivamente: cinzas de 8,20% e 7,74%; extrativos totais 28,77% e 29,33%, principalmente, correspondentes para compostos polares que eram solúveis em etanol e água; lignina 18,85%, 18,88% e suberina 2,40% e 2,58%. A composição polissacarídeos mostrou predomínio de glucose e xilose (82,88% and 81,18%, 8,71% e 8,89% do total monossacáridos neutros, respectivamente). Os extratos das cascas de etanol-água continham um alto teor de compostos fenólicos e diferem, consideravelmente, entre as cascas de *A. peregrina* e *A. colubrina*, respectivamente: fenólicos totais 583,0 e 681,9 mg de ácido gálico equivalente/g de extrato, flavonoides 148,3 e 445,2 mg catequina equivalente/g extrato e taninos 586,9 e 97,5 mg de catequina equivalente/g de extrato. A atividade antioxidante correspondeu 237,5 e 268,5 mg Trolox/g de extrato, respectivamente. As cascas de *Anadenanthera* apresentam alto teor de extrativos, especialmente, de extrativos polares e mostraram atividade antioxidante. Os resultados quantitativos dos elementos celulares da casca e da madeira de *A. peregrina* mostraram diferenças significativas para vários parâmetros, bem como variação entre os espécimes do Norte e Sul de Minas Gerais. A matriz de correlação de variáveis, incluindo características quantitativas e anatômicas da casca e da madeira, características do solo, altura e diâmetro das plantas mostrou que as plantas foram agrupadas por região. *A. peregrina* pode adotar diferentes estratégias de sobrevivência quanto à segurança e eficácia do transporte de água e solutos pela adaptação ecológica dos elementos condutores da casca e da madeira.

Palavras-chave: Angicos. Anatomia. Química. Casca. Madeira. *Anadenanthera*. Variabilidade.

## ABSTRACT

The bark of *Anadenanthera peregrina* and *Anadenanthera colubrina* and *Anadenanthera peregrina* wood were studied with the following objectives: i) to characterize the anatomy and chemistry of the bark; ii) to analyze the ecological aspect and the structural changes in the bark and wood of *Anadenanthera peregrina*. These species were sampled in the Fazenda Alvação in the municipality of Coração de Jesus, Northern de Minas Gerais, and at the University campus of the Universidade Federal de Lavras, Southern de Minas Gerais, Brazil. Structurally, the species were similar concerning the presence, morphology and distribution of the bark tissues. Distinctive features not well obvious between the two species. *A. peregrina* presented bark easily removable from the wood, a large amount of taninniferous cells and greater phellem cell. *A. colubrina* presented a large amount of sclerified cells in the phloem. The average chemical composition of *A. peregrina* and *A. colubrina* bark was, respectively: 8.20% and 7.74% ash; 28.77% and 29.33% total extractives, mainly corresponding to polar compounds soluble in ethanol and water; 18.85%, 18,88% lignin, and 2.40% and 2.58% suberin. Polysaccharide composition showed a predominance of glucose and xylose (82.88% and 81.18%, 8.71% and 8.89% of total neutral monosaccharides, respectively). The ethanol-water bark extracts presented high content of phenolics and considerably differ between *A. peregrina* and *A. colubrina* bark, corresponding to, respectively: total phenolics 583.0 and 681.9 mg of gallic acid equivalent/g extract, flavonoids 148.3 and 445.2 mg of catechin equivalent/g extract and tannins 586.9 and 97.5 mg equivalent/g extract catechin. The antioxidant activity corresponded to 237.5 and 268.5 mg Trolox/g extract, respectively. The *Anadenanthera* bark presents high content of extractives, especially polar extractives, and showed antioxidant activity extractives. The quantitative results of the cellular elements of the bark and wood of *A. peregrina* showed significant differences in various parameters, as well as variation between specimens from the North and South of Minas Gerais. The correlation matrix of variables including quantitative anatomical characteristics, soil characteristics, height and diameter of the plants, showing that the plants were grouped by region. *A. peregrina* may adopt different survival strategies concerning safety and efficiency of transport water and solutes by ecological adaptation of the conductive elements of the bark and wood.

Keywords: Angicos. Anatomy. Chemistry. Bark. Wood. *Anadenanthera*. Variabilit.

## LISTA DE FIGURAS

### CAPÍTULO 1

- Figura 1 Ocorrência natural de *Anadenanthera peregrina* (A) e suas variedades *falcata* (B) e *peregrina* (C) no Brasil, retirado de Morim (2013).....21
- Figura 2 Ocorrência natural de *Anadenanthera colubrina* (A) e suas variedades *cebil* (B) e *colubrina* (C) no Brasil. Retirado de Morim (2013).....22

### CAPÍTULO 2

- Figura 1 Casca de *Anadenanthera peregrina* (Benth) Speng.....58
- Figura 2 Fotomicrografias da secção transversal da casca de *Anadenanthera peregrina* (L.) Speg.....61
- Figura 3 Fotomicrografias de secções transversal (A, C) e longitudinal tangencial (D) da casca de *Anadenanthera peregrina* (L.) Speg.....62
- Figura 4 Fotomicrografias de secções longitudinais e elementos dissociados da casca de *Anadenanthera peregrina* (L.) Speg.....63
- Figura 5 Fotomicrografias com uso de luz polarizada de secções transversal e longitudinal da casca de *Anadenanthera peregrina* (L.) Speg.....64
- Figura 6 Casca de *Anadenanthera colubrina* (Vell.) Brenan.....67
- Figura 7 Fotomicrografias da secção transversal da casca de *Anadenanthera colubrina* (Vell.) Brenan.....68
- Figura 8 Fotomicrografias de secções transversal e longitudinal tangencial da casca de *Anadenanthera peregrina* (L.) Speg.....69
- Figura 9 Fotomicrografias de secções longitudinais e elementos

	dissociados da casca de <i>Anadenanthera colubrina</i> (Vell.) Brenan.....	70
Figura 10	Fotomicrografias com uso de luz polarizada de secções transversal e longitudinais da casca de <i>Anadenanthera colubrina</i> (Vell.) Brenan.....	71

### CAPÍTULO 3

Figura 1	Diagrama climático das regiões de coleta, precipitação e temperatura média mensal dos anos 2008 a 2013 .....	100
Figura 2	Fotomicrografias da secção transversal da casca de <i>A. peregrina</i> , amostrada no Sul de Minas Gerais .....	107
Figura 3	Fotomicrografias da secção transversal da casca de <i>A. peregrina</i> , amostrada no Norte de Minas Gerais .....	108
Figura 4	Fotomicrografias da secção transversal da casca de <i>Anadenanthera peregrina</i> (L.) Speg, amostradas no Sul de Minas Gerais (A, C) e Norte de Minas Gerais (C, D) .....	109
Figura 5	Fotomicrografias de secções transversais e elementos dissociados da casca de <i>Anadenanthera peregrina</i> (L.) Speg, amostradas no Sul de Minas Gerais (A, C) e Norte de Minas Gerais (C, D).....	110
Figura 6	Fotomicrografias de secções longitudinais da casca de <i>Anadenanthera peregrina</i> (L.) Speg, amostradas no Sul de Minas Gerais (A, C) e Norte de Minas Gerais (C, D) .....	111
Figura 7	Fotomicrografias de secções transversais e elementos dissociados da madeira de <i>Anadenanthera peregrina</i> (L.) Speg, amostradas no Sul de Minas Gerais (A, C) e Norte de Minas Gerais (C, D) .....	112
Figura 8	Fotomicrografias de secções longitudinais da madeira de	

	<i>Anadenanthera peregrina</i> (L.) Speg, amostradas no Sul de Minas Gerais (A, B) e Norte de Minas Gerais (C).....	113
Figura 9	Fotomicrografias de secções longitudinais da madeira de <i>Anadenanthera peregrina</i> (L.) Speg, amostradas no Sul de Minas Gerais (A, C) e Norte de Minas Gerais (C, D) .....	114
Figura 10	Dendrograma resultante da análise de agrupamentos evidenciando similaridades entre os espécimes com base nos parâmetros anatômicos quantitativos da casca e da madeira .....	118
Figura 11	Análise de componentes principais (PCA).....	120

## LISTA DE TABELAS

### CAPÍTULO 2

Tabela 1	Composição química somativa das cascas de <i>Anadenanthera peregrina</i> (L.) Speg e <i>Anadenanthera colubrina</i> (Vell.) Brenan.....	72
Tabela 2	Composição de carboidratos das cascas de <i>Anadenanthera peregrina</i> (L.) Speg e <i>Anadenanthera colubrina</i> (Vell.) Brenan, em % do total dos monossacarídeos neutros detectados por GC.....	73
Tabela 3	Rendimento de extração, teor de fenólicos totais, taninos e conteúdo flavonoides e atividade antioxidante por radicais DPPH do extrato da casca de <i>Anadenanthera peregrina</i> (L.) Speg e <i>Anadenanthera colubrina</i> (Vell.) Brenan.....	74

### CAPÍTULO 3

Tabela 1	Análise granulométrica e características químicas do solo das duas áreas.....	101
Tabela 2	Espessura total das cascas e percentagens do ritidoma, floema total, córtex, floema não colapsado (funcional) e córtex + floema colapsado (não funcional) dos indivíduos de <i>A. peregrina</i> do Norte de Minas Gerais (APN) e do Sul de Minas Gerais (APS).....	105
Tabela 3	Média dos dados biométricos referentes aos diferentes elementos estruturais do floema e do xilema secundário de <i>Anadenanthera peregrina</i> do Sul de Minas Gerais (Mata atlântica) e Norte de Minas Gerais (Mata de galeria), com $p < 0,05$ e $n = 30$ . Média – desvio-padrão. Letras diferentes (a ou b) indicam significância estatística pelo teste t.....	116
Tabela 4	Dados dos autovetores da análise de componentes principais, que considerou as características anatômicas da casca e madeira, as características físico-químicas do solo e a altura e diâmetro dos espécimes.....	121

## SUMÁRIO

	<b>CAPÍTULO 1</b> Introdução Geral.....	16
<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	16
<b>2</b>	<b>REFERENCIAL TEÓRICO</b> .....	19
<b>2.1</b>	Características do gênero <i>Anadenanthera</i> e das espécies <i>Anadenanthera peregrina</i> (L.) Speg e <i>Anadenanthera colubrina</i> (Vell.) Brenan. ....	19
<b>2.2</b>	Formação da casca .....	26
<b>2.3</b>	Composição química da casca.....	30
<b>2.4</b>	Características do xilema .....	31
<b>2.5</b>	Estudos anatômicos e químicos em casca .....	33
<b>2.6</b>	Estudos sobre anatomia ecológica de casca e xilema secundário ....	34
	<b>REFERÊNCIAS</b> .....	36
	<b>CAPÍTULO 2</b> Caracterização anatômica e química da casca de <i>Anadenanthera peregrina</i> (L.) Speg e <i>Anadenanthera colubrina</i> (Vell.) Brenan .....	46
<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	48
<b>2</b>	<b>MATERIAL E MÉTODOS</b> .....	51
<b>2.1</b>	Amostragem .....	51
<b>2.2</b>	Caracterização anatômica da casca .....	51
<b>2.3</b>	Análise química .....	53
<b>2.3.1</b>	Análise química sumativa .....	53
<b>2.3.2</b>	Conteúdo fenólico no extrato da casca.....	55
<b>2.3.3</b>	Atividade antioxidante do extrato da casca.....	56
<b>3</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	58
<b>3.1</b>	Descrição anatômica de <i>Anadenanthera peregrina</i> (L.) Speg.....	58
<b>3.1.1</b>	Descrição anatômica de <i>Anadenanthera colubrina</i> (Vell.) Brenan ..	64
<b>3.2</b>	Composição química .....	71
<b>3.3</b>	Conteúdo fenólico nos extratos da casca.....	73
<b>4</b>	<b>DISCUSSÃO</b> .....	75
<b>4.1</b>	Anatomia .....	75
<b>4.2</b>	Química .....	79
<b>5</b>	<b>CONCLUSÕES</b> .....	83
	<b>REFERÊNCIAS</b> .....	85
	<b>CAPÍTULO 3</b> Anatomia ecológica da casca e lenho de <i>Anadenanthera peregrina</i> (L.) Speg. (Mimosaceae) de duas fitofisionomias brasileiras .....	95
<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	97
<b>2</b>	<b>MATERIAL E MÉTODOS</b> .....	99

<b>3</b>	<b>RESULTADOS</b> .....	104
<b>3.1</b>	<b>Análise qualitativa da casca e da madeira</b> .....	104
<b>3.1.1</b>	<b>Análise Quantitativa da casca e da madeira</b> .....	114
<b>4</b>	<b>DISCUSSÃO</b> .....	123
<b>5</b>	<b>CONCLUSÃO</b> .....	128
	<b>REFERÊNCIAS</b> .....	129



## **CAPÍTULO 1 Introdução Geral**

### **1 INTRODUÇÃO**

No Brasil as espécies dos gêneros *Anadenanthera* são conhecidas popularmente como angicos (LEWIS et al., 2005; LORENZI, 2009), porque elas apresentam semelhança morfológica. Dentre as diversas utilidades dessas espécies, como produtos não madeiros, as cascas se destacam, uma vez que são tradicionalmente usadas, principalmente, no Nordeste brasileiro, para curtume de couro e tinturaria (CARVALHO, 2003; DURIGAN et al., 1997; LORENZI, 2002).

Uma importante área de aplicação do estudo da casca é a da sistemática e identificação de espécies. Ainda que a identificação das espécies se possa fazer a partir de características externas da casca, aspecto muito útil no trabalho de campo, uma identificação mais precisa, especialmente para separar espécies muito parecidas, só é possível a partir do conhecimento microscópico de sua estrutura interna (FURUNO, 1990). O uso de caracteres anatômicos das cascas, como auxílio na identificação e separação de espécies, é comprovado por diversos autores (ARCHER; WYK, 1993; BOATWRIGHT; TILNEY; WYK, 2009; CHATTAWAY, 1953; FURANO, 1990; JUNIKKA; KOEK-NOORMAN, 2007; KOTINA et al., 2012, 2013; POTGIETER; WYK, 1994; RICHTER, 1981; TROCKENBRODT; PARAMESWARAN, 1986). Portanto, elas se constituem em uma ferramenta taxonômica importante.

Outra área de aplicação de estudo é a do conhecimento estrutural e químico da casca, tendo em vista seu maior aproveitamento como matéria prima para determinados fins. A casca pode representar uma percentagem importante da fração comerciável do tronco e, para seu melhor aproveitamento e consequente valorização de resíduos, é necessária uma avaliação da

complexidade das cascas e da grande diversidade das propriedades químicas e físicas entre as cascas de diferentes espécies (HARKIN; ROWE, 1971).

Para além dessas áreas de aplicação, constatam-se estudos anatômicos das cascas com enfoque ecológico, mas, no geral, na consulta bibliográfica realizada, foram poucos trabalhos encontrados em que se estuda o efeito ambiental na alteração da estrutura anatômica da casca. Maior número de estudo que relaciona características anatômicas com aspectos ecológicos refere-se a alterações estruturais do lenho, embora a estrutura da casca seja mais variável do que a da madeira, não só no arranjo e tipos de tecidos, mas também na capacidade de adaptação ao ambiente. Quanto à posição que ocupa no tronco, a casca está sujeita mais diretamente aos efeitos imediatos de fatores externos do que a madeira (OUTER, 1986).

Sobre as espécies de *Anadenanthera*, a anatomia da madeira de *A. peregrina* foi descrita por Marcati (1992), Mori et al. (2003) e Valente et al. (2013). Estudo anatômico da madeira de *A. Colubrina*, também, foi realizado por Guimarães (2009) e Suckow (2009). Entretanto a anatomia das cascas foi descrita somente para a espécie *A. peregrina* por Costa et al. (1997). A composição química das cascas de ambas as espécies não foi estudada.

Estudos que tratam de anatomia e química da casca e madeira e, sobretudo, em espécies tropicais brasileiras, são escassos e de grande importância. Sua importância é reconhecida, principalmente, por se tratar de uma ferramenta para o conhecimento das árvores, para o entendimento das adaptações ecológicas das espécies e para o reconhecimento do potencial no processo de valorização das cascas como matéria - prima.

Em geral, o limitado uso da casca, aplicado a estudos taxonômicos e ecológicos deve-se, principalmente, à falta de conhecimentos sobre a sua estrutura e desenvolvimento. Fato justificado, em parte, pela heterogeneidade do material e pela morosidade das técnicas específicas envolvidas na preparação de

amostras, que é apontado por Trockenbrodt (1992), ao considerar fundamental para uma avaliação do valor diagnóstico da casca, assim como o conhecimento da variabilidade das suas características. Também é corroborado por Roth (1981) que considera apreciável o conhecimento do efeito ambiental na alteração da estrutura anatômica da casca.

Assim, considerando a importância da obtenção de características anatômicas da casca, com valor diagnóstico para distinção de espécies, bem como a composição química da casca com vista a um potencial processo de valorização como matéria - prima, e as características anatômicas da casca e do lenho, como recurso para verificar as estratégias utilizadas pelas plantas para sobreviver em diferentes habitats, este trabalho foi realizado com o objetivo geral de apresentar uma caracterização das cascas de *Anadenanthera peregrina* e *Anadenanthera colubrina* e um estudo da anatomia ecológica da casca e lenho de *Anadenanthera peregrina*. Para isso, foram definidos os seguintes objetivos específicos: i) analisar a anatomia e a composição química das cascas de ambas as espécies; ii) analisar a estrutura da casca e lenho de *A. peregrina* ocorrentes em duas regiões ecologicamente distintas, em Minas Gerais, Brasil.

## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

### 2.1 Características do gênero *Anadenanthera* e das espécies *Anadenanthera peregrina* (L.) spg e *Anadenanthera colubrina* (vell.) Brenan.

O gênero *Anadenanthera* pertence à subfamília Mimosaceae que é a menor subfamília de Leguminosae, com cerca de 80 gêneros e 3.270 espécies (LEWIS et al., 2005), distribuídas nas regiões tropicais e subtropicais (BARROSO, 1984). *Anadenanthera* é um pequeno gênero neotropical, reconhecido pela combinação de flores diplostêmones, folhas com nectário peciolar, inflorescência em glomérulo, fruto do tipo folículo e sementes compressas com ala estreita e marginal (QUEIROZ, 2009). Em 1964, este gênero foi revisado por Altschul que sinonimizou *A. falcata* (Benth.) Spegazzini, com *A. peregrina* (Lineau) Spegazzini e *A. macrocarpa* (Benth.) Brenan, com *A. colubrina* (Vellozo) Brenan (CARVALHO, 2003; LORENZI, 2002).

De acordo com a classificação de Altschul (1964), o gênero possui apenas duas espécies e quatro variedades: *Anadenanthera peregrina* (L.) Spg, variedades *peregrina* e *falcata* (Benth.) Altschul e *Anadenanthera colubrina* (Vell.) Brenan, variedades *colubrina* e *cebil* (Griseb.) Altschul (*cebil* ou *Vilca*).

Etimologicamente, os nomes atribuídos às espécies têm os seguintes significados: *peregrina* quer dizer viajante, ou seja, com distribuição ampla; *cebil* é uma palavra de origem espanhola, comum às leguminosas; e, em *falcata*, o fruto é recurvado do meio para o ápice, como uma foice; *colubrina* vem do latim *Coluber* em alusão à cobra (CARVALHO, 2003).

Nos herbários e nas atividades de campo, essas espécies, bem como suas variedades, são frequentemente confundidas, já que os padrões de crescimento, caules, flores, folhas e frutos são muito semelhantes (MAIA, 2012; QUEIROZ,

2009). De acordo com Altschul (1964), para diferenciar as espécies *A. Peregrina* e *A. Colubrina*, é necessário o exame de flores com botões, pois a identificação é obtida pela observação de glândulas nas anteras de *A. colubrina*, as quais estão ausentes em *A. peregrina*. Além disso, para a separação dessas espécies, Queiroz (2009) acrescenta a observação de bráctea involucral, localizada no ápice do pedúnculo, logo abaixo do glomérulo; superfície do fruto lisa ou reticulada e nectário vináceo, oblongo a oblongo-elíptico, localizado no pecíolo, entre a metade do comprimento do pecíolo e o primeiro par de pinas em *A. colubrina* e bráctea involucral, localizada no pedúnculo ca.  $\frac{3}{4}$  da sua base; superfície do fruto verrucosa e nectário vináceo, oblongo a linear, localizado próximo à metade do comprimento do pecíolo em *A. peregrina*.

As espécies *A. peregrina* e *A. colubrina* possuem distribuição desde as Antilhas, Norte da América do Sul, Peru, Bolívia, Argentina, Brasil e Paraguai (LEWIS et al., 2005). No Brasil, *A. Peregrina* está presente nos domínios fitogeográficos da Caatinga, Cerrado, Mata Atlântica e Amazônia, ocorrendo, naturalmente, no Sul (Paraná), Sudeste (Minas Gerais, São Paulo e Rio de Janeiro), Centro-Oeste (Mato Grosso, Goiás, Distrito Federal e Mato Grosso do Sul), Nordeste (Bahia e Paraíba) e Norte (Acre, Roraima, Pará e Amazonas) (MORIM, 2013) (Figura 1A). Em relação a suas variedades, a *falcata* (Figura 1B) é presente nas regiões Nordeste (Paraíba e Bahia), Centro-Oeste (Mato grosso, Mato Grosso do sul), Sudeste (Minas Gerais, São Paulo e Rio de Janeiro) e Sul (Paraná). Enquanto a *peregrina* (Figura 1C) ocorre nas regiões Norte (Roraima, Pará e Amozonas), Centro-Oeste (Goiás, Distrito Federal e Mato Grosso do Sul) e Sudeste (Minas Gerais).

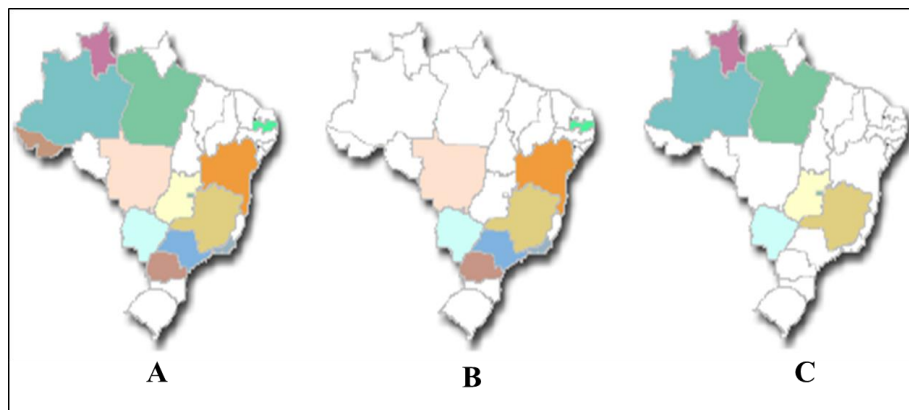


Figura 1 Ocorrência natural de *Anadenanthera peregrina* (A) e suas variedades *falcata* (B) e *peregrina* (C) no Brasil, retirado de Morim (2013)

No Brasil, *A. colubrina* está presente nos domínios fitogeográficos do Cerrado, Caatinga e Mata Atlântica, ocorrendo, naturalmente, no Sul (Paraná e Santa Catarina), Sudeste (Minas Gerais, São Paulo e Rio de Janeiro), Centro-Oeste (Mato Grosso, Goiás, Distrito Federal e Mato Grosso do Sul) e Nordeste (Pernambuco, Bahia, Paraíba, Piauí e Ceará) (MORIM, 2013) (Figura 1B). Em relação as suas variedades, *cebil* (Figura 2B) encontra-se na região Nordeste (Piauí, Ceará, Paraíba, Pernambuco e Bahia), Centro-Oeste (Mato grosso, Goiás, Destrito federal, Mato Grosso do Sul), sudeste (Minas Gerais) e Sul (Paraná e Santa Catarina). E *colubrina* (Figura 2C) nas regiões Nordeste (Bahia), Sudeste (Minas Gerais, São Paulo e Rio de Janeiro) e Sul (Paraná).

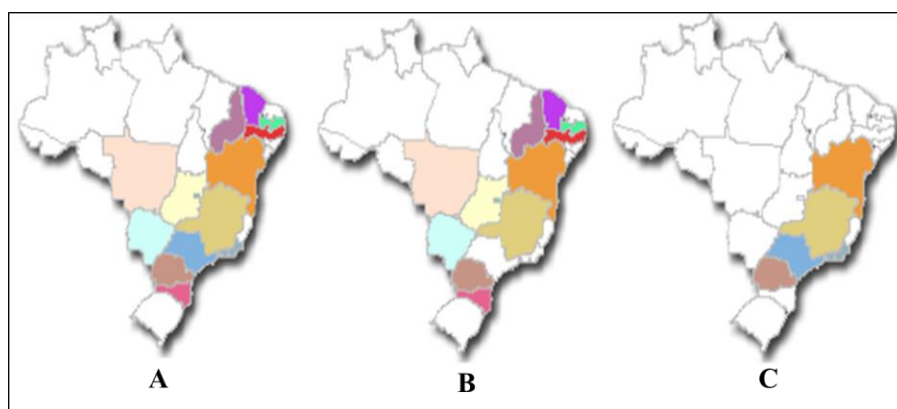


Figura 2 Ocorrência natural de *Anadenanthera colubrina* (A) e suas variedades *cebil* (B) e *colubrina* (C) no Brasil. Retirado de Morim (2013)

*A. peregrina* é uma espécie decídua de hábito arbóreo, popularmente conhecida como angico-vermelho, angico-do-morro, angico-branco, angico, paricá-de-curtume, paricá e paricá-da-terra-firme (LORENZI, 2009). As folhas dessa espécie são compostas com folíolos coriáceos, nítidos, frequentemente falcados, uninervados e glabos, bráctea involucral localizada no pedúnculo ca.  $\frac{3}{4}$  da sua base e nectário vináceo, oblongo a linear localizado próximo à metade do comprimento do pecíolo (MORIM, 2013; QUEIROZ, 2009). A casca, característica marcante da espécie, é grossa, com espessura de até 40 mm, de coloração preta ou marrom-escura, dura e profundamente gretada e fissurada (LORENZI, 2002). O tronco possui projeções/escamas em forma pontiagudas e casca interna laranja amarelada (MARCON et al., 2013). As flores são pequenas, reunidas em inflorescências em capítulo e o fruto é um folículo (vagem com uma única fenda longitudinal) achatado e deiscente, coriáceo, escamante ou verculoso, opaco, glabro, reticulado, com ápice agudo e margem levemente constricta entre as sementes, de coloração marrom, com 10 a 25 cm de comprimento e 17 a 25 mm de largura, com dez a quinze sementes (CARVALHO, 2003; LORENZI, 2002). A dispersão de frutos e semente é

autocórica, principalmente barocórica (LORENZI, 2002). A semente é muito semelhante à de *A. colubrina*, de formato circular, achatada, sem assa, brilhantes e de coloração escura (marrom ou preta) (CARVALHO, 2003; LORENZI, 2002).

No cerrado, *A. peregrina* é uma árvore de porte pequeno com até 16 m de altura, mas na floresta estacional semidecidual pode atingir até 25 m de altura (DURIGAN et al., 1997). É uma espécie colonizadora, comum na vegetação secundária, especialmente na fase de capoeirão, mas ocorre também em formações primárias (CARVALHO, 2003; DURIGAN et al., 1997) e, assim como *A. colubrina* é, muitas vezes, encontrada em grande densidade, formando capões com monodominância conhecidos como “angicais”.

*A. colubrina* é conhecida popularmente por angico-branco ou cobí. Apresenta o hábito arbóreo com 15 a 23 m de altura, sendo uma espécie decídua, heliófita e pioneira (LORENZI, 2002). Esta espécie é hermafrodita, com flores brancas a amareladas, reunidas em inflorescências terminais; o fruto é deiscente, por meio de uma única fenda, marrom escuro, estreito, com 11 a 30 cm de comprimento e 10 a 15 mm de largura, com cinco a quinze sementes. A dispersão de frutos e semente é autocórica, principalmente barocórica (LORENZI, 2002). Os frutos possuem superfície lisa ou reticulada e as folhas são compostas bipinadas, paripinadas e com raque que apresenta de 15 a 20 cm de comprimento; folíolo linear, assimétrico na base, obtuso; nectário vináceo, oblongo a oblongo-elíptico, localizado no pecíolo, entre a metade do comprimento do pecíolo e o primeiro par de pinas; bráctea involucral localizada no ápice do pedúnculo, logo abaixo do glomérulo (LORENZI, 2002; QUEIROZ, 2009). A casca tem muitas variações, tanto na cor (clara, acizentada, castanho-avermelhada, escura), como na textura (completamente coberta de acúleos, escura profundamente gretada, áspera, apresentando arestas salientes; ou com



poucos acúleos; ou lisa, totalmente desprovida de acúleos e com fissuras longitudinais profundas) (MAIA, 2012).

O uso dos angicos, normalmente, são os mesmos, porque as espécies são muito semelhantes com relação às características morfológicas e, por consequência, são frequentemente confundidas. Em primeiro lugar, ambas as espécies produzem madeira de boa qualidade que são usadas para lenha e carvão. Além disso, a madeira serrada ou roliça é indicada para tabuado, tacos, construção civil e naval, porque é densa e elástica com alburno pardo-rosado e cerne castanho, superfície lisa e lustrosa, de grande durabilidade quando exposta e com belos efeitos decorativos (LORENZI, 2009; MORI et al., 2003). No entanto, racha com facilidade e demora muito para secar, chegando a brotar durante o processo de secagem (FERRETTI et al., 1995). A casca e o lenho possuem tanino que é usado em curtume de couro e um corante (extraído da casca), utilizado em tinturaria (CARVALHO, 2003; DURIGAN et al., 1997; LORENZI, 2002).

Outras utilidades são relatadas para as espécies como no uso medicinal, já que ambas são usadas na medicina popular como antidiarreico e expectorante, sendo recomendadas para infecções das vias respiratórias e pulmonares, bronquites, tosses, asma e faringites (BALBACH, 1992) e como apícula, já que essas plantas são melíferas, que fornecem pólen e néctar (PIRANI; CORTOPSSI-LAURINO, 1993). Além do mais, essas espécies são recomendadas para a recuperação de áreas com erosão, recuperação de mata ciliar em terrenos de inundações e em solos pobres e rasos (DURIGAN; NOGUEIRA, 1990) e têm potencial para uso no paisagismo, principalmente, para arborização de rodovias, avenidas, praças e parques.

As sementes das espécies de *Anadenanthera* são utilizadas como alucinogênicas por vários grupos étnicos (ALTSCHUL, 1972). Várias preparações podem ser derivadas das sementes de *Anadenanthera*, com a intenção de serem

alucinogénos e podem ser inaladas pelo nariz, fumadas em cachimbos ou charutos ou preparadas em bebidas fermentadas (SCHULTES, 1967; TORRES; REPKE, 2006). Para ilustrar que *Anadenanthera* foi utilizada como alucinogénos, Rodd (2002) relatou a utilização de sementes de *Anadenanthera peregrina*, para preparação de “Yopo”, um alucinógeno que é inalado pelos curandeiros da tribo que habita Piaroa, situada no Sudeste da Venezuela. Em um estudo multidisciplinar, Torres e Repke (2006), também, descrevem que as plantas do gênero *Anadenanthera* foram as mais utilizadas como inebriantes xamânicos (êxtase em rituais que manifestam poderes incomus) pelos indígenas da América do Sul, sendo uma das evidências mais antigas para o uso de plantas psicoativas nessa região. Essas evidências são fornecidas por restos de sementes recuperadas em sítios arqueológicos datados por milênios de anos (TORRES; REPKE, 2006). Diante disso, os autores expõem que a *Anadenanthera* serviu como um papel central no desenvolvimento cultural das sociedades indígenas da América do Sul.

As espécies de *Anadenanthera* são indicadas como de elevada prioridade para conservação *in situ*, pois são consideradas vulneráveis, com possibilidade de passar à categoria “em perigo”, em um futuro bem próximo, se os fatores causais (exploração excessiva ou destruição dos habitats) continuarem operando (MAIA, 2012). Na Bahia, Região Nordeste do Brasil, por exemplo, a extração da casca de *Anadenanthera* já foi intensa, chegando a várias tolenadas por ano e, por isso, as espécies no estado já se encontram na lista das espécies ameaçadas de extinção, pela Portaria Normativa nº 37/92 do IBAMA e Resolução nº 1009/94 do CEPRAM que proíbe o corte dessas espécies nessa região.

## 2.2 Formação da casca

Casca é um termo não técnico usado para mencionar todos os tecidos situados externamente ao câmbio vascular ou ao xilema (ESAU, 1974; JUNIKKA, 1994; RICHTER et al., 1996; TROCKENBRODT, 1990). Em um estado de crescimento secundário, a casca é composta pelo floema secundário, por vezes, os restos de tecido primário, periderme e ritidoma. A casca forma-se a partir da atividade de dois meristemas: o câmbio vascular e o felogênio. O câmbio vascular é um meristema cujas células se dividem e produzem tecidos secundários, por divisões periclinais: xilema secundário para o interior e floema secundário para o exterior. No câmbio ocorrem, também, divisões anticlinais das células meristemáticas, formando novas células cambiais de modo a acompanhar o aumento em diâmetro da árvore. O tempo de vida da planta está relacionado, entre outros fatores, com a longevidade do câmbio.

O floema é constituído por diferentes tipos de células: elementos de tubo crivoso e células companheiras, parênquimas axial e radial, esclereídeos e fibras (ROTH, 1981). Os elementos de tubo crivoso e células companheiras, nas angiospermas e as células crivosas e de strasburger, nas gimnospermas, são responsáveis pelo transporte dos alimentos nas plantas vasculares, tais como açúcares, aminoácidos, lipídeos e hormônios para qualquer lugar onde exigido na planta, desde os mais diminutos ramos ou folhas na copa, até as mais frágeis raízes (FOELKEL, 2015). A ocorrência de uma proteína (*P-protein*) nos elementos de tubo crivoso é característica das angiospermas (BECK, 2010).

A função de armazenamento é assegurada pelas células de parênquima axial e radial e o parênquima radial desempenha, também, a função de condução no floema, na direção radial. Para acompanhar o crescimento em diâmetro da árvore, as células do floema (parênquima axial e radial) mantêm-se com capacidades meristemáticas, sofrem divisões e expansões, conferindo um

aspecto característico ao floema (ESAU, 1974; ROTH, 1981). É nesse momento que se inicia a diferenciação de duas zonas distintas: o floema não colapsado (floema condutor) e o floema colapsado (não condutor) (JUNIKKA, 1994). De fato, os elementos de tubo crivoso mantêm-se, fisiologicamente, ativos por pouco tempo e apenas uma pequena porção do floema se mantém ativa para a condução junto ao câmbio vascular. A parte não condutora do floema é estruturalmente diferente da parte condutora: os elementos de tubo crivoso colapsam, as células de parênquima podem dividir-se, dilatar e, também, esclerificar, originando a formação de raios dilatados (QUILHÓ; PEREIRA; RICHTER, 1999; TROCKENBRODT, 1991).

Nas angiospermas, podem ser encontrados dois tipos de esclereídeos: primários e secundários (APPEZZATO-DA-GLÓRIA; CARMELLO-GUERREIRO, 2012). Os esclereídeos primários diferenciam-se e maturam ao mesmo tempo em que as demais células do floema, sendo, por conseguinte, encontrados em algumas espécies no floema condutor ou não colapsado. Os secundários surgem somente nas regiões mais velhas, não condutoras ou colapsadas do floema e podem originar-se por esclerificação de células, tanto do parênquima axial quanto do radial. É frequente a ocorrência de cristais nas células de parênquima e nos esclereídeos (ROTH, 1981).

No floema primário, as fibras ocorrem nas partes externas do tecido, mas no floema secundário ocorrem em várias disposições. A diversidade de organização do floema secundário das eudicotiledôneas é em virtude, principalmente, da disposição das fibras. Em algumas espécies, as fibras estão ausentes ou constituem agrupamentos pequenos por entre as células parenquimáticas e elementos de tubos crivados, ou formam feixes tangenciais contínuos, alternadas com estratos, contendo elementos condutores e parênquima (APPEZZATO-DA-GLÓRIA; CARMELLO-GUERREIRO, 2012).

A periderme é um tecido protetor que substitui a epiderme e ocorre, no tronco e nas raízes da árvore e pode, também, originar-se em superfícies expostas por necrose, ferimento, ataque de parasitas, enxertia ou abscisão de folhas, galhos ou frutos. Estruturalmente, a periderme é constituída por felema (súber ou cortiça), feloderme e felogênio.

O felema é formado por células mortas, de formato poligonal quando observadas em secção tangencial e alongadas radialmente em secções transversal. As células do felema caracterizam-se, sobretudo pela suberificação da parede (ESAU, 1976) o que lhes confere uma função de proteção, por não permitir a perda de umidade do caule (APPEZZATO-DA-GLÓRIA; CARMELLO-GUERREIRO, 2012).

A feloderme consiste de células parenquimáticas ativas, semelhantes às células de parênquima cortical, podendo ser diferenciadas pelo seu alinhamento com as células do felogênio (APPEZZATO-DA-GLÓRIA; CARMELLO-GUERREIRO, 2012; ESAU, 1976). Normalmente, é constituída por apenas uma camada ou, no máximo, três ou quatro camadas (APPEZZATO-DA-GLÓRIA; CARMELLO-GUERREIRO, 2012).

O felogênio é o meristema responsável pela formação da periderme. É um meristema lateral que, por divisões periclinais de suas células, produz as células da feloderme para o interior e de felema para o exterior. Ao mesmo tempo, por divisões anticlinais das células cambiais, formam-se células intercalares no felogênio para acompanhar o aumento de diâmetro da árvore (ROTH, 1981). A produção de células de felema é maior do que a produção de células de feloderme. O felogênio é formado por um só tipo de células, geralmente retangulares e achatadas radialmente, quando observadas transversalmente, e retangulares ou irregulares, na forma, quando observadas em secção longitudinal (APPEZZATO-DA-GLÓRIA; CARMELLO-GUERREIRO, 2012).

Em algumas espécies, tais como *Quercus suber* (PEREIRA, 2007), *Fagus*, *Betula* e *Abies* (ROTH, 1981), o primeiro felogênio pode manter-se ativo na periderme por toda a vida da árvore ou durante muitos anos. No entanto, na maioria das espécies, o felogênio é ativo somente uma vez, enquanto em alguns casos pode ser reativado, passando por dois ou mais períodos de atividade. Neste caso, ao longo da vida da árvore, vão-se formando novos felogênios e peridermes, cada vez mais interiormente na casca, isolando, portanto, funcionalmente, os tecidos que ficam para o exterior, ou seja, tecido de floema e peridermes mais antigas. No seu conjunto, estes tecidos isolados pela última periderme formam o ritidoma.

O termo ritidoma refere-se ao conjunto de tecidos mortos, externos à última periderme formada, consistindo de peridermes sequenciais e de tecidos por elas englobados, incluindo frequentemente tecidos de origem primária (ESAU, 1976). O ritidoma pode apresentar diferentes tipos, de acordo com as características de formação do felogênio da espécie e se traduzem por diferenças estruturais, visíveis macroscopicamente e são utilizadas para descrever o tipo de casca da espécie. Os diferentes tipos são: ritidoma em escama, ritidoma “em anel” e uma combinação dos tipos “anel” e escama e com grandes porções de periderme.

O ritidoma em escama pode resultar da sobreposição de várias peridermes ramificadas, anastomosadas e descontínuas e que à medida que se formam, isolam porções de tecido de floema. Este tipo de ritidoma é o mais frequente e ocorre em gêneros variados, como, por exemplo, *Quercus* (QUILHÓ et al., 2012), *Pinus* (NUNES; QUILHO; PEREIRA, 1996) e *Virgilia* (KOTINA et al., 2013). Menos frequente é o aparecimento do ritidoma “em anel” que se forma quando as peridermes sucessivas são aproximadamente concêntricas em relação ao eixo da árvore (EVERT, 2006). Exemplos deste tipo incluem espécies de *Cupressus*.

### 2.3 Composição química da casca

A casca é constituída por componentes estruturais e não estruturais. Os componentes estruturais são macromoléculas (polissacarídeos – celulose e hemiceluloses –, lignina e suberina), de natureza polimérica e insolúvel que fazem parte da parede das células. Estes componentes conferem a forma e grande parte das propriedades físicas e químicas da casca. A remoção destes componentes implica a respectiva despolimerização (total ou parcial) e solubilização por meio de tratamentos químicos ou mecânicos, com a consequente alteração da estrutura celular e das propriedades da casca.

O teor e o grau de cristalinidade da celulose na casca são inferiores aos da madeira, embora possua o mesmo tipo de estrutura cristalina. As hemiceluloses abrangem vários compostos de diferente composição química e estrutura molecular, que são geralmente designadas pelos açúcares que contêm, por exemplo, glucomanana e galactoglucomanana. Na maior parte dos casos, as hemiceluloses encontradas nas cascas são semelhantes às da madeira, com algumas variações na composição (ROWELL et al., 2005).

Associada à celulose, é encontrada a lignina ou lenhina, cuja função é conferir rigidez, impermeabilidade e resistência a ataques microbiológicos e mecânicos aos tecidos das plantas. Segundo Harkin e Rowe (1971), a quantidade de lignina encontrada nas cascas (40 a 50%) das folhosas é superior à encontrada nas madeiras (18 a 25%). A suberina é um componente típico das cascas, constituindo um componente estrutural das paredes das células de felema (PEREIRA et al., 2010; ŞEN et al., 2015). Segundo Marquez e Pereira (1987), a principal característica química dos tecidos da cortiça é a presença de suberina. Dependendo da espécie e do tipo de casca, a suberina pode representar entre 2 a 45% dos componentes químicos estruturais da casca (ŞEN et al., 2015).

Os componentes não estruturais são encontrados no lúmen das células e nos espaços vazios ou nos canais celulares (PEREIRA; RODRIGUES; GRAÇA, 2003) e são, geralmente, compostos de massa molecular baixa, podendo ser removidos por processos físicos, por extração com solventes. Classificam-se em extrativos, compostos orgânicos que incluem uma grande variedade de compostos químicos e compostos inorgânicos (FENGEL; WEGENER, 1989; PEREIRA; RODRIGUES; GRAÇA, 2003).

Os extrativos resultam em grande parte do metabolismo secundário das células (PEREIRA et al., 2010; PEREIRA; RODRIGUES; GRAÇA, 2003). O teor de extrativos nas cascas é bastante superior ao da madeira (FENGEL; WEGENER, 1989; ROWELL, 2005). Em geral, os extrativos da casca incluem 3-5 vezes mais compostos hidrofílicos (compostos polares, tais como taninos e polifenóis), do que compostos lipofílicos (compostos não polares, tais como gorduras, ceras, terpenos, esteróis, dentre outros) (HARKIN; ROWE, 1971).

De uma maneira geral, as cascas contêm teores elevados de componentes inorgânicos que são determinados na forma de cinzas, pela combustão completa dos componentes orgânicos. Segundo Jensen et al. (1963), o teor de elementos minerais nas cascas pode ser cerca de dez vezes superior ao da madeira. Os mais comuns são cálcio, magnésio, potássio, sódio e ferro (BROWNING, 1963; ŞEN et al., 2015). Estes elementos surgem em células especializadas de parênquima, na forma de cristais de oxalato, carbonato de cálcio e magnésio.

#### **2.4 Características do xilema**

O xilema é o tecido responsável pelo transporte de água e solutos, a longa distância, armazenamento de nutrientes e suporte mecânico. O conjunto



xilema-floema forma um sistema vascular contínuo, que percorre a planta inteira, incluindo todas as ramificações do caule e da raiz (ESAU, 1974).

Sob o aspecto do desenvolvimento, o xilema é distinguido entre tecido primário e secundário. O tecido primário diferencia-se, durante a formação do corpo primário da planta, isto é, o corpo se origina do embrião e é formado a partir do procâmbio. O tecido vascular secundário é produzido, durante o segundo maior estágio de desenvolvimento da planta, durante o qual resulta um aumento de espessura pela adição lateral de tecidos novos ao corpo primário e é formado a partir do câmbio vascular, um meristema lateral (APPEZZATO-DA-GLÓRIA; CARMELLO-GUERREIRO, 2012; ESAU, 1974). Os xilemas primário e secundário são tecidos complexos, formados por elementos condutores, células parenquimáticas e fibras. Esses tipos celulares no xilema secundário estão organizados nos sistemas axial (ou vertical) e radial (ou horizontal). As células que integram o sistema axial têm origem nas iniciais fusiformes do câmbio. As células do sistema radial têm origem nas iniciais radiais do câmbio (ESAU, 1974).

O xilema secundário apresenta diversas formas e elementos com arranjo diversificado e, para observação anatômica, é necessário seccionar a madeira (xilema secundário) em três planos diferentes: transversal, longitudinal radial e longitudinal tangencial (ESAU, 1974). A secção transversal é exposta, quando se realiza um corte perpendicular ao eixo do tronco, seccionando, transversalmente, os elementos expostos, o que proporciona a observação dos diâmetros das células do sistema axial e o comprimento das células dos raios. A secção longitudinal radial é paralela aos raios e perpendicular aos anéis de crescimento e permite a observação da altura das células do sistema axial e a composição celular dos raios. A secção longitudinal tangencial é perpendicular aos raios e propicia a visualização da altura das células do sistema axial e da altura e largura dos raios.

## 2.5 Estudos anatômicos e químicos em casca

Os primeiros estudos sobre as cascas em espécies florestais surgem, a partir da década de 50, associados ao esclarecimento de questões taxonômicas, evolutivas e ecológicas (ANGYALOSSY-ALFONSO; RICHTER, 1991; COSTA et al., 1997; JUNIKKA; KOEK-NOORMAN, 2007; KOTINA et al., 2012, 2013; RICHTER, 1981; ROSAYRO, 1953; ROTH, 1981; TROCKENBRODT; PARAMESWARAN, 1986). Assim, o uso e consequente valorização de alguns dos componentes das cascas não é algo de novo. Produtos como as resinas, cortiça, fibras, corantes, gomas, pesticidas/venenos, materiais de látex, aromatizantes e compostos farmacêuticos têm sido utilizados há muitos anos e, entre alguns destes produtos, os mais conhecidos são, sem dúvida, a cortiça produzida pelo Carvalho (*Quercus suber L.*), que é mundialmente conhecida pelo seu uso, como vedante em garrafas de vinho, o quinino para a malária e a canela como aromatizante (ESAU, 1974; HARKIN; ROWE, 1971).

No entanto, com a atual preocupação ambiental e a escassez de madeira, surgem estudos da casca, dentre eles, os anatômicos e químicos, que abrem novas perspectivas para a sua valorização como matéria-prima (FABROWSKI et al., 2003; FERREIRA et al., 2015; LIMA et al., 2014; PEREIRA, 1982; PEREIRA; ARAÚJO; 1990; SANTOS et al., 2012; ŞEN et al., 2012; SILVA et al., 2011; VÁZQUEZ et al., 2012), dado que a casca pode representar uma percentagem importante da fracção comerciável do tronco e possui uma complexidade anatômica e uma diversidade das propriedades químicas interessantes.

Dentre as diversas aplicações da casca atualmente, destacam-se: o uso de taninos para a formulação de adesivos, na produção de biocidas e, recentemente, a aplicação na remoção de metais pesados de águas residuais de indústrias (JORGE et al., 2001; OLIVELLA et al., 2011; ŞEN et al., 2012);

extração de compostos fenólicos como antioxidantes naturais (SANTOS et al., 2012; VÁZQUEZ et al., 2012); substrato e condicionador do solo (HARKIN; ROWE, 1971); e como matéria-prima para açúcares fermentáveis (LIMA et al., 2014; SILVA et al., 2011). No entanto, o conhecimento sobre as características da casca está limitado a um baixo número de espécies, principalmente, aquelas de regiões temperadas ou com alta exploração comercial.

## 2.6 Estudos sobre anatomia ecológica de casca e xilema secundário

Estudos sobre anatomia ecológica da casca são raros. Destaca-se o trabalho de revisão, realizado por Roth (1981), em várias espécies, especialmente tropicais, reunindo informações sobre características anatômicas e adaptativas da casca de árvores em ambientes muito distintos, desde regiões extremamente áridas às florestas tropicais úmidas. No entanto, as observações da autora carecem de referências importantes em estudos de natureza comparativa tais como, a idade, o local de amostragem da árvore e a proveniência.

Outros trabalhos de destaque foram realizados por Quilhó (1998) sobre o efeito da proveniência e local na variabilidade da casca de *Eucalyptus globulus* Labill e por Kotina et al. (2013) sobre a significância taxonômica e ecológica da estrutura da casca do gênero *Virgilia* (Fabaceae, Podalyrieae). Estes estudos têm evidenciado que as variações ambientais refletem em diferenças estruturais na casca, especialmente, quanto às percentagens de tecidos, dimensões dos elementos celulares (fibras) e na estrutura da periderme.

Maior número de estudos que relacionam características anatômicas com aspectos ecológicos refere-se a alterações estruturais do xilema secundário. Os primeiros estudos com esse enfoque foram realizados, na década de 1970 (BAAS, 1973; CARLQUIST, 1975), no entanto, pode-se dizer que esse tipo de estudo, ainda, é raro nos trópicos, quando consideradas a riqueza da flora e a

variedade de ambientes (MARCATI; ANGYALOSSY-ALFONSO; BENETATI, 2001; NOVAES et al., 2010).

Como se verifica, estudos sobre a anatomia ecológica do xilema secundário é de grande relevância para a compreensão das estratégias de sobrevivência, usadas pelas espécies em diferentes ambientes, principalmente no que diz respeito à relação entre segurança e eficiência na condução de água (AGUILAR-RODRIGUEZ; TERRAZAS; LÓPES-MATA, 2006; BAAS, 1973; BARAJAS-MORALES, 1985; CARLQUIST; HOEKMAN, 1985; LUCHI, 2004; MELO JÚNIOR; CECCANTINI; BONA, 2011; NOVAES et al., 2010; SONSIN et al., 2012; TYREE; ZIMMERMANN, 2002; ZANNE et al., 2006).

Estes estudos comparativos têm evidenciado que, em geral, as variações ambientais refletem em diferenças estruturais no xilema secundário, especialmente quanto às dimensões dos elementos celulares (comprimento e espessura de fibra, frequência e diâmetro do vaso, largura e frequência de raio).

Tal como referido, são poucas informações sobre a potencial ação do ambiente sobre a anatomia da casca. Deste modo, dados resultantes de estudos ecológicos da casca, aliados a estudos similares da madeira, contribuem para um melhor conhecimento da espécie em relação a diversos aspectos tais como anatômicos, fisiológicos e/ou de adaptação ao meio, entre outros.

## REFERÊNCIAS

AGUILAR-RODRÍGUEZ, S.; TERRAZAS, T.; LÓPES-MATA, L. Anatomical wood variation of *Buddleja cordata* (Buddlejaceae) along its natural range in Mexico. **Trees**, Berlin, v. 20, n. 2, p. 253-261, Mar. 2006.

ALTSCHUL, S. V. R. **The genus *Anadenanthera* in Amerindian cultures**. Cambridge: Botanical Museum Harvard University, 1972. 96 p.

ALTSCHUL, S. V. R. A taxonomic study of the genus *Anadenanthera*. **Contributions from the Gray Herbarium of Harvard University**, Cambridge, n. 193, p. 1-65, 1964.

ANGYALOSSY-ALFONSO, V.; RICHTER, H. G. Wood and bark anatomy of *Buchenavia* Eichl. (Combretaceae). **IAWA Bulletin**, Leiden, v. 12, p. 123-141, 1991.

APPEZZATO-DA-GLÓRICA, B.; CARMELLO-GUERREIRO, S. M. **Anatomia vegetal**. Viçosa, MG: UFV, 2012. 404 p.

ARCHER, R. H.; WYK, A. E. van. Bark structure and intergeneric relationships of some South African Cassidoienae (Celastraceae). **IAWA Journal**, Utrecht, v. 14, n. 1, p. 35-53, 1993.

BAAS, P. The wood anatomical range in *Ilex* (Aquifoliaceae) and its ecological and phylogenetic significance. **Blumea**, Wageningen, v. 21, n. 2, p. 193-258, 1973.

BALBACH, A. **As plantas curam**. São Paulo: Missionária, 1992. 296 p.

BARAJAS-MORALES, J. Wood structural differences between trees of two tropical forests in Mexico. **IAWA Bulletin**, Leiden, v. 6, p. 355-364, 1985.

BARROSO, G. M. **Sistemática de angiospema do Brasil**. Viçosa, MG: UFV, 1984. v. 2, 377 p.

BECK, C. B. **An introduction to plant structure and development: plant anatomy for the twenty-first century**. 2<sup>nd</sup> ed. Cambridge: Cambridge University Press, 2010. 433 p.

BOATWRIGHT, J. S.; TILNEY, P. M.; WYK, B. E. van. The generic concept of *Lebeckia* (Crotalariaeae, Fabaceae): reinstatement of the genus *Calobota* and the new genus *Wiborgiella*. **South African Journal of Botany**, Pretoria, v. 75, n. 3, p. 546-556, Aug. 2009.

BROWNING, B. L. **The chemistry of wood**. New York: J. Wiley, 1963. 689 p.

CARLQUIST, S. **Ecological strategies in xylem evolution**. Berkeley: University of California Press, 1975. 259 p.

CARLQUIST, S.; HOEKMAN, D. A. Ecological wood anatomy of woody Southern Californian flora. **IAWA Bulletin**, Leiden, n. 6, p. 319-347, 1985.

CARVALHO, P. E. R. **Espécies arbóreas brasileiras**. Colombo: EMBRAPA Florestas, 2003. v. 1, 1039 p.

CHATTAWAY, M. The anatomy of bark: I., the genus *Eucalyptus*. **Australian Journal of Botany**, Melbourne, v. 1, n. 3, p. 402-433, 1953.

COSTA, C. G. et al. Bark anatomy of arborescent leguminosae of cerrado and gallery forest of central Brazil. **IAWA Journal**, Leiden, v. 18, n. 4, p. 385-399, 1997.

DURIGAN, G. et al. **Sementes e mudas de árvores tropicais**. São Paulo: Páginas Letras, 1997. 65 p.

DURIGAN, G.; NOGUEIRA, J. C. B. **Recomposição de matas ciliares:** orientações básicas. São Paulo: IF, 1990. 14 p. (Série Registros, 4).

ESAU, K. **Anatomia das plantas com sementes.** São Paulo: E. Blücher, 1974. 293 p.

ESAU, K. **Anatomia das plantas com sementes.** São Paulo: E. Blucher, 1976. 239 p.

EVERT, R. F. **Esau's plant anatomy:** meristems, cells and tissues of the plant body-their structure, function and development. 3<sup>rd</sup> ed. New York: J. Wiley, 2006. 601 p.

FABROWSKI, F. J. et al. Investigação da presença de óleo essencial em *Eucalyptus smithii* R.T. Baker por meio da anatomia de seu lenho e casca. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 13, n. 1, p. 95-106, jan. 2003.

FENGEL, D.; WEGENER, G. **Wood, chemistry, ultrastructure, reactions.** Berlin: W. de Gruyter, 1989. 613 p.

FERREIRA, J. P. A. et al. Selective fractioning of *Pseudotsuga menziesii* bark and chemical characterization in view of an integrated valorization. **Industrial Crops and Products**, London, v. 74, p. 998-1007, Nov. 2015.

FERRETTI, A. R. et al. Classificação das espécies arbóreas em grupos ecológicos para revegetação com nativas no Estado de São Paulo. **Florestar Estatístico**, São Paulo, v. 3, n. 7, p. 73-84, 1995.

FOELKEL, C. **Casca da árvore de eucalipto.** Disponível em: <<http://www.eucalyptus.com.br>>. Acesso em: 10 out. 2015.

FURANO, T. Bark structure of deciduous broad-leaved trees grown in the San in region, Japan. **IAWA Bulletin**, Leiden, v. 11, n. 3, p. 239-254, 1990.

GUIMARÃES, R. C. **Anatomia do lenho de *Anadenanthera colubrina* (Vell.) Brenan em diferentes fitofisionomias da Floresta Atlântica no estado do Rio de Janeiro:** Ilha Grande e Itatiaia. 2009. 44 p. Dissertação (Mestrado em Botânica) - Escola Nacional de Botânica Tropical, Rio de Janeiro, 2009.

HARKIN, J. M.; ROWE, J. W. **Bark and its possible uses.** Washington: USDA Forest Service, 1971. 41 p. (Forest Products Laboratory Report, FLP-091).

JENSEN, W. et al. The chemistry of bark. In: BROWNING, B. L. (Ed.). **The chemistry of wood.** Berlin: Interscience, 1963. p. 587-666.

JORGE, F. et al. Aplicações para as cascas de árvores e para os extractos taninosos: uma revisão. **Silva Lusitana**, Oeiras, v. 9, n. 2, p. 225-236, dez. 2001.

JUNIKKA, L. Survey of English macroscopic bark terminology. **IAWA Journal**, Leiden, v. 15, n. 1, p. 3-45, 1994.

JUNIKKA, L.; KOEK-NOORMAN, J. Anatomical structure of barks in neotropical genera of Annonaceae. **Annales Botanici Fennici**, Richmond, v. 44, p. 79-132, Mar. 2007. Supplement A.

KOTINA, E. L. et al. Notes on the taxonomic and ecological significance of bark structure in the genus *Virgilia* (Fabaceae, Podalyriaceae). **South African Journal of Botany**, Pretoria, v. 89, p. 240-243, Nov. 2013.

KOTINA, E. L. et al. The systematic significance of bark structure in southern African genera of tribe Heteromorphae (Apiaceae). **Botanical Journal of the Linnean Society**, London, v. 169, n. 4, p. 677-691, Aug. 2012.

LEWIS, G. P. et al. **Legumes of the world.** Kew: Royal Botanic Garden, 2005. 577 p.

LIMA, M. A. et al. Evaluating the composition and processing potential of novel sources of Brazilian biomass for sustainable biorenewables production. **Biotechnology Biofuels**, London, v. 7, n. 1, p. 1-19, Jan. 2014.



LORENZI, H. **Árvores brasileiras**: manual de identificação e cultivo de plantas arbóreas nativas do Brasil. 2. ed. Nova Odessa: Instituto Plantarum, 2002. 382 p.

LORENZI, H. **Árvores brasileiras**: manual de identificação e cultivo de plantas arbóreas nativas do Brasil. 3. ed. São Paulo: Instituto Plantarum, 2009. v. 2, 384 p.

LUCHI, A. Anatomia do lenho de *Croton urucurana* Baill. (Euphorbiaceae) de solos com diferentes níveis de umidade. **Revista Brasileira de Botânica**, São Paulo, v. 27, n. 2, p. 271-280, abr./jun. 2004.

MAIA, G. N. **Caatinga**: árvores e arbustos e suas utilidades. 2. ed. Fortaleza: Printcolor, 2012. 413 p.

MARCATI, C. R. **Estudo da anatomia e das propriedades tecnológicas da madeira do angico-vermelho (*Piptadenia peregrina* Benth)**. 1992. 94 p. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 1992.

MARCATI, C. R.; ANGYALOSSY-ALFONSO, V.; BENETATI, L. Anatomia comparada do lenho de *Copaifera langsdorffii* Desf. (Leguminosae-Caesalpinoideae) de floresta e cerrado. **Brazilian Journal of Botany**, São Paulo, v. 24, n. 3, p. 311-320, 2001.

MARCON, T. R. et al. Illustrated guide of arboreal Leguminosae Juss. **Biota Neotropical**, Santa Maria, v. 13, n. 3, p. 350-373, 2013.

MARQUEZ, A. V.; PEIREIRA, H. On the determination of suberin and other structural components in cork from *Quercus ilex* L. **Anais do Instituto Superior de Agronomia**, Lisboa, v. 22, p. 23-28, 1997.

MELO JÚNIOR, J. C. F.; CECCANTINI, G.; BONA, C. Anatomia ecológica do lenho de *Copaifera langsdorffii* Desf. (Leguminosae) distribuída em diferentes condições edáficas do cerrado sul-brasileiro. **Iheringia Série Botânica**, Porto Alegre, v. 66, n. 2, p. 189-200, nov. 2011.

MORI, C. L. S. O. et al. Caracterização da madeira de angico-vermelho (*Anadenanthera Peregrina* (Benth) Speng) para confecção de móveis. **Brasil Florestal**, Brasília, v. 23, n. 77, p. 29-36, 2003.

MORIM, M. P. *Anadenanthera*. In: LISTA de espécies da flora do Brasil. Rio de Janeiro: Jardim Botânico do Rio de Janeiro, 2013. Disponível em: <<http://floradobrasil.jbrj.gov.br/jabot/floradobrasil/FB22782>>. Acesso em: 14 dez. 2013.

NOVAES, F. S. et al. Wood anatomy of *Mollinedia glabra* (Spreng.) Perkins (Monimiaceae) in two restinga vegetation formations at Rio das Ostras, RJ, Brazil. **Anais Acadêmico Brasileiro de Ciências**, Rio de Janeiro, v. 82, n. 4, p. 915-924, dez. 2010.

NUNES, E.; QUILHO, T.; PEREIRA, H. Anatomy and chemical composition of *Pinus pinaster* bark. **IAWA Journal**, Utrecht, v. 17, n. 2, p. 141-149, 1996.

OLIVELLA, M. A. et al. Sorption performance of *Quercus cerris* cork with polycyclic aromatic hydrocarbons and toxicity testing. **BioResources**, Oxford, v. 6, n. 3, p. 3363-3375, 2011.

OUTER, R. W. den. Storied structure of the secondary phloem. **IAWA Bulletin**, Leiden, v. 7, n. 1, p. 47-51, 1986.

PEREIRA, H. **Cork: biology, production and uses**. Amsterdam: Elsevier, 2007. 336 p.

PEREIRA, H. Dosage des tanins du liege. **Anais Instituto Superior Agronomia**, Lisboa, v. 40, p. 9-15, 1982.

PEREIRA, H.; ARAÚJO, M. Raw-material quality of fast grown *Eucalyptus globulus* during the first year. **IAWA Journal**, Utrecht, v. 11, n. 4, p. 421-427, 1990.

PEREIRA, H. et al. **Qualidade e utilização tecnológica do eucalipto (*Eucalyptus globulus*)**. Lisboa: Centro de Estudos Florestais, 2010. 377 p.

PEREIRA, H.; RODRIGUES, J.; GRAÇA, J. Wood chemistry in relation to quality. In: BARNETT, J. R.; JERONIMIDIS, G. (Ed.). **Wood quality and its biological basis**. New York: Blackwell, 2003. p. 53-83.

PIRANI, J. R.; CORTOPASSI-LAURINO, M. (Coord.). **Flores e abelhas em São Paulo**. São Paulo: EDUSP; FAPESP, 1993. 192 p.

POTGIETER, M. J.; WYK, A. E. van. Bark structure of the southern African Icacinaceae. **IAWA Journal**, Utrecht, v. 5, n. 2, p. 161-170, 1994.

QUEIROZ, L. P. **Leguminosas da caatinga**. Feira de Santana: Universidade Estadual de Feira de Santana Bahia, 2009. 914 p.

QUILHÓ, T. **Variabilidade da estrutura anatômica da casca da *Eucalyptus globulus* Labill.** 1998. 222 p. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) - Universidade Técnica de Lisboa, Instituto Superior de Agronomia, Lisboa, 1998.

QUILHÓ, T. et al. Bark anatomy and cell size variation in *Quercus faginea*. **Turkish Journal of Botany**, Sohag, v. 37, n. 3, p. 561-570, May 2012.

QUILHÓ, T.; PEREIRA, H.; RICHTER, H. Variability of bark structure in plantation-grown *Eucalyptus globulus*. **IAWA Journal**, Utrecht, v. 20, p. 171-180, 1999.

RICHTER, H. G. Wood and bark anatomy of Lauraceae I. Aniba Aublet. **IAWA Bulletin**, Leiden, v. 2, p. 79-87, 1981.

RICHTER, H. G. et al. Padronização de critérios para a descrição anatômica da casca: lista de características e glossário de termos. **IF Série Registros**, São Paulo, v. 16, p. 1-25, 1996.

RODD, R. Snuff synergy: preparation, use, and pharmacology of yopo and Bonisteriopsis Caopi among the Piaroa of southern Venezuela. **Journal of Psychoactive Drugs**, San Francisco, v. 34, n. 3, p. 273-279, Sept. 2002.

ROSAYRO, R. A. Field characters in the identification of tropical forest trees. **Empire Forestry Review**, London, v. 32, p. 124-141, 1953.

ROTH, I. **Structural patterns of tropical barks**: Handb. Pflanzenanat. IX/3. Berlin: Borntraeger, 1981. 609 p.

ROWELL R. M. et al. Cell wall chemistry. In: ROWELL, R. M. (Ed.). **Handbook of wood chemistry and wood composites**. Boca Raton: CRC, 2005. p. 33-75.

SANTOS, S. et al. Phenolic composition and antioxidante activiy of *Eucalyptus grandis*, *E. urograndis* (*E. grandis* x *E. urophylla*) and *E. maidenii* bark extracts. **Industrial Crops and Products**, London, v. 39, p. 120-127, Sept. 2012.

SCHULTES, R. E. De plantis toxicariis e mundo novo tropicale commentations I. **Botanical Museum Leaflets**, Cambridge, v. 1, n. 9, p. 265-284, Apr. 1967.

ŞEN, A. et al. Heavy metals removal in aqueous environments using bark as a biosorbent. **International Journal of Environmental Science and Technology**, Oxford, v. 12, n. 1, p. 391-404, Mar. 2015.

ŞEN, A. U. et al. Removal of chromium (VI) in aquaeus environments usinhg cork anh heat treated cork samples from *Quercus cerris* and *Quercus suber*. **BioResources**, Oxford, v. 7, n. 4, p. 4843-4857, 2012.

SILVA, H. K. P. et al. Caracterização química e análise do potencial químico de cascas de cinco clones comerciais de *Eucalyptus* spp. visando a produção de etanol. In: SIMPÓSIO NACIONAL DE BIOCMBUSTÍVEIS, 4., 2011, Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro: BIOCROM, 2011. 1 CD-ROM.

SONSIN, J. O. et al. A comparison of the wood anatomy of 11 species from two cerrado habitats (cerrado *s.s.* and adjacent gallery forest). **Botanical Journal of the Linnean Society**, London, v. 170, n. 2, p. 257-276, Oct. 2012.

SUCKOW, I. M. S. et al. Anatomia da madeira e densidade básica de angico-branco *Anadenanthera colubrina* (vell.) Brenan. **IF Série Registros**, São Paulo, v. 40, p. 131-135, jul. 2009.

TORRES, C. M.; REPKE, D. *Anadenanthera*: visionary plant of ancient South America. Binghamton: The Haworth Herbal Press, 2006. 256 p.

TROCKENBRODT, M. Bark structure: variation and systematic utility. **IAWA Bulletin**, Leiden, v. 13, n. 2, p. 5-22, 1992.

TROCKENBRODT, M. Qualitative structural changes during bark development in *Quercus robur*, *Ulmus glabra*, *Populus tremula* and *Betula pendula*. **IAWA Bulletin**, Leiden, v. 12, p. 5-22, 1991.

TROCKENBRODT, M. Survey and discussion of the terminology used in bark anatomy. **IAWA Bulletin**, Leiden, v. 11, p. 141-166, 1990.

TROCKENBRODT, M.; PARAMESWARAN, N. A contribution to the taxonomy of the genus *Inga* Scop. (Mimosaceae) based on the anatomy of the secondary phloem. **IAWA Bulletin**, Leiden, v. 7, p. 62-71, 1986.

TYREE, M. T.; ZIMMERMANN, M. H. **Xylem structure and the ascent of sap**. Berlin: Springer, 2002. 283 p.

VALENTE, B. M. D. T. et al. Variabilidade radial e longitudinal das propriedades físicas e anatômicas da madeira de angico-vermelho. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 41, n. 100, p. 485-496, 2013.

VÁZQUEZ, G. et al. Extraction of antioxidants from eucalyptus (*Eucalyptus globulus*) bark. **Wood Science and Technology**, New York, v. 46, n. 1/3, p. 443-457, 2012.

ZANNE, A. E. et al. Patterns and consequences of differential vascular sectoriality in 18 temperate tree and shrub species. **Functional Ecology**, Oxford, v. 20, n. 2, p. 200-206, Apr. 2006.

**CAPÍTULO 2 Caracterização anatômica e química da casca de  
*Anadenanthera peregrina* (L.) Speg e *Anadenanthera  
colubrina* (Vell.) Brenan**

**RESUMO**

O presente estudo teve como objetivo apresentar uma caracterização anatômica e química da casca de *Anadenanthera peregrina* (L.) Speg e de *Anadenanthera colubrina* (Vell.) Brenan. A casca de ambas as espécies inclui o ritidoma, a periderme (felema, felogênio e feloderme), o floema colapsado e o floema não colapsado. Estruturalmente mostraram ser semelhantes no que se refere à presença, morfologia e distribuição dos elementos constituintes das várias camadas que compõem a casca. Caracteres distintivos entre as duas espécies estudadas não são muito marcados. Pequenas diferenças, em ambas as espécies, foram observadas, nomeadamente, facilidade de remoção da casca da madeira, maior quantidade de células taníferas e maior espessamento das células de felema de *A. peregrina* e maior quantidade de células esclerificadas no floema de *A. colubrina*. A composição química média das cascas de *A. peregrina* e *A. colubrina* foram, respectivamente: cinzas de 8,20% e 7,74%; extrativos totais 28,77% e 29,33%, principalmente correspondente para compostos polares que eram solúveis em etanol e água; lignina 18,85%, 18,88% e suberina 2,40% e 2,58%. A composição polissacarídeos mostrou predomínio de glucose e xilose (82,88% e 81,18%, 8,71 e 8,89 do total monossacáridos neutros, respectivamente). Os extratos das cascas de etanol-água continham um alto teor de compostos fenólicos e diferem, consideravelmente, entre as cascas de *A. peregrina* e *A. colubrina*, respectivamente: fenólicos totais 583,0 e 681,9 mg de ácido gálico equivalente/g de extrato, flavonoides 148,3 e 445,2 mg catequina equivalente/g extrato e taninos 586,9 e 97,5 mg de catequina equivalente/g de extrato. A atividade antioxidante correspondeu 237,5 e 268,5 mg Trolox/g de extrato, respectivamente. As cascas de *Anadenanthera* apresentam alto teor de extrativos, especialmente de extrativos polares e mostraram atividade antioxidante.

Palavras-chave: Angicos. Anatomia. Cascas. Composição química.

## ABSTRACT

This study aimed to present an anatomical and chemical characterization of *Anadenanthera peregrina* (L.) Speg and *Anadenanthera colubrina* (Vell.) Brenan bark. The bark of both species consist of the rhytidome, periderm (phellem, phellogen and phelloderm), collapsed phloem and non - collapsed phloem and structurally they were similar with regard to the presence, morphology and distribution of the bark tissues. Distinctive features between the two species are not well obvious. *A. peregrina* showed that the bark is easily removed from the wood, a large amount of taninniferous cells and greater felema cell and *A. colubrina* had a great quantity of sclerified cells in phloem. The mean chemical composition of *A. peregrina* and *A. colubrina* bark was respectively: ash of 8.20% and 7.74%; total extractives 28.77% and 29.33%, mainly corresponding to polar compounds that were soluble in ethanol and water; lignin 18.85%, 18,88% and suberin 2.40% and 2.58%; the polysaccharides composition showed a predominance of glucose and xylose (82.88% and 81.18%, 8.71 and 8.89 of total neutral monosaccharides, respectively). The ethanol-water bark extracts had a high content of phenolics and differ considerably between *A. peregrina* and *A. colubrina* bark, respectively: total phenolics 583.0 and 681.9 mg gallic acid equivalent/g extract, flavonoids 148.3 and 445.2 mg catechin equivalent/g extract and tannins 586.9 and 97.5 mg equivalent/g extract catechin. The antioxidant activity corresponded to 237.5 and 268.5 mg Trolox/g extract, respectively. The *Anadenanthera* bark have a high content of extractives, especially polar and showed antioxidant activity extractives.

Keywords: Angicos. Bark anatomy. Bark. Chemical composition.



## 1 INTRODUÇÃO

*Anadenanthera* é um pequeno gênero neotropical e, de acordo com Altschul (1964), possui apenas duas espécies, *Anadenanthera peregrina* (L.) Speg e *Anadenanthera colubrina* (Vell.) Brenan, que pertencem à família Leguminosae da subfamília Mimosaceae, ocorrendo, predominantemente, em florestas estacionais e matas ciliares (LEWIS et al., 2005; LORENZI, 2009; QUEIROZ, 2009).

Estas espécies apresentam grande semelhança morfológica e são diferenciadas por caracteres relativamente crípticos (QUEIROZ, 2009). Para diferenciá-las, é necessário o exame de flores com botões, folhas e frutos (ALTSCHUL, 1964; QUEIROZ, 2009). No entanto, quando exemplares dessas espécies são encontradas, em herbários e nas atividades de campo em estado vegetativo, a ausência de alguns desses caracteres macroscópicos tornam a casca da árvore um auxílio importante para a identificação.

Embora a identificação das espécies se possa fazer com base em características externas da casca, uma identificação mais precisa, especialmente para separar espécies muito parecidas, como as espécies *A. peregrina* e *A. colubrina*, só é possível com o conhecimento microscópico de sua estrutura interna (FURANO, 1990). Referem-se, aqui, aos trabalhos de Chattaway (1953) que, baseado na anatomia da casca demonstra sua importância no estudo de diferentes espécies do gênero *Eucalyptus*, de Alfonso (1987) que, a partir da anatomia do floema cria chaves de identificação para separação de espécies de Eucaliptos do Brasil; de Archer e Wyk (1993) que, de acordo com características anatômicas do floema, conseguiram distinguir seis tipos de cascas de alguns membros da subfamília Cassinoideae da África do Sul e de Boatwright, Tilney e Wyk (2009) que utilizaram características anatômicas das cascas para distinção entre gêneros segregados de *Lebeckia* Thunb.

Para além da importância que a casca tem na sistemática e identificação, a casca das árvores é um componente de biomassa complexo com uma grande diversidade estrutural e química. Este fato, aliado à atual preocupação ambiental com o que representa este resíduo florestal e à escassez de madeira, tem intensificado o interesse nos estudos da casca, permitindo novas perspectivas para a sua valorização como matéria-prima. São exemplos os trabalhos realizados por vários autores em espécies de clima temperado e tropicais (FABROWSKI et al., 2003; FERREIRA et al., 2015; FOELKEL, 2005; MIRANDA et al., 2015; PEREIRA; ARAÚJO, 1990; PEREIRA; MIRANDA, 1992; ŞEN et al., 2010).

Dentre as diversas aplicações da casca destacam-se: o uso de taninos para a formulação de adesivos, na produção de biocidas e, recentemente, a aplicação na remoção de metais pesados de águas residuais industriais (JORGE et al., 2001; OLIVELLA, 2011; ŞEN et al., 2012); extração de compostos fenólicos como antioxidantes naturais (MIRANDA et al., 2015; SANTOS, S. et al., 2012; VÁZQUEZ et al., 2012); como matéria-prima para açúcares fermentáveis (LIMA et al., 2014; SILVA et al., 2011) e uso na medicina tradicional (LIMA; MARTINS; SOUZA, 1998; SANTOS et al., 2013).

Em geral, o conhecimento sobre as características das cascas está limitado a um baixo número de espécies, principalmente, aquelas de regiões temperadas ou com alta exploração comercial (MIRANDA et al., 2015), como, por exemplo, *Quercus suber* L. (PEREIRA et al., 1987), *Eucalyptus globulus* Labill (QUILHÓ; PEREIRA; RICHTER, 1999, 2000), *Betula pendula* e *Eucalyptus globulus* (MIRANDA et al., 2013).

Pelo fato de *A. peregrina* e *A. colubrina* serem muito semelhantes, elas são frequentemente confundidas e, por consequência, seus usos normalmente são os mesmos. As cascas de ambas as espécies possuem taninos que são usados para curtume de couro e tinturaria (CARVALHO, 2003; DURIGAN et al., 1997; LORENZI, 2002; QUEIROZ, 2009). Além disso, são usadas na medicina

popular como antidiarreico, expectorante e antiinflamatórios, sendo recomendadas para o tratamento de infecções das vias respiratórias e pulmonares, bronquites, tosses, asma e faringites (BALBACH, 1992; MAIA, 2012).

A anatomia da madeira de *A. peregrina* foi descrita por Marcati (1992), Mori et al. (2003) e Valente et al. (2013) e estudo anatômico da madeira de *A. Colubrina*, também, foi realizado por Guimarães (2009) e Suckow et al. (2009), entretanto a anatomia das cascas foi descrita somente para a espécie *A. peregrina* por Costa et al. (1997). A composição química das cascas de *A. peregrina* e *A. colubrina* não foi estudada, mas alguns estudos fitoquímicos, farmacológicos, toxicológicos e de quantificação de taninos foram realizados com extrato das cascas como em *A. peregrina* (SARTORI; CASTRO; MORI, 2014; SARTORI et al., 2014) e *A. colubrina* (DAMASCENA et al., 2013; PAES et al., 2013; ROCHA et al., 2013; SANTOS et al., 2013; TRENTIN et al., 2013). No geral, pouca informação foi encontrada para as cascas deste gênero.

O objetivo deste estudo foi caracterizar a anatomia e a composição química das cascas de *A. peregrina* e *A. Colubrina*, para conhecimento das suas estruturas, com vista aos valores diagnósticos das características anatômicas, para distinção dessas espécies e com vista a um potencial processo de valorização como matéria - prima.

## 2 MATERIAL E MÉTODOS

### 2.1 Amostragem

Amostras das cascas foram coletadas de 3 árvores de *Anadenanthera peregrina* (L.) Speg. e de *Anadenanthera colubrina* (Vell.) Brenan, crescendo em um remanescente de floresta estacional semidecídua montana do bioma Mata Atlântica, localizado no campus da Universidade Federal de Lavras (Lavras-MG). A cidade de Lavras localiza-se na região Sul do Estado de Minas Gerais, à latitude de 21° 14' Sul e longitude 45° 00' Oeste, a uma altitude média de 900 m. Segundo a classificação de Köppen, o clima é do tipo Cwb de Köppen (mesotérmico com verões brandos e suaves e estiagem de inverno). A temperatura média anual do ar é de 19,4 °C e o total de precipitação pluvial de 1530 mm. As árvores foram selecionadas aleatoriamente e apresentam uma idade estimada\*, um diâmetro médio à altura do peito (1,30 m) e uma altura média que variou em *A. peregrina* de 12-14 anos, 12,5-14 cm e 5-7 m e em *A. colubrina* de 13-15 anos, 11 – 14,5 cm, 6,5 - 8 m, respectivamente.

(\*idade estimada foi obtida com a análise de densitometria de raios X, contagem de anéis e histórico das áreas). As análises de densitometria de raios X foram realizadas no Laboratório de Anatomia, Identificação e Densitometria de Raios X em madeira do Departamento de Ciências Florestais da ESALQ/USP).

### 2.2 Caracterização anatômica da casca

Para análise da estrutura macroscópica, prepararam-se amostras talhadas com serra de fita, que, posteriormente, foram polidas no plano transversal com lixa d'água para uma melhor visualização das camadas que formam a casca e distinção dos tecidos. As superfícies dos corpos de prova foram visualizadas

com uso de uma lupa Leica MZ6 e fotografadas com uma máquina digital Samsung 10 MP L201.

Para análise microscópica, as amostras das cascas foram impregnadas com polietileno glicol 1500 (PEG) e seccionadas com um micrótomo de deslize Leica SM 2400. Segundo Barbosa et al. (2010), o uso de policloreto de vinila - PVC permitiu a obtenção de secções finas (13-15  $\mu\text{m}$ ), na direção transversal, tangencial e radial da casca. Os cortes foram corados com chrysodine/azul de astral e montados em glicerina Kaiser. Após 24 horas, as lâminas foram submersas em álcool e acetato de butila (1:3), por 5 minutos, em acetato de butila 100%, por três minutos, para a remoção do policloreto de vinila e foram montadas em Entellan.

As cascas de todos os espécimes, também, foram seccionadas a partir do câmbio para a periferia e macerados numa mistura 1:1 de solução de  $\text{H}_2\text{O}_2$  a 30% e  $\text{CH}_3\text{COOH}$  a  $60^\circ\text{C}$  durante 48 h. Para cada espécime foi determinado o comprimento de 30 elementos de tubo crivoso e o comprimento, a largura total, a largura do lúmen e a espessura da parede de 30 fibras, em elementos dissociados e corados, com uma solução aquosa de azul astral e safranina.

Prepararam-se três lâminas por árvore e em cada uma foi medido o diâmetro cruzado de 30 elementos de tubo crivados em cortes transversais. Observações de microscopia de luz foram feitas usando Leica DMLA, fotomicrografias foram tiradas com a Nikon FXA e as medições foram feitas com o uso do software Leica Qwin V 3.5.0. A percentagem de tecidos foi determinada em cortes transversais a partir de três imagens sobrepondo uma grelha de 48 pontos. Para cada ponto foi registrado o tecido observado utilizando a opção “Count” do software Leica Application Suite V 4.2. A terminologia seguiu, principalmente, Richter et al. (1996) e Trockenbrodt (1990).

## **2.3 Análise química**

Amostras das cascas foram secas ao ar em condições ambientes. As amostras foram moídas, utilizando um moinho de corte (Retsch SM 2000) com uma peneira de saída de material 1x1 mm<sup>2</sup>. Depois foram peneiradas num aparelho vibratório, e a fracção de 40-60 mesh foi utilizada para a análise química. Uma amostra composta da casca das três árvores por espécie foi homogeneizada cuidadosamente antes da análise.

As amostras foram analisadas no laboratório de anatomia da madeira, no Instituto Superior de Agronomia (ISA), da Universidade Técnica de Lisboa, em Lisboa, Portugal.

### **2.3.1 Análise química sumativa**

Análise química sumativa incluiu a determinação de cinzas, extrativos solúveis em diclorometano, etanol e água, suberina, lignina Klason e solúvel em ácido e a composição monomérica de polissacarídeos. O teor de cinzas foi determinado por incineração de 2,0 g de casca da amostra a 525 °C, durante a noite e os resíduos pesados e relatados como uma percentagem das amostras originais.

A extração por solventes foi realizada num extrator de Soxhlet, utilizando 2 g de amostra, sucessivamente, com diclorometano, etanol e água, durante 6 h, 16 h e 16 h, respectivamente. Os extratáveis solubilizados por cada solvente foram determinados utilizando a diferença de massa a partir da massa do resíduo sólido, após secagem a 105 ° C e relatado como uma percentagem das amostras originais.

A quantidade de suberina foi determinada em 1,5 g de amostra de extração-livre por refluxo com 100 ml de uma solução a 3% de NaOCH<sub>3</sub> em

CH<sub>3</sub>OH durante 3 h (PEREIRA; ROSA; FORTES, 1987). A amostra foi filtrada, lavada com metanol, novamente submetida a refluxo com 100 mL de CH<sub>3</sub>OH, durante 15 minutos e filtrada novamente. Os filtrados combinados foram acidificados até pH 6 com 2 M de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> e evaporou-se até a secura. O resíduo foi suspenso em 50 mL de água e os produtos de alcoólise recuperado, com diclorometano em três extrações sucessivas, cada uma delas com 50 ml de diclorometano. Os extratos combinados foram secos sobre Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> anidro e evaporou-se até a secura. Os extratos de suberina, que incluem os de ácidos gordos e de álcoois gordos monómeros de suberina, foram quantificados por gravimetria, e os resultados expressos em percentagem de massa seca inicial.

Lignina Klason e solúvel em ácido e conteúdo de carboidratos foram determinados com 0,35 g de amostras extraídas e desuberinizadas. O ácido sulfúrico (72%, 3,0 ml) foi adicionado à amostra e a mistura colocada num banho de água a 30°C, durante 1 h, após o qual a amostra foi diluída a uma concentração de 3% de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> e hidrolisado durante 1 h a 120 ° C. A amostra foi filtrada a vácuo por um cadinho e lavado com água fervente purificada. Lignina Klason foi determinada como a massa do resíduo sólido, após secagem a 105 ° C e lignina solúvel em ácido foi determinada do filtrado pela medição da absorvância a 206 nm usando um UV/VIS. Lignina Klason e lignina solúvel em ácido foram relatadas como percentagem da amostra original e combinando para se obter o teor total de lignina.

Os polissacarídeos foram calculados com base na quantidade de monómeros de açúcar neutros liberados pela hidrólise total. O conteúdo dos monossacarídeos neutros foram quantificados por High Performance Anion Exchange Chromatography (um sistema Dionex ICS-3000 equipado com um detector electroquímico). A separação foi realizada com Amino trap plus CarboPacSA10 colunas de permuta aniônica. A fase móvel foi uma solução aquosa de NaOH a 2 nM em uma alíquota de 1,0 mL / min de fluxo a 25 °C.

### 2.3.2 Conteúdo fenólico no extrato da casca

Aproximadamente 1g de casca foi extraída com etanol/água (50/50, v/v) com uma proporção de líquido sólido 1:10 (m/v), durante 60 min a 50 °C, utilizando um banho ultrassônico. Os materiais insolúveis foram removidos por filtração e o extrato de sobrenadante foi armazenado a 4 °C. O resíduo sólido foi seco e o rendimento de extração foi calculado como a percentagem de perda de massa do material de partida. Fenólicos totais, flavonoides e teor de taninos e atividade antioxidante foram determinados no extrato.

Conteúdo dos compostos fenólicos totais foi determinado pelo método Folin-Ciocalteu utilizando ácido gálico como padrão. Resumidamente, uma alíquota (100 µl) do extracto foi misturado com 4 mL de reagente de Folin-Ciocalteu e, após 6 min, 4 mL de uma solução de Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> a 7% foi adicionado à mistura. Após 15 min de incubação num banho a 45 °C, a absorvância a 760 nm foi lida contra um branco preparado. Uma curva de calibração foi construída utilizando ácido gálico, como um padrão (0-150 mg/ml). O teor total de fenol foi expresso como miligramas de equivalentes de ácido gálico (GAE)/100g do extracto de casca seca.

O teor total de flavonoides foi determinado por um ensaio colorimétrico de cloreto de alumínio. Resumidamente, uma alíquota (1,0 ml) do extracto foi misturada com 4,0 ml de água desionizada, seguido de 0,3 mL de uma solução de NaNO<sub>2</sub> a 5%. Depois de 5 minutos, 0,3 ml de uma solução de AlCl<sub>3</sub>· 6H<sub>2</sub>O a 10% foram adicionadas à mistura. Após 5 min, 2,0 mL de solução 1 M de NaOH foram adicionados, e o volume total foi ajustado para 10,0 mL com água desionizada. A absorvância foi medida a 510 nm com uma correcção, utilizando um espaço em branco, e os resultados foram expressos em mg de (+) - catequina equivalentes (CE)/100 g do extracto de casca seca.



Teor de taninos foi determinado pelo método de vanilina- $H_2SO_4$ . Uma alíquota (1,0 ml) do extrato foi misturada com 2,5 ml de 1,0% (m/v) de vanilina em metanol absoluto e, em seguida, com 2,5 mL de 25% (v/v) de ácido sulfúrico em metanol absoluto para a reação vanilina com os polifenóis do extrato. O ensaio em branco foi preparado com o mesmo procedimento sem a vanilina. As absorvências foram registradas a 500 nm, após 15 minutos e os resultados foram expressos em mg de (+) - catequina equivalentes (CE)/100 g do extracto de casca seca.

### **2.3.3 Atividade antioxidante do extrato da casca**

A atividade antioxidante dos extratos da casca foi determinada, utilizando 2,2-difenil-1-picrylhydrazylhydrate (DPPH) e expressa em termos da quantidade de extrato requerida, para reduzir de 50% a concentração de DPPH (IC50) e equivalentes de Trolox (TEAC) numa base de extrato seco (mg Trolox / MG extrato seco). Em primeiro lugar, foram preparadas diferentes diluições do extrato inicial e do Trolox (0,2 mg / ml) em metanol. Uma alíquota de 100  $\mu$ L de cada solução metanólica do extrato e Trolox foi adicionada a 3,9 mL de uma solução metanólica de DPPH (24  $\mu$ g / mL). A amostra em branco consistiu em 100  $\mu$ L de metanol, adicionados a 3,9 ml de solução de DPPH. Após um período de incubação de 30 min, à temperatura ambiente no escuro, a absorvância foi medida a 515 nm.

A atividade de eliminação de radicais de cada amostra foi calculada pela percentagem de inibição de DPPH como se segue:  $I\% = [(Abs0 - ABS1) / Abs0] \times 100$ , em que Abs0 foi a absorvância do branco e ABS1 foi a absorvância na presença do extrato a diferentes concentrações.

A concentração de inibição de IC50, que representa a concentração de uma amostra necessária para sequestrar 50% dos radicais DPPH, foi obtida por

meio da representação gráfica da percentagem de inibição em função da concentração do extrato.

O efeito de eliminação do radical DPPH do extrato, também, foi expresso como a Trolox capacidade antioxidante equivalente (TEAC) calculada com base na curva de calibração com as concentrações da solução Trolox e a percentagem de efeito de eliminação do radical DPPH como: TEAC (mg Trolox equivalente/mg extrato ou casca) =  $[(\% \text{ inibição amostra} + n)/sxm]$ , em que n e s representam a intercepção e a inclinação da curva de calibração Trolox para DPPH e m é a quantidade de amostra em base seca mg.

A caracterização química das cascas de *A. peregrina* e *A. colubrina* foi realizada no Instituto Superior de Agronomia (ISA), da Universidade Técnica de Lisboa, em Lisboa, Portugal.

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

#### 3.1 Descrição anatômica de *Anadenanthera peregrina* (L.) Speg.

Todas as árvores de *A. peregrina* analisadas revelaram uma estrutura da casca semelhante. A casca é grossa (6,5-17 mm), facilmente destacada da madeira (Fig. 1a), possui uma cor marrom, dura ao toque, com superfície longitudinalmente ondulada, com muitas escamas aparentes e com fissuras estreitas, variando para largas, algumas vezes, cortando profundamente as camadas do ritidoma (Fig. 1b). A casca inclui o ritidoma e o floema (Figs. 1c, 2a).



Figura 1 Casca de *Anadenanthera peregrina* (Benth) Speng

Legenda: A. Remoção da casca; B. Superfície da casca; C. Secção da casca (área com escamas/projeções cônicas) evidenciando ritidoma (R) e floema (FL). Barra de escala = 1 mm.

O ritidoma é escamoso e consiste em várias peridermes sequenciais (que persistem durante um longo período de tempo) e lenticelas (Fig. 2b). As peridermes são bem desenvolvidas e ondulantes (Figs. 2b, 3a), com algumas células de felema e feloderme esclerificadas e, por vezes, muitas com compostos orgânicos (Fig. 2b-c). O felema é constituído por células tubulares com paredes tangenciais espessas (Figs. 2b-c, 3b). A feloderme é formada por 2 ou 3 camadas de células, variando de retangular para redondas, com paredes finas e outras podendo espessar e até esclerificar (Figs. 2c, 3b).

Abaixo da periderme, surge uma zona com células semelhantes a corticais, aqui, designada por “córTEX”, em que se pode visualizar a formação de células esclerificadas ou até nódulos de esclereídeos; esta zona é limitada inferiormente por um anel de células esclerificadas fazendo a transição para o floema (Fig. 2a). O floema inclui uma porção mais interna, junto ao câmbio, designada por floema não colapsado, seguido do floema colapsado. A transição do floema colapsado para o floema não colapsado é gradual (Fig. 2a). O floema não colapsado caracteriza-se pela presença de elementos de tubo crivoso e alternância de parênquima axial e fibras (Fig. 2e).

Os elementos de tubo crivoso são solitários ou em grupos com arranjo tangencial acompanhados de células companheiras; possuem áreas crivadas laterais e suas placas crivosas são inclinadas, escalariformes e compostas com 5-10 áreas crivosas por placa, igualmente espaçadas; os diâmetros tangenciais dos elementos crivosos são, em média, de 25-28,5  $\mu\text{m}$  e o comprimento de 275-326  $\mu\text{m}$  (Fig. 4d). As células companheiras são difíceis de reconhecer em seções transversais e longitudinais.

O parênquima axial representa 34,05% do tecido da casca e no floema não colapsado encontra-se em faixas tangenciais de 2-6 células alongadas axialmente, com paredes finas (Fig. 2e). As fibras representam 36,88% de tecido da casca e possuem comprimento médio de 877-1.261  $\mu\text{m}$ , são delgadas com

paredes de 6,4  $\mu\text{m}$  de espessura média e ocorrem em grupos com disposição tangencial entre os raios (Fig. 2 d-e).

Os raios representam 13,48% de tecido da casca e são largos, variam de 7-28 células de altura, 2-4 séries e 6-12 células por milímetro linear, compostos por células procumbentes (Figs. 3d, 4a, b). Na região mais interna do floema, os raios são ondulados e, no sentido da periderme, eles distorcem (Fig. 2a,d). Nos raios algumas células secretoras foram observadas (Fig. 4c).

No floema colapsado, os elementos de tubo crivoso, juntamente com as células companheiras, encontram-se colapsados (Figs. 2d, 3c). No floema colapsado, distinguem-se duas zonas: 1) uma em que, não obstante o colapso dos elementos condutores, mantém a organização de tecidos com alternância do parênquima axial e as faixas tangenciais das fibras entre os raios, estes apenas com leve distorção; 2) segue-se uma zona mais externa em direção à periderme em que existe maior distorção dos raios e proliferação de células constituindo o tecido de dilatação. Algumas destas células esclerificam e até pode haver formação de nódulos. O tecido de dilatação é, portanto, essencialmente, proveniente do parênquima radial.

Células secretoras foram observadas no parênquima axial e nos raios e, em corte transversal, aparecem em grupos e, por vezes, com grandes diâmetros (Figs. 2d, 3c, 4c). Cristais prismáticos ocorrem abundantemente em séries nas células do parênquima axial perto das fibras e, por vezes, são de igual comprimento (Figs. 3d, 4c, 5b). Grãos de amido foram frequentemente observados (Fig. 5a). É, também, frequente a observação de cristais nas células esclerificadas da feloderme (Fig. 5b).

Os esclereídes representam 1,82% de tecido da casca e são vistos como células solitárias em pequenos ou grandes grupos e camada tangencial próxima à periderme (Fig. 2a). Eles possuem paredes espessas, lignificadas e atingem diferentes tamanhos e, com frequência, incluem grandes cristais prismáticos.

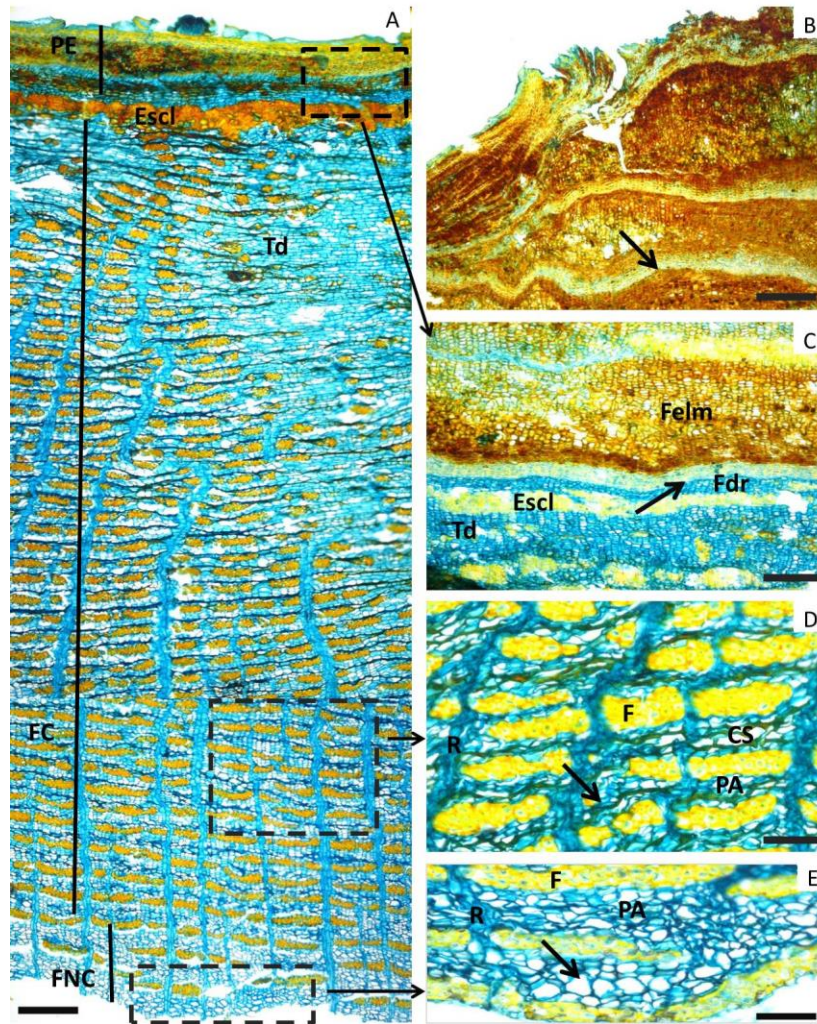


Figura 2 Fotomicrografias da secção transversal da casca de *Anadenanthera peregrina* (L.) Speg

Legenda: A. Peridermes (PE), floema colapsado (FC) e floema não colapsado (FNC), esclereídes (Escl), tecido de dilatação (td) e zonas demarcadas em detalhe: B. Peridermes sequenciais (seta). C. Felema (Felm), Feloderme (Fdr), felogênio (seta), tecido de dilatação (Td) e esclereídoes (Escl). D. Elemento de tubo colapsado (linha escura (seta)), células secretoras (CS), parênquima radial (R), parênquima axial (PA) e fibras (F). E. Elemento de tubo crivoso em grupos e células companheiras (seta) e parênquima radial (R) e fibras (F). Barras: A = 00  $\mu\text{m}$ , B-E = 40  $\mu\text{m}$ .

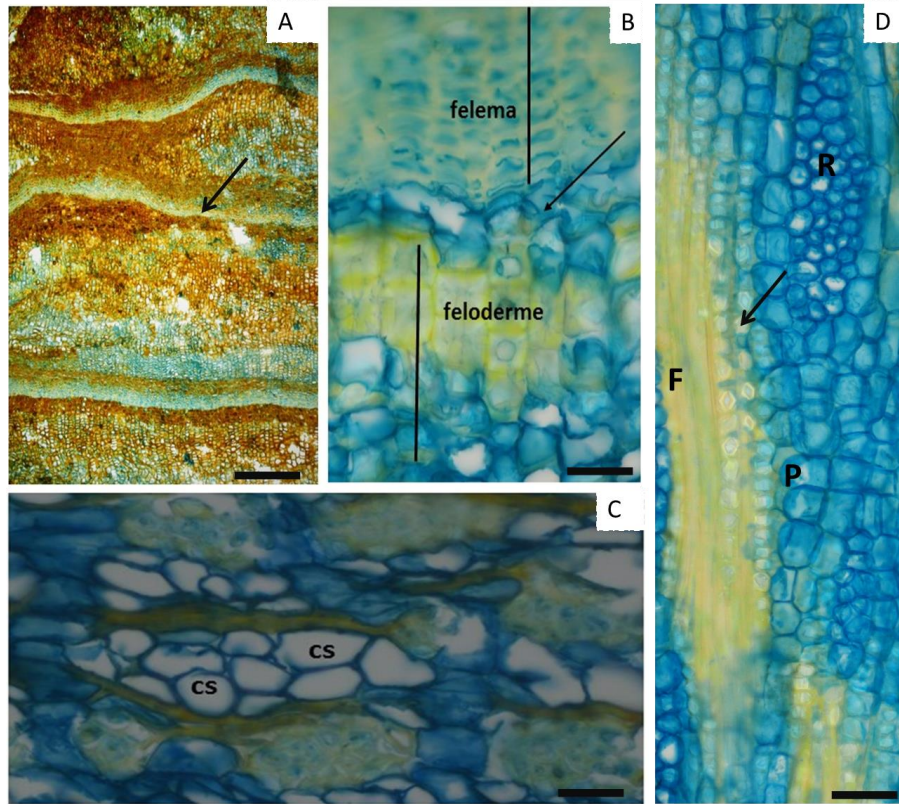


Figura 3 Fotomicrografias de secções transversal (A, C) e longitudinal tangencial (D) da casca de *Anadenanthera peregrina* (L.) Speg

Legenda: A. Ritidoma, peridermes sequenciais (seta). B. Periderme com destaque da feloderme, felogênio (seta) e felema. C. Células secretoras no floema colapsado (CS). D. Séries de cristais nas células do parênquima axial (setas), próximas às fibras (F) Barra: A = 100  $\mu\text{m}$ , B = 10  $\mu\text{m}$  e C = 40  $\mu\text{m}$ .

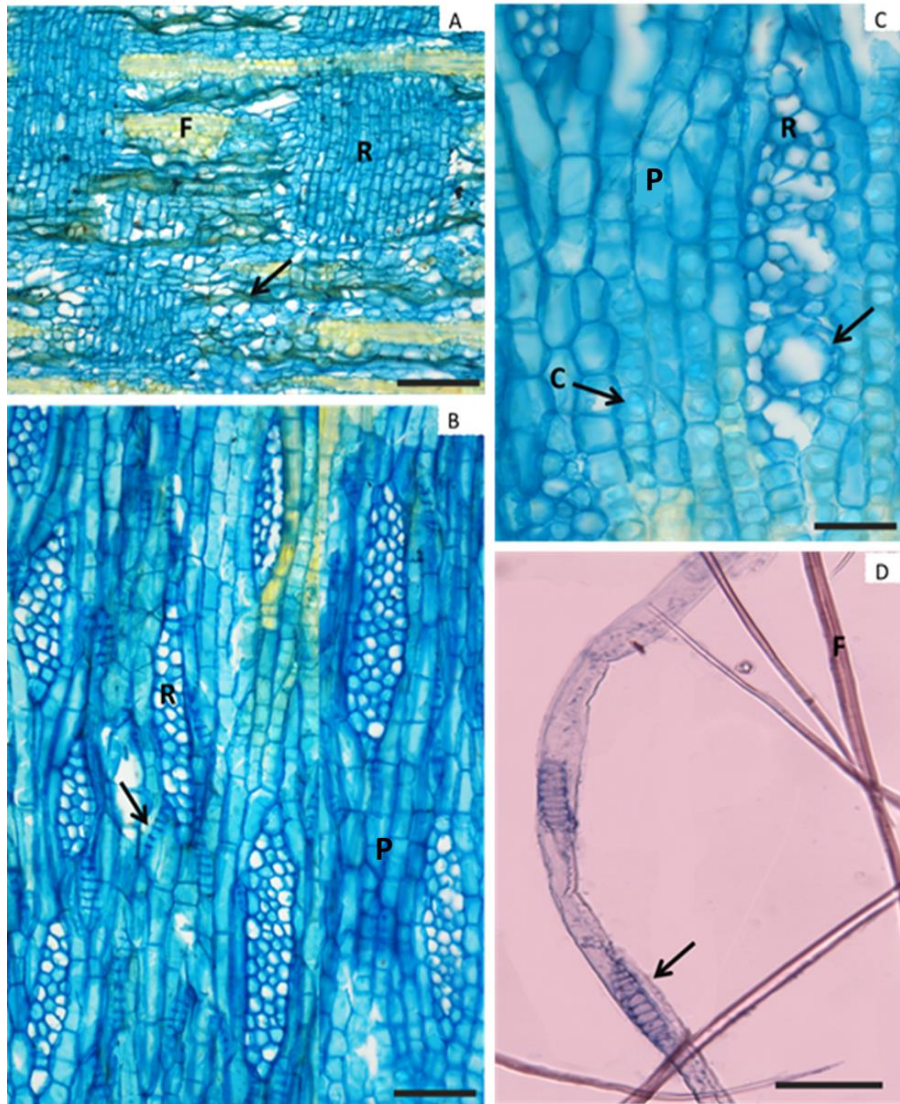


Figura 4 Fotomicrografias de seções longitudinais e elementos dissociados da casca de *Anadenanthera peregrina* (L.) Speg

Legenda: A. Secção radial, fibras (F), raios (R) e elementos de tubo crivoso colapsado (seta). B. Secção tangencial, placa crivosa (seta) e raios (R) e o parênquima (P). C. Secção tangencial evidenciando raio (R) com células secretoras (seta), parênquima axial (P), cristais em células do parênquima axial (C, seta). D. Macerado, elemento de tubo crivoso (placa crivosa (seta)) e fibras (F). Barras: A-C = 40µm e D = 100 µm.



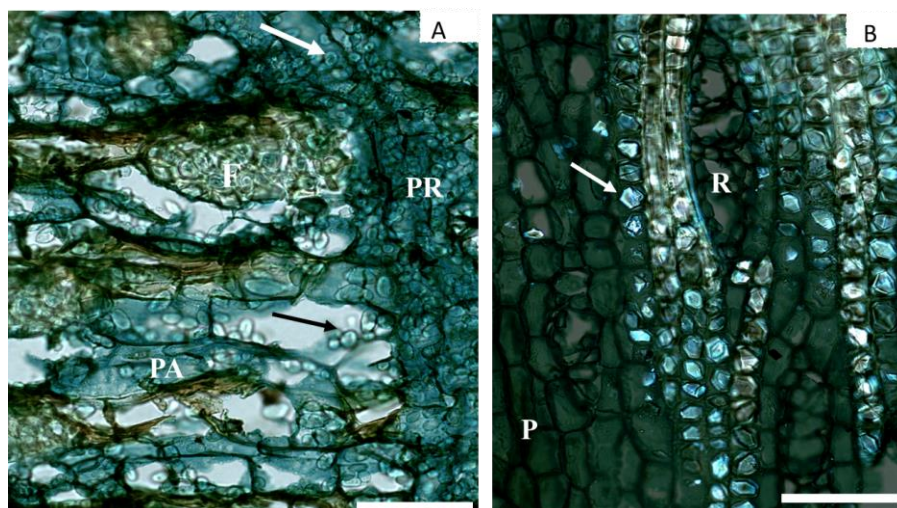


Figura 5 Fotomicrografias com uso de luz polarizada de secções transversal e longitudinal da casca de *Anadenanthera peregrina* (L.) Speg

Legenda: A. Secção transversal, fibras (F), parênquima radial (PR) e grãos de amido (setas). B. Secção tangencial, raio (R), parênquima (P) e cristais (seta). Barras: A-B = 50µm.

### 3.1.1 Descrição anatômica de *Anadenanthera colubrina* (Vell.) Brenan

Todas as árvores de *A. colubrina* analisadas possuem estrutura da casca, em geral, semelhante. A casca é grossa (5-12,5 mm), marrom, dura ao toque, não facilmente destacada da madeira e a sua superfície é profundamente franzida com grandes e profundos sulcos entre as escamas (Fig. 6a). A casca inclui o ritidoma e o floema (Figs. 6b, 7a). O ritidoma é escamoso bem desenvolvido e consiste em várias peridermes sequenciais (3-4), desenvolvidas e ondulantes, com presença de vários grupos de células esclerificadas no felema que é constituído por células tubulares com paredes tangenciais espessas e, por vezes, com compostos orgânicos (Figs. 7 a-b), com presença de lenticelas. A feloderme é formada por 2 ou 3 camadas de células retangulares para redondas, com paredes finas e outras podem espessar e até esclerificar (Fig. 7b).

O floema de *A. colubrina* caracteriza-se por uma zona inicial de floema não colapsado, próxima ao câmbio vascular, muito organizado com uma alternância bem marcada entre o parênquima axial, os elementos de tubo crivoso e os feixes de fibras, sendo esta com uma disposição tangencial apenas interrompida pelos raios. Esta estrutura é mantida, ao longo de todo o floema, com exceção das zonas onde se diferenciam grandes porções de tecido de dilatação em forma de cunha e onde se formam nódulos de tecido esclerificado. Segue-se uma zona de aparência de células tipo cortical (“córTEX”) que confina com as células de feloderme alinhadas radialmente e que podem esclerificar. A transição do floema colapsado para o floema não colapsado é gradual e um anel de tecido esclerificado faz a transição para o floema colapsado (Fig. 7a).

Os elementos de tubo crivoso com as células companheiras são solitários ou em grupos e com um arranjo tangencial entre as células de parênquima axial; possuem áreas crivadas laterais e têm placas crivosas inclinadas, compostas e escalariformes com 5-10 áreas crivadas por placa e igualmente espaçadas; o diâmetro tangencial médio dos elementos de tubo crivoso varia de 27,29 – 31,9  $\mu\text{m}$  e o comprimento de 320-324  $\mu\text{m}$  (Fig. 9e). No floema colapsado estes elementos crivosos e células companheiras são colapsados (Fig. 7c). As células companheiras são difíceis de reconhecer nas seções transversais e longitudinais.

O parênquima axial representa 25,25% de tecido da casca e, em secção transversal, as células têm formato redondo tendendo a retangular, paredes finas não lenhificadas e dispõem-se em faixas de 2-6 células de largura (Fig. 7c) junto aos elementos crivosos.

As fibras representam 24,31 % e dispõem-se paralelamente ao câmbio vascular em grupos tangenciais com cerca de 3 a 4 células de largura (Fig. 7a, c). As fibras são delgadas com lumes estreitos, suas paredes possuem espessura média de 6,8  $\mu\text{m}$  e o comprimento varia de 1187 a 1196  $\mu\text{m}$ , acompanhadas por

células do parênquima com séries cristalíferas que, por vezes, são de igual comprimento (Fig. 8b, 10a).

Os raios representam 13,24% de tecido da casca e são multisseriados com 2-4 series compostos por células procumbentes (Fig. 8a). Possuem de 6-26 células de altura e 6-11 células por milímetro linear (Fig. 9b). Na região mais interna do floema, os raios são ondulados e, no sentido da periderme, eles distorcem (Fig. 7a). Ainda, no raio, algumas células secretoras foram observadas (Fig. 8b). No floema colapsado, estas células proliferaram e expandiram formando o tecido de dilatação e grande percentagem dessas células esclerificaram (Fig. 7a, c).

O córtex é persistente e forma uma zona distinta próxima à periderme, composto por camadas de células isodiamétricas, radialmente achatadas de paredes finas, limitado inferiormente por um anel de células esclerificadas (Fig. 7a-b). Células secretoras foram observadas no parênquima axial e nos raios e, em corte transversal, aparecem em grupos e, por vezes, com grande diâmetros (Fig. 7c, 8a, 9d). Grãos de amido, também, foram frequentemente observados (Figs. 9b-c, 10b).

Os esclereídes representam 7,89% de tecido da casca e possuem paredes espessas, lignificadas, com diferentes tamanhos e, frequentemente, incluem grandes cristais prismáticos, sendo vistos como células solitárias, em pequenos ou em grandes grupos e em camada tangencial próxima à periderme (Fig. 7a-b).

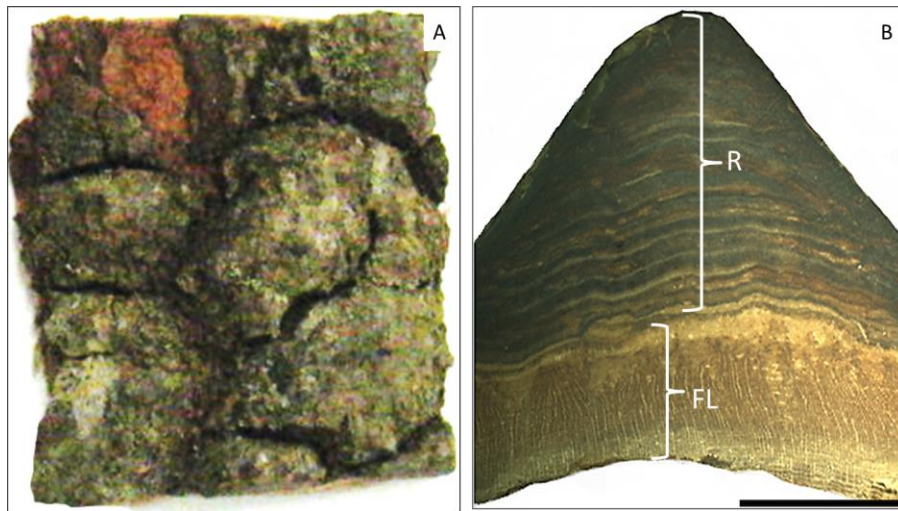


Figura 6 Casca de *Anadenanthera colubrina* (Vell.) Brenan

Legenda: A. Superfície da casca; B. Secção da casca com escama/projeções cônicas, evidenciando e ritidoma (R) e floema (FL). Barra de escala = 1 mm.

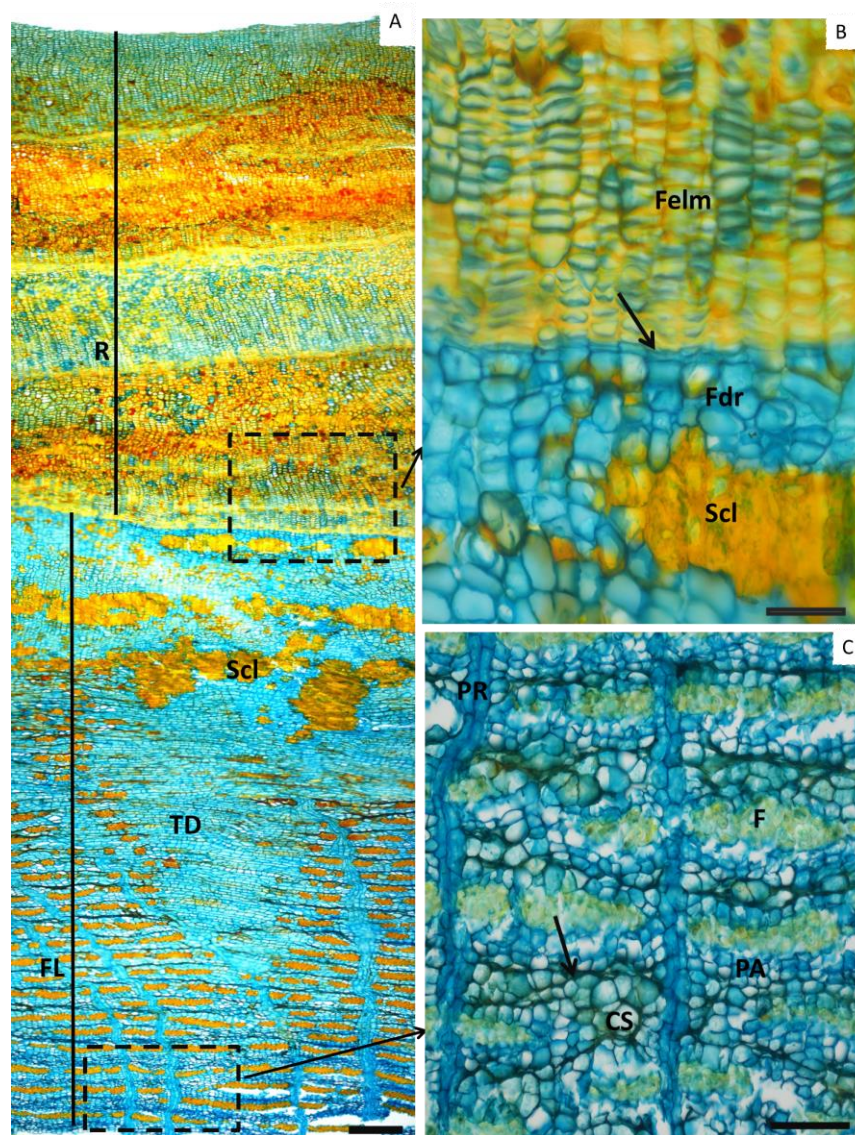


Figura 7 Fotomicrografias da secção transversal da casca de *Anadenanthera colubrina* (Vell.) Brenan

Legenda: A. Ritidoma (R) com várias peridermes sequenciais e floema (FL), esclereídes (Scl), tecido de dilatação (TD) e zonas demarcadas em detalhe: B. Felema (Felm); felogene (seta) e feloderme (Fdr). C. Elemento de tubo crivoso colapsado (linha escura (seta)), parênquima radial (PR), parênquima axial (PA) e fibras (F). Barras: A= 200 $\mu$ m, B-C = 120 $\mu$ m.

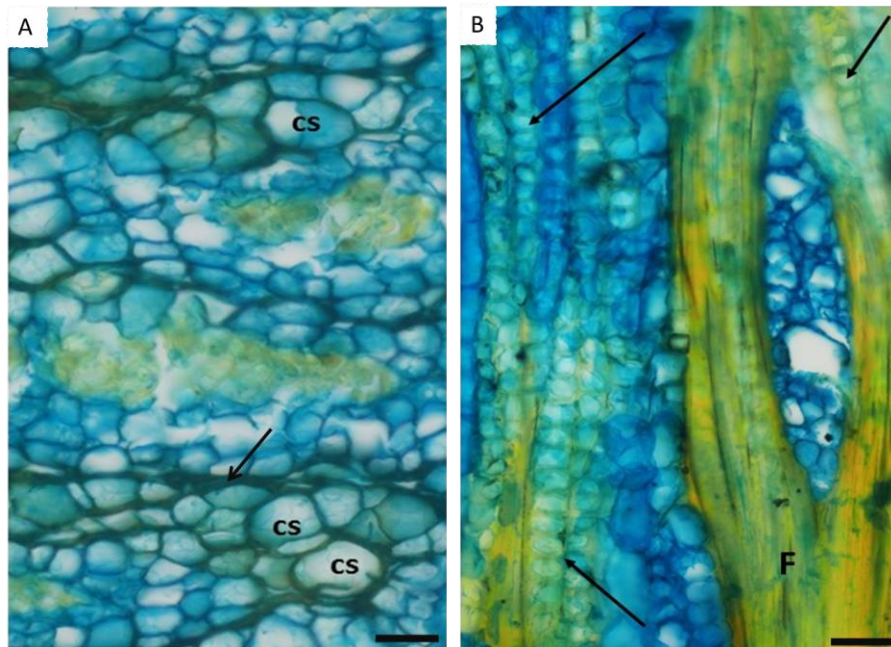


Figura 8 Fotomicrografias de secções transversal e longitudinal tangencial da casca de *Anadenanthera peregrina* (L.) Speg

Legenda: A. Células secretoras no floema colapsado (CS), Elemento de tubo colapsado (linha escura (seta)). B. Séries de cristais nas células do parênquima axial (setas), próxima às fibras (F) Barra: A e B = 20  $\mu$ m.

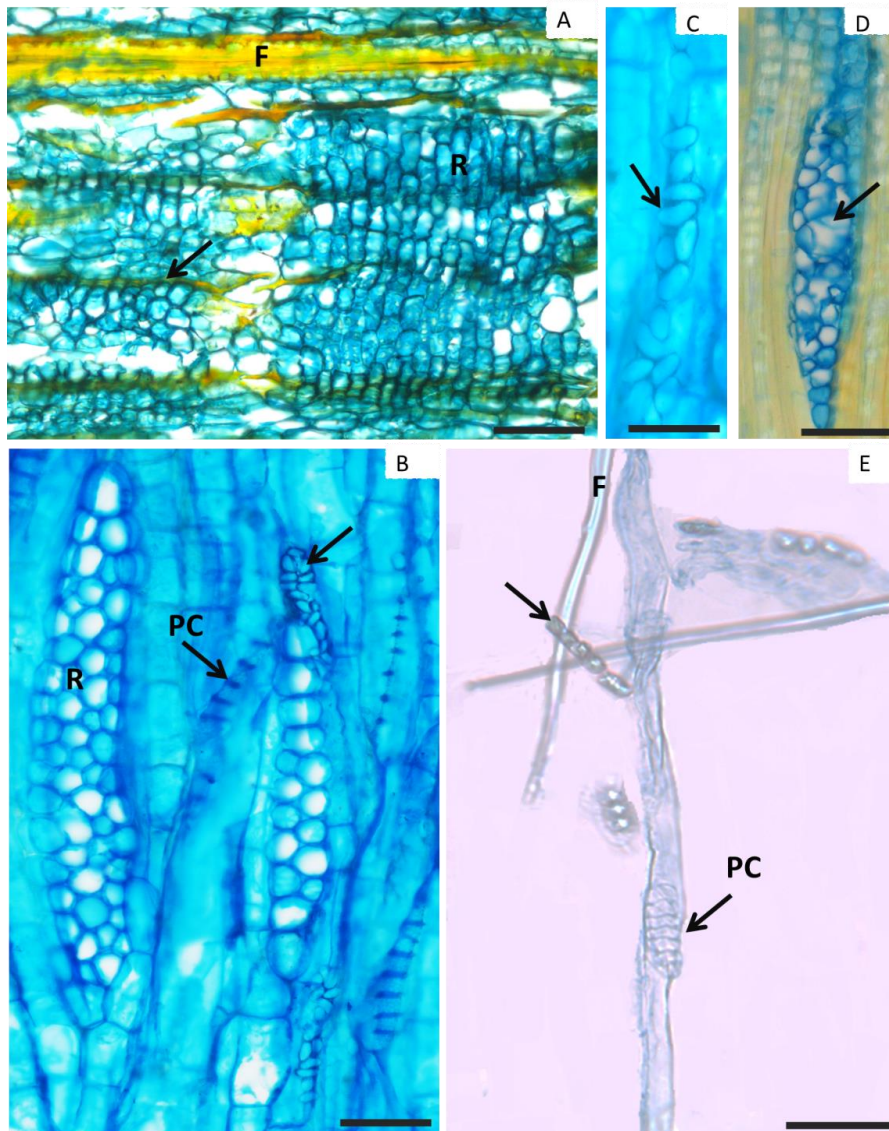


Figura 9 Fotomicrografias de secções longitudinais e elementos dissociados da casca de *Anadenanthera colubrina* (Vell.) Brenan

Legenda: A. Secção radial, fibras acompanhadas de células cristalíferas (F), raios (R) e elemento de tubo crivoso colapsado (seta). B. Secção tangencial, raios homocelulares (R), grão de amido (seta) e placa crivosa (PC, seta). C. Secção tangencial, grânulos (seta). D. Raio com células secretoras (seta). E. Macerado, elemento de tubo crivoso com placa crivosa (PC, seta) e série de cristais (seta). Barras: A-D = 40µm e E = 100 µm.

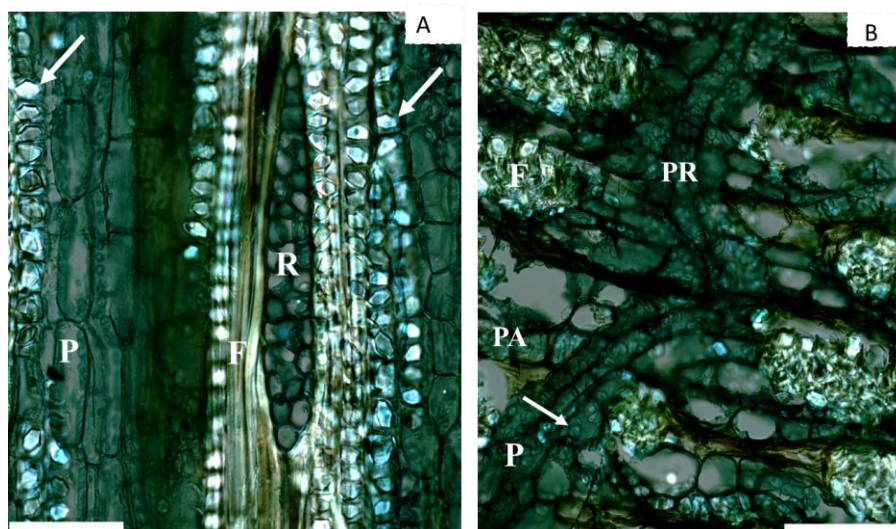


Figura 10 Fotomicrografias com uso de luz polarizada de secções transversal e longitudinais da casca de *Anadenanthera colubrina* (Vell.) Brenan

Legenda: A. Secção tangencial, raio (R), parênquima (P) e cristais (seta). B. Secção transversal, fibras (F), parênquima radial (PR) e grãos de amido (seta). Barras: A-B = 50µm.

### 3.2 Composição química

A composição química somativa das cascas das espécies estudadas encontra-se na Tabela 1 e a suas composições de carboidratos na Tabela 2. Existem poucas diferenças na composição química das amostras das cascas *A. peregrina* e *A. colubrina*, nomeadamente, em termos de cinzas, extrativos, lignina, suberina e monossacarídeos.

As cascas de *A. peregrina* e *A. colubrina* mostraram um alto teor de extrativos, totalizando 28,77% e 29,33%, respectivamente, da casca seca inicial. Os compostos polares extraídos por etanol e água representam cerca de 85% e 90%, respectivamente, do total de extrativos. Os compostos lipofílicos solúveis em diclorometano representam apenas 15% e 12% do total de produtos extratáveis. As cascas de *A. peregrina* e *A. colubrina* apresentaram 2,40% e



2,58% do teor de suberina, 18,85% e 18,88% de lignina total e 8,20% e 7,74% de cinzas, respectivamente.

Tabela 1 Composição química somativa das cascas de *Anadenanthera peregrina* (L.) Speg e *Anadenanthera colubrina* (Vell.) Brenan

	<i>A. peregrina</i>	<i>A. colubrina</i>
<b>Extrativos</b>		
Diclorometano	3,044	2,762
Etanol	20,956	22,511
Água	4,769	4,057
Total	28,771	29,331
<b>Suberina</b>	2,404	2,586
<b>Lignina</b>		
Lignina Klason	16,370	16,817
Lignina Solúvel	2,770	2,063
Total	18,855	18,880
<b>Cinzas</b>	8,201	7,745

O teor de glucose correspondente é dominante com 82,88% e 81,18% do total dos monossacarídeos neutros. As hemiceluloses incluídas principalmente xilano, ou seja, conteúdo de xilose e arabinose representaram 8,71% e 2,14%; 8,89% e 3,24% do total de açúcares monoméricos neutros, respectivamente. Galactomanana, também, apresenta uma quantidade considerável (manose e galactose representaram 2,14% e 4%; 2,31% e 4,12%, do total de açúcares monoméricos neutros, respectivamente). A razão de glucose para xilose, como indicativo de celulose em hemicelulose, foi de 9.51% em *A. peregrina* e de 9.13% em *A. colubrina*.

Tabela 2 Composição de carboidratos das cascas de *Anadenanthera peregrina* (L.) Speg e *Anadenanthera colubrina* (Vell.) Brenan, em % do total dos monossacarídeos neutros detectados por GC

Monossacarídeo	<i>A. peregrina</i>	<i>A. colubrina</i>
Ramnose	0,09	0,27
Arabinose	2,2	3,24
Xilose	8,71	8,89
Manose	2,14	2,31
Galactose	4	4,12
Glucose	82,85	81,18
Total	29,842	30,026

### 3.3 Conteúdo fenólico nos extratos da casca

O rendimento da extração de etanol-água, a quantificação de polifenóis e atividade antioxidante do extrato das cascas de *A. peregrina* e *A. colubrina* são encontrados na Tabela 3. Existiram diferenças consideráveis entre o conteúdo fenólico nos extratos da casca de ambas as espécies, nomeadamente em termos de teor de tanino no extrato etanólico de água, conteúdo fenólico total e teor de flavonoides no extrato.

O teor de tanino no extrato etanólico de água (586,954 mg CE/g extrato) foi maior na espécie *A. peregrina*. Entretanto o conteúdo fenólico total (681,99 mg GAE/g extrato) e o teor de flavonoides no extrato (445,28 mg CE/g extrato) foram maiores na espécie *A. colubrina*. Já o rendimento de extrato nas cascas de *A. peregrina* e *A. colubrina* foi de 22.83% e 25.39%, respectivamente, e a atividade antioxidante do extrato das cascas expresso em Trolox corresponde a 237,36 e 268,59 mg Trolox/extrato mg ou 54,26 e 63,66 mg Trolox/g de casca de árvore, respectivamente.

Tabela 3 Rendimento de extração, teor de fenólicos totais, taninos e conteúdo flavonoides e atividade antioxidante por radicais DPPH do extrato da casca de *Anadenanthera peregrina* (L.) Speg e *Anadenanthera colubrina* (Vell.) Brenan

	<i>A. peregrina</i>	<i>A. colubrina</i>
Rendimento de extração (%)	22,83	25,39
Conteúdo fenólico total (mg GAE/g de extrato)	583,030	681,997
Os flavonoides (mg catequina/g de extrato)	148,355	445,288
Taninos (mg catequina/g de extrato)	586,954	97,545
TEAC capacidade antioxidante (mg Trolox/g de extrato)	237,56	268,59
TEAC capacidade antioxidante (mg Trolox/g de casca)	54,26	63,66
Valores de IC50 (mg extrato/ml)	13,07	13,46
IC50 Trolox em etanol-água (mg Trolox/ml)	1,82	1,31

## 4 DISCUSSÃO

### 4.1 Anatomia

Um fato curioso observado no ato da retirada das cascas de *A. peregrina* e *A. colubrina* permitiu diferenciar as duas espécies pelo grau de adesão da casca à madeira. Em *A. peregrina* a casca é removida com maior facilidade que em *A. colubrina*. Esta diferença, possivelmente, está relacionada com características do câmbio vascular formado entre o xilema ativo (alburno) e a casca interna (floema não colapsado). A diferença na adesão da casca à madeira, também, é apontada por Foelkel (2005), para as espécies de Eucaliptos e pode, dentre outros fatores, estar correlacionada à anatomia da casca, ao tipo de casca, à estação do ano e ao teor de umidade da casca e da madeira.

Em conformidade com o padrão geral anatômico da casca, foi observado que as espécies do gênero *Anadenanthera* assemelharam-se em muitas características. Pequenas variabilidades anatômicas nas cascas de espécies da subfamília Mimosaceae, também, foram observadas por Roth (1981), em sete diferentes gêneros dessa subfamília, que formam um grupo relativamente homogêneo.

Ritidomas em escamas, bem desenvolvidos, foram observados em *A. peregrina* e *A. colubrina*. Este tipo de ritidoma é muito frequente e ocorre em gêneros variados, como, por exemplo, *Pinus* (NUNES; QUILHO; PEREIRA, 1996), *Quercus* (ŞEN et al., 2010) e *Virgilia* (KOTINA et al., 2013). A presença de ritidoma bem desenvolvido foi apontada por Roth (1981), para algumas espécies de Mimosaceae, por exemplo, *Pitthcellobium* sp. e *Parkia* sp. e por Costa et al. (1997) para *Anadenanthera peregrina*, *Plathymenia reticulata* e *Stryphnodendron adstringens*.

Pequenas diferenças em ambas as espécies foram observadas e isso inclui maior quantidade de células taníferas e maior espessamento das células de felema em *A. peregrina* e maior quantidade de células esclerificadas no floema de *A. colubrina*.

O aparecimento de lenticelas é comum na periderme de caules e raízes, facilitando a entrada de ar através da periderme (ESAU, 1974). A presença de lenticelas, em espécies de leguminosas, foi evidenciada por Roth (1981) e Stepanova et al. (2013). Assim, estes estudos corroboram os resultados encontrados para *A. peregrina* e *A. colubrina*.

No que diz respeito aos elementos crivosos discerníveis no floema, as duas espécies estudadas apresentaram resultados semelhantes, pois diferenças fundamentais não são evidentes no que diz respeito ao arranjo e dimensões. O arranjo do parênquima axial, também, é bastante semelhante, com as células difusas entre os elementos de tubo crivoso. A expansão e esclerificação das células do parênquima axial, principalmente no plano tangencial, são pronunciadas no floema colapsado.

Nas amostras das espécies analisadas, a distorção e alteração das células do raio, ao longo do floema, não colapsado à periderme, são provenientes do colapso dos elementos de tubo crivosos e à presença de células de parênquima axiais expandidas responsáveis pelo grande desenvolvimento do tecido de dilatação em ambas as espécies. De acordo com Dickison (2000) e Evert e Eichhorn (2006), o floema colapsado tem uma estrutura mais desorganizada em relação ao floema não colapsado caracterizado por alterações de tecidos resultantes da adaptação da árvore ao crescimento secundário.

Células secretoras foram observadas em *A. peregrina* e *A. colubrina*. Essas estruturas, também, foram descritas em *A. peregrina* por Costa et al. (1997), com o comprimento maior que os elementos de tubo crivoso. Nas Mimosoideae, essas estruturas são consideradas como a maior característica por

Roth (1981), uma vez que, na maioria das espécies analisadas, foi o sistema secretor o mais desenvolvido sob a forma de células secretoras, estes foram observados, por vezes, com um diâmetro respeitável e, com material preservado, com um teor de cor laranja ou vermelha.

Foram observados, também, grãos de amido nas cascas das espécies estudadas. Segundo Roth (1981), a inclusão mais comum de células de parênquima na casca é amido e estes grãos podem ser simples ou compostos. De acordo com as observações do autor, grãos de amido compostos parecem ocorrer mais frequentemente em plantas tropicais de regiões temperadas. As células com grãos de amido podem ser quase homoganeamente distribuídas por todo o parênquima da casca (o parênquima do floema, bem como o parênquima dos raios) ou podem tornar-se acumulado em certos tecidos da casca. No que diz respeito à função de armazenamento de células do parênquima em cascas de espécies tropicais, elas podem ser cheias de amidos, durante certos períodos, por exemplo, nos períodos de chuvas, mas estar quase vazia em outros momentos como em períodos de estresse provocado pela seca (ROTH, 1981).

O aparecimento de idioblastos dentro do parênquima do floema e em células do ritidoma é muito frequente como as células taníferas (manchas escuras) (ROTH, 1981), como no material estudado. A presença de células taníferas é comum em Leguminosae (ESAU, 1974; ROTH, 1981; STEPANOVA et al., 2013). Segundo Roth (1981), o tanino, muitas vezes, ocorre em células arredondadas ou isodiamétricas e podem ser espalhados por todo o parênquima da casca.

As fibras nas espécies estudadas são delgadas com lumes estreitos e estão dispostas paralelamente ao câmbio vascular, em grupos tangenciais. São geralmente, acompanhadas por células do parênquima axial com séries cristalíferas. Estas fibras adjacentes a séries cristalíferas, geralmente, apresentam projeções nas suas paredes, como observado na casca de duas espécies do

gênero *Eugenia* (Myrtaceae) por Soffiatti e Angyalossy-Alfonso (1999). Cristais prismáticos em abundância, provavelmente de oxalato de cálcio, foram observados no floema de ambas as espécies, principalmente, em séries cristalíferas, nas células do parênquima axial, próximo às fibras. A sua presença, o tipo, o local de aparecimento e a quantidade podem ser usados para identificação ou diferenciação de espécies do mesmo gênero (OUTER; FUNDTER, 1976; PATEL; SHAND, 1985; POTGIETER; WYK, 1994). Entretanto, Trokenbrodt (1995) relaciona o baixo valor diagnóstico do tamanho e da abundância dos cristais, em decorrência da grande variabilidade encontrada em indivíduos da mesma espécie e ao estado de desenvolvimento diferente.

O parênquima axial com presença de cristais parece ser uma característica das espécies da subfamília Mimosaceae, como observado por Roth (1981), para o gênero *Inga*, representado por 8 espécies; para o gênero *Pithecellobium* com 5 espécies; *Stryphnodendron* com 3 espécies; *Parkia* com 2 espécies; *Enterolobium* com 2 espécies e *Pentaclethra* e *Piptadenia* com uma espécie cada. Isso, também, foi descrito por Howard (1977) e Trockenbrodt (1991) e ilustrado em espécies do gênero *Inga* por Costa et al. (1997) e Trockenbrodt e Parameswarant (1986) em *A. peregrina*. A presença de cristais nas plantas é elucidada como um subproduto metabólico por Franceschi e Horner (1980). A ocorrência está associada à intensidade da atividade cambial, que é dependente do ambiente e da forma de desenvolvimento da planta (MARCATI; ANGYALOSSY, 2005).

Segundo Esau (1969) e Roth (1981), a deposição de cristais é, muitas vezes, um processo concomitante ao de esclerificação. Os cristais são mais abundantes no floema colapsado e podem fornecer suporte mecânico considerável à casca. Também estão associados à defesa da planta contra a herbivoria e são comuns no floema secundário das cascas de espécies tropicais, podendo ocorrer tanto em células de parênquimas ou em células de

esclerênquima (ROTH, 1981). Além disso, servem como reserva de nutrientes de cálcio para a planta.

Os esclerídeos foram observados em grande proporção, especialmente em *A. colubrina*. Eles possuem paredes espessas, lignificadas e atingem vários tamanhos. Com frequência, incluem grandes cristais prismáticos, sendo vistos como células solitárias, em pequenos ou grandes grupos, na camada tangencial próxima à periderme. Os esclerídeos da casca provêm da alteração de células de parenquima axial como resultado do crescimento secundário da árvore, assegurando, assim, a sua integridade (QUILHÓ; PEREIRA; RICHTER, 1999; RICHTER, 1981), uma vez que estas células dão rigidez à casca (QUILHÓ et al., 2013; ROTH, 1981).

## 4.2 Química

O teor de extrativos nas cascas de *A. peregrina* e *A. colubrina* foi elevado, especialmente, compostos de extrativos polares solúveis em etanol e água, incluindo, principalmente, compostos fenólicos e polifenólicos. Os conteúdos em extrativos encontrados nas *Anadenanthera* estão próximos aos valores encontrados nas cascas de outras espécies, por exemplo, 28,1% e 28,3% para *Eucalyptus grandis* x *urophyla* e *Eucalyptus grandis*, respectivamente (LIMA et al., 2013) e 26.7% para *Pseudotsuga menziesii* (FERREIRA et al., 2015).

Cascas *A. peregrina* e *A. colubrina* contêm baixo teor de suberina, o que está diretamente relacionado à estrutura anatômica, isto é, pequena quantidade de tecido de felema nas peridermes (Figs. 2a-c, 7a-b). A suberina é um componente típico das cascas, constituindo um componente estrutural restrito às paredes celulares de felema (FERREIRA et al., 2015; PEREIRA et al., 2010), sendo uma impressão digital química das células de felema (MARQUEZ;



PEREIRA, 1987) e, por isso, quando a proporção de felema é pequena, a quantidade de suberina, também, é pequena.

Para lignina, uma macromolécula que mantém as células em “posição”, unindo-as e fornecendo rigidez, o grau de lignificação nas cascas *A. peregrina* e *A. colubrina* não é substancialmente diferente das cascas de outras espécies, por exemplo, entre 18,5% e 25,8% em *Eucalyptus globulus* (MIRANDA et al., 2013; NEIVA; GOMINHO; PEREIRA, 2014; VÁZQUEZ et al., 2008), 21,6% e 22,2%, respectivamente, para *Eucalyptus grandis x urophylla* e *Eucalyptus grandis* (LIMA et al., 2013), 22% para *Eucalyptus grandis* (ANDRADE et al., 2010) e 24,9% para *Quercus mongolica* (KOFUJITA; ETTYU; OTA, 1999).

O alto teor de cinzas, nas cascas de ambas as espécies, corresponde aos cristais, provavelmente, de oxalato de cálcio, observados na estrutura anatômica dessas espécies (Figs. 3d, 5b, 8b, 10a), presentes, principalmente, nas células do parênquima axial. A presença dos elementos formadores de cinzas é o resultado da absorção de minerais do solo e dos transportes na parte interna da casca e na madeira onde os elementos estão presos à parede celular ou precipita como sais inorgânicos (KOZLOWSKI; PALLARDY, 1996).

Os valores correspondentes à glucose e xilose foram elevados em ambas as espécies, e maiores que o encontrado para outras, por exemplo, cascas em *Quercus cerris* (ŞEN et al., 2010), *Betula pendula* e *Eucalyptus globulus* (MIRANDA et al., 2013), *Pseudotsuga menziesii* (FERREIRA et al., 2015). Porém foram semelhantes à composição de outras cascas em relação à predominância de glicose e com um teor substancial de xilose, por exemplo, Miranda et al. (2013) e Vázquez et al. (2008) para *E. globulus*, Baptista et al. (2013) para *Tectona grandis* e Miranda et al. (2015) para *Eucalyptus sideroxylon*.

Os compostos fenólicos encontrados em extratos dos vegetais são de grande interesse em função de seu potencial como substâncias bioativas e

antioxidantes. O conteúdo fenólico total nas espécies *A. peregrina* e *A. colubrina*, foi mais elevado que valores previamente publicados, para cascas de outras espécies, apesar de ser difícil fazer comparações, uma vez que são diferentes os procedimentos de extração. Santos, S. A. et al. (2012) relataram 385,6, 346,7 e 203,9 mg extrato GAE/g em etanol-água, em cascas de *Eucalyptus grandis*, *E. urograndis* e *E. maidenii*, respectivamente. Sultana, Anwar e Przybylski (2007) encontraram 93, 165, 120 e 120 mg de extratos de GAE/g em etanol-água em cascas de *Eugenia jambolana*, *Acacia nilotica*, *Azadirachta indica* e *Terminalia arjuna*, respectivamente.

O teor de flavonoides, no extrato das cascas de *A. peregrina* e *A. colubrina*, também, foi mais elevado que os valores relatados para cascas de outras espécies. Krishnappa et al. (2014) encontraram 75,3 mg de extrato de quercetina equivalente/g em etanol em casca de *Delonix elata*. Sultana, Anwar e Przybylski (2007) relataram 21,0, 49,3, 31,4 e 34,9 mg CE/g extrato em etanol-água nas cascas das espécies *Eugenia jambolana*, *Acacia nilotica*, *Azadirachta indica* e *Terminalia arjuna*, respectivamente.

O teor de tanino no extrato etanólico de água nas cascas de *A. peregrina* e *A. colubrina* foi, também, mais elevado do que os valores reportados para cascas de outras espécies, cuja extração é realizada com o mesmo solvente. A exemplo, Janceva et al. (2011) relataram que valores para extrato etanol-água de cascas de *Alnus incana* e *Alnus glutinosa* estavam na faixa de 43,44% (equivalente a 434,4 mg/g de extrato) e 34,27%, respectivamente.

O alto teor de tanino, encontrado nas espécies do gênero *Anadenanthera*, especialmente em *A. peregrina*, era esperado, uma vez que as espécies desse gênero se destacam como produtoras de taninos, sendo tradicionalmente utilizadas para o curtume de couro e tinturaria (CARVALHO, 2003; DURIGAN et al., 1997; LORENZI, 2002).

O rendimento de extrato nas cascas de *A. peregrina* e *A. colubrina* foi muito semelhante ao conteúdo dos produtos extratáveis polares determinado por extração solvente sequencial (Tabela 1), confirmando, assim, o elevado teor de material solúvel nestas cascas. Os valores correspondentes à atividade antioxidante do extrato das cascas de *A. peregrina* e *A. colubrina* permitiram considerar que as cascas dessas espécies são uma interessante fonte de extratos antioxidantes.

## 5 CONCLUSÕES

Os resultados do estudo da anatomia das cascas de *A. peregrina* e *A. colubrina* revelam a existência de um padrão regular, no tipo de células presentes e na distribuição de tecidos no floema e na periderme, permitindo a caracterização das cascas dessas espécies.

Pode-se verificar que as espécies do gênero *Anadenanthera* mostram-se, estruturalmente, semelhantes no que se refere à presença, morfologia e distribuição dos elementos constituintes das várias camadas que compõem a casca.

Caracteres anatômicos distintivos, entre as duas espécies de *anadenanthera* estudadas, não são muito marcados. Pequenas diferenças em ambas as espécies são observadas e isso inclui facilidade de remoção da casca da madeira, maior quantidade de células taníferas e maior espessamento das células do felema em *A. peregrina* e maior quantidade de células esclerificadas no floema de *A. colubrina*.

Os resultados apresentados neste estudo constituem as primeiras informações sobre a composição química das cascas de *A. peregrina* e *A. colubrina*. Eles mostram diferenças consideráveis somente entre o conteúdo fenólico, nos extratos da casca de ambas as espécies, nomeadamente em termos de teor de tanino no extrato etanólico de água, conteúdo fenólico total e teor de flavonoides no extrato.

O teor de tanino no extrato etanólico de água é maior na espécie *A. peregrina* enquanto o conteúdo fenólico total e o teor de flavonoides no extrato são maiores na espécie *A. colubrina*.

Uma importante característica química das cascas de *Anadenanthera* é o alto teor de extrativos, especialmente de extrativos polares, que são ricos em compostos fenólicos, ou seja, flavonoides e taninos os quais mostraram atividade

antioxidante. A sua extração representa, portanto, uma valorização potencial dos resíduos dessas cascas.

## REFERÊNCIAS

ALFONSO, V. **Caracterização anatômica do lenho e casca das principais espécies de *Eucalyptus* L'Herit cultivadas no Brasil**. 1987. 189 p. Tese (Doutorado em Ciências Biológicas) - Instituto de Biociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1987.

ALTSCHUL, S. V. R. A taxonomic study of the genus *Anadenanthera*. **Contributions from the Gray Herbarium of Harvard University**, Cambridge, n. 193, p. 1-65, 1964.

ANDRADE, M. C. N. et al. Chemical analysis of the wood and bark of different *Eucalyptus* types before and during the shiitake cultivation. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v. 34, n. 1, p. 165-175, jan./fev. 2010.

ARCHER, R. H.; WYK, A. E. van. Bark structure and intergeneric relationships of some South African Cassidoienae (Celastraceae). **IAWA Journal**, Utrecht, v. 14, n. 1, p. 35-53, 1993.

BALBACH, A. **As plantas curam**. São Paulo: Missionária, 1992. 414 p.

BAPTISTA, I. et al. Characterization and fractioning of *Tectona grandis* bark in view of its valorization as a biorefinary raw-material. **Industrial Crops and Products**, London, v. 50, p. 166-175, Oct. 2013.

BARBOSA, A. C. F. et al. A new method to obtain good anatomical slides of heterogeneous plant parts. **IAWA Journal**, Utrecht, v. 31, n. 4, p. 373-383, 2010.

BOATWRIGHT, J. S.; TILNEY, P. M.; WYK, B. E. van. The generic concept of *Lebeckia* (Crotalarieae, Fabaceae): reinstatement of the genus *Calobota* and the new genus *Wiborgiella*. **South African Journal of Botany**, Pretoria, v. 75, n. 3, p. 546-556, Aug. 2009.

CARVALHO, P. E. R. **Espécies arbóreas brasileiras**. Colombo: EMBRAPA Florestas, 2003. 1039 p.

CHATTAWAY, M. The anatomy of bark: I., the genus *Eucalyptus*. **Australian Journal of Botany**, Melbourne, v. 1, n. 3, p. 402-403, 1953.

COSTA, C. G. et al. Bark anatomy of arborescent leguminosae of cerrado and gallery forest of central Brazil. **IAWA Journal**, Utrecht, v. 18, n. 4, p. 385-399, 1997.

DAMASCENA, N. P. et al. Antioxidant and orofacial anti-nociceptive activities of the stem bark aqueous extract of *Anadenanthera colubrina* (Velloso) Brenan (Fabaceae). **Natural Product Research**, Abingdon, v. 28, n. 10, p. 753-756, 2014.

DICKISON, W. **Integrative plant anatomy**. San Diego: Academic, 2000. 451 p.

DURIGAN, G. et al. **Sementes e mudas de árvores tropicais**. São Paulo: Páginas Letras, 1997. 65 p.

ESAU, K. **Anatomia das plantas com sementes**. São Paulo: E. Blücher, 1974. 293 p.

ESAU, K. **The Phloem. Handbuch der Pflanzenanatomie**. Berlin: Gebrüder Borntraeger, 1969. v. 2, 505 p.

EVERT, R. F.; EICHHORN, S. E. **Esau's plant anatomy: meristems cells, and tissues of the plant body: their structure, function, and development**. 3<sup>rd</sup> ed. New York: J. Wiley, 2006. 601 p.

FABROWSKI, F. J. et al. Investigação da presença de óleo essencial em *Eucalyptus smithii* R.T. Baker por meio da anatomia de seu lenho e casca. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 13, n. 1, p. 95-106, 2003.

FERREIRA, J. P. A. et al. Selective fractioning of *Pseudotsuga menziesii* bark and chemical characterization in view of an integrated valorization. **Industrial Crops and Products**, London, v. 74, p. 998-1007, Nov. 2015.

FOELKEL, C. **Casca da árvore de eucalipto**. 2005. Disponível em: <<http://www.eucalyptus.com.br>>. Acesso em: 10 dez. 2015.

FRANCESCHI, V. R.; HORNER, H. T. Calcium oxalate crystals in plants. **The Botanical Review**, New York, v. 46, n. 4, p. 361-427, 1980.

FURANO, T. Bark structure of deciduous broad-leaved trees grown in the San in region, Japan. **IAWA Bulletin**, Leiden, v. 11, n. 3, p. 239-254, 1990.

GUIMARÃES, R. C. **Anatomia do lenho de *Anadenanthera colubrina* (Vell.) Brenan em diferentes fitofisionomias da Floresta Atlântica no estado do Rio de Janeiro: Ilha Grande e Itatiaia**. 2009. 44 p. Dissertação (Mestrado em Botânica) - Escola Nacional de Botânica Tropical, Rio de Janeiro, 2009.

HOWARD, E. T. Bark structure of the Southern Upland Oaks. **Wood and Fiber**, Madison, v. 9, p. 172-183, 1977.

JANCEVA, S. et al. Tannins of deciduous trees bark as a potential source for obtaining ecologically safe wood adhesives. In: ENVIRONMENT, TECHNOLOGY, RESOURCES: INTERNATIONAL SCIENTIFIC AND PRACTICAL, 8., 2011, Rezekne. **Proceedings...** Rezekne, 2011. v. 1, p. 265-270.

JORGE, F. et al. Aplicações para as cascas de árvores e para os extractos taninosos: uma revisão. **Silva Lusitana**, Oeiras, v. 9, n. 2, p. 225-236, dez. 2001.

KOFUJITA, H.; ETTYU, K.; OTA, M. Characterization of the major components in bark from five Japanese tree species for chemical utilization. **Wood Science and Technology**, New York, v. 33, p. 223-228, 1999.



KOTINA, E. L. et al. Notes on the taxonomic and ecological significance of bark structure in the genus *Virgilia* (Fabaceae, Podalyrieae). **South African Journal of Botany**, Pretoria, v. 89, p. 240-243, Nov. 2013.

KOZLOWSKI, T. T.; PALLARDY, S. G. **Physiology of woody plants**. 2<sup>nd</sup> ed. San Diego: Academic, 1996. 454 p.

KRISHNAPPA, P. et al. Antioxidant and prophylactic effects of *Delonix elata* L., stem bark extracts, and flavonoid isolated quercetin against carbon tetrachloride-induced hepatotoxicity in rats. **BioMed Research International**, New York, v. 2014, p. 1-14, 2014.

LEWIS, G. et al. **Legumes of the world**. Kew: Royal Botanic Gardens, 2005. 477 p.

LIMA, J. C. S.; MARTINS, D. T. O.; SOUZA, P. T. J. R. de. Experimental evaluation of stem bark of *Stryphnodendron adstringens* (Mart.) Coville for anti-inflammatory activity. **Phytotherapy Research**, London, v. 12, p. 212-220, 1998.

LIMA, M. A. et al. Effects of pretreatment on morphology, chemical composition and enzymatic digestibility of Eucalyptus bark: a potentially valuable source of fermentable sugars for biofuel production-part 1. **Biotechnology Biofuels**, London, v. 6, n. 1, p. 2-17, May 2013.

LIMA, M. A. et al. Evaluating the composition and processing potential of novel sources of Brazilian biomass for sustainable biorenewables production. **Biotechnology Biofuels**, London, v. 7, n. 1, p. 1-19, Jan. 2014.

LORENZI, H. **Árvores brasileiras: manual de identificação e cultivo de plantas arbóreas do Brasil**. Nova Odessa: Instituto Plantarum, 2002. v. 1, 368 p.

LORENZI, H. **Árvores brasileiras: manual de identificação e cultivo de plantas arbóreas nativas do Brasil**. 3. ed. São Paulo: Instituto Plantarum, 2009. v. 2, 384 p.

MAIA, G. N. **Caatinga: árvores e arbustos e suas utilidades**. 2. ed. Fortaleza: Printcolor, 2012. 413 p.

MARCATI, C. R. **Estudo da anatomia e das propriedades tecnológicas da madeira do angico-vermelho (*Piptadenia peregrina* Benth)**. 1992. 94 p. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 1992.

MARCATI, C. R.; ANGYALOSSY, V. Seasonal presence of acicular calcium Oxalate Crystals in the Cambial Zone of *Citharexylum Myrianthum* (Verbenaceae). **IAWA Journal**, Utrecht, v. 25, n. 1, p. 93-98, 2005.

MARQUEZ, A. V.; PEIREIRA, H. On the determination of suberin and other structural components in cork from *Quercus ilex* L. **Anais do Instituto Superior de Agronomia**, Lisboa, v. 22, p. 23-28, 1997.

MIRANDA, I. et al. The bark of *Eucalyptus sideroxylon* as a source of phenolic extracts with anti-oxidant Properties. **Industrial Crops and Products**, London, v. 82, p. 81-87, Apr. 2015.

MIRANDA, I. et al. Fractioning and chemical characterization of barks of *Betula pendula* and *Eucalyptus globulus*. **Industrial Crops and Products**, London, v. 41, p. 299-305, Jan. 2013.

MORI, C. L. S. O. et al. Caracterização da madeira de angico-vermelho (*Anadenanthera Peregrina* (Benth) Speng) para confecção de móveis. **Brasil Florestal**, Brasília, v. 23, n. 77, p. 29-36, 2003.

NEIVA, D.; GOMINHO, J.; PEREIRA, H. Modeling and optimization of *Eucalyptus globulus* bark and wood delignification using response surface methodology. **BioResources**, Oxford, v. 9, n. 2, p. 2907-2921, 2014.

NUNES, E.; QUILHO, T.; PEREIRA, H. Anatomy and chemical composition of *Pinus pinaster* bark. **IAWA Journal**, Utrecht, v. 17, n. 2, p. 141-149, 1996.

OLIVELLA, M. A. et al. Sorption performance of *Quercus cerris* cork with polycyclic aromatic hydrocarbons and toxicity testing. **BioResources**, Oxford, v. 6, n. 3, p. 3363-3375, 2011.

OUTER, R. W. den; FUNDTER, J. M. The secondary phloem of some Combretaceae and the systematic position of *Strephonema pseudocola* A. Chev. **Acta Botanica Neerlandica**, Amsterdam, v. 25, n. 6, p. 481-493, 1976.

PAES, J. B. et al. Taninos condensados da casca de angico-vermelho (*Anadenanthera colubrina* var. *cebil*) extraídos com soluções de hidróxido e sulfito de sódio. **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 26, n. 3, p. 22-27, 2013.

PATEL, R. N.; SHAND, J. E. Bark anatomy of *Nothofagus* species indigenous to New Zealand. **New Zealand Journal of Botany**, Wellington, v. 23, p. 511-532, 1985.

PEREIRA, H.; ARAÚJO, M. Raw-material quality of fast grown *Eucalyptus globulus* during the first year. **IAWA**, Utrecht, v. 11, n. 4, p. 421-427, 1990.

PEREIRA, H. et al. **Qualidade e utilização tecnológica do eucalipto (*Eucalyptus globulus*)**. Lisboa: Centro de Estudos Florestais, 2010. 372 p.

PEREIRA, H.; MIRANDA, I. Chemical composition of wood and bark of fast grown *Eucalyptus globulus* trees during the first 3 years. In: GRASSI, G.; GOSSE, G.; SANTOS, G. dos. **Biomass for energy and industry**. London: Elsevier, 1992. p. 186-190.

PEREIRA, H.; ROSA, M. E.; FORTES, M. A. The cellular structure of cork from *Quercus suber* L. **IAWA Bulletin**, Leiden, v. 8, n. 3, p. 213-218, 1987.

POTGIETER, M. J.; WYK, A. E. van. Bark structure of the southern African Icacinaceae. **IAWA Journal**, Utrecht, v. 5, n. 2, p. 161-170, 1994.

QUEIROZ, L. P. **Leguminosas da caatinga**. Feira de Santana: Universidade Estadual de Feira de Santana Bahia, 2009. 914 p.

QUILHÓ, T. et al. Bark anatomy and cell size variation in *Quercus faginea*. **Turkish Journal of Botany**, Sohag, v. 37, n. 3, p. 561-570, May 2013.

QUILHÓ, T.; PEREIRA, H.; RICHTER, H. Variability of bark structure in plantation-grown *Eucalyptus globulus*. **IAWA Journal**, Utrecht, v. 20, p. 171-180, 1999.

QUILHÓ, T.; PEREIRA, H.; RICHTER, H. Within-tree variation in phloem cell dimensions and proportions in *Eucalyptus globulus*. **IAWA Journal**, Utrecht, v. 21, n. 1, p. 31-40, 2000.

RICHTER, H. G. Wood and bark anatomy of Lauraceae I. Aniba Aublet. **IAWA Bulletin**, Leiden, v. 2, p. 79-87, 1981.

RICHTER, H. G. et al. Padronização de critérios para a descrição anatômica da casca: lista de características e glossário de termos. **IF Série Registros**, São Paulo, v. 16, p. 1-25, 1996.

ROCHA, E. A. L. S. S. et al. Potencial antimicrobiano de seis plantas do semiárido paraibano contra bactérias relacionadas à infecção endodôntica. **Revista de Ciências Farmacêuticas Básica e Aplicada**, Araraquara, v. 34, n. 3, p. 351-355, 2013.

ROTH, I. **Structural patterns of tropical barks**: Handb. Pflanzenanat. IX/3. Berlin: Borntraeger, 1981. 609 p.

SANTOS, J. S. et al. Beneficial effects of *Anadenanthera colubrina* (Vell.) Brenan extract on the inflammatory and nociceptive responses in rodent models. **Journal of Ethnopharmacology**, Lausanne, v. 148, n. 1, p. 218-222, June 2013.

SANTOS, S. et al. Phenolic composition and antioxidant activity of *Eucalyptus grandis*, *E. urograndis* (*E. grandis* x *E. urophylla*) and *E. maidenii* bark extracts. **Industrial Crops and Products**, London, v. 39, p. 120-127, Sept. 2012.

SANTOS, S. A. O. et al. Supercritical fluid extraction of phenolic compounds from *Eucalyptus globulus* Labill bark. **The Journal of Supercritical Fluids**, New York, v. 71, p. 71-79, Nov. 2012.

SARTORI, C. J.; CASTRO, A. H. F.; MORI, F. A. Teores de fenóis totais e taninos nas cascas de Angico-vermelho (*Anadenanthera peregrina*). **Floresta e Ambiente**, Seropédica, v. 21, n. 3, p. 394-400, 2014.

SARTORI, C. J. et al. Rendimento gravimétrico em taninos condensados nas cascas de *anadenanthera peregrina* em diferentes classes diamétricas. **Cerne**, Lavras, v. 20, n. 2, p. 239-244, 2014.

SEN, A. et al. The chemical composition of cork and phloem in the rhytidome of *Quercus cerris* bark. **Industrial Crops and Products**, London, v. 31, n. 2, p. 417-422, Mar. 2010.

ŞEN, A. U. et al. Removal of chromium (VI) in aqueous environments using cork and heat treated cork samples from *Quercus cerris* and *Quercus suber*. **BioResources**, Oxford, v. 7, n. 4, p. 4843-4857, 2012.

SILVA, H. K. P. et al. Caracterização química e análise do potencial químico de cascas de cinco clones comerciais de *Eucalyptus* spp. visando a produção de etanol. In: SIMPÓSIO NACIONAL DE BIOCOMBUSTÍVEIS, 4., 2011, Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro: BIOCROM, 2011. 1 CD-ROM.

SOFFIATTI, P.; ANGYALOSSY-ALFONSO, V. Estudo anatômico comparativo do lenho e da casca de duas espécies de *Eugenia* L. (Myrtaceae). **Revista Brasileira de Botânica**, São Paulo, v. 22, p. 175-184, 1999.

STEPANOVA, A. V. et al. Wood and bark anatomy of *Hypocalyptus* support its isolated taxonomic position in Leguminosae. **South African Journal of Botany**, Pretoria, v. 89, p. 234-239, Nov. 2013.

SUCKOW, I. M. S. et al. Anatomia da madeira e densidade básica de angico-branco *Anadenanthera colubrina* (vell.) Brenan. **IF Série Registros**, São Paulo, v. 40, p. 131-135, jul. 2009.

SULTANA, B.; ANWAR, F.; PRZYBYLSKI, R. Antioxidant activity of phenolic components present in barks of *Azadirachta indica*, *Terminalia arjuna*, *Acacia nilotica*, and *Eugenia jambolana* Lam. trees. **Food Chemistry**, London, v. 104, n. 3, p. 1106-1114, 2007.

TRENTIN, D. S. et al. Tannins possessing bacteriostatic effect impair *Pseudomonas aeruginosa* adhesion and biofilm formation. **PLoS One**, San Francisco, v. 8, n. 6, 2013. Disponível em: <<http://journals.plos.org/plosone/article?id=10.1371/journal.pone.0066257>>. Acesso em: 10 dez. 2015.

TROCKENBRODT, M. Calcium oxalate crystals in the bark of *Quercus robur*, *Ulmus glabra*, *Populus tremula* and *Betula pendula*. **Annals of Botany**, London, v. 75, p. 281-284, 1995.

TROCKENBRODT, M. Qualitative structural changes during bark development in *Quercus robur*, *Ulmus glabra*, *Populus tremula* and *Betula pendula*. **IAWA Bulletin**, Leiden, v. 12, p. 5-22, 1991.

TROCKENBRODT, M. Survey and discussion of the terminology used in bark anatomy. **IAWA Bulletin**, Leiden, v. 11, p. 141-166, 1990.

TROCKENBRODT, M.; PARAMESWARAN, N. A contribution to the taxonomy of the genus *Inga* Scop. (Mimosaceae) based on the anatomy of the secondary phloem. **IAWA Bulletin**, Leiden, v. 7, p. 62-71, 1986.

VALENTE, B. M. D. T. et al. Variabilidade radial e longitudinal das propriedades físicas e anatômicas da madeira de angico-vermelho. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 41, n. 100, p. 485-496, 2013.

VAZQUEZ, G. et al. Antioxidant activity and phenolic content of chestnut (*Castanea sativa*) shell and eucalyptus (*Eucalyptus globulus*) bark extracts. **Industrial Crops and Products**, London, v. 28, n. 3, p. 279-285, Nov. 2008.

VÁZQUEZ, G. et al. Extraction of antioxidants from eucalyptus (*Eucalyptus globulus*) bark. **Wood Science and Technology**, New York, v. 46, n. 1, p. 443-457, May 2012.

**CAPÍTULO 3 Anatomia ecológica da casca e lenho de *Anadenanthera peregrina* (L.) Speg. (Mimosaceae) de duas fitofisionomias brasileiras**

**RESUMO**

*Anadenanthera peregrina* (L.) Speg. (Mimosaceae) é uma planta perene, altamente adaptável, que é encontrada das Guianas ao Paraguai e Norte da Argentina. Neste trabalho analisou-se a estrutura da casca e da madeira de *A. peregrina* crescendo em duas diferentes áreas brasileiras: Norte de Minas Gerais (Mata de Galeria) e Sul de Minas Gerais (Mata Atlântica) e verificaram-se as diferenças estruturais da casca e madeira entre essas duas populações, que são ecologicamente diferentes. Caracteres anatômicos qualitativos, tanto da casca como da madeira, foram comuns aos espécimes de ambas as regiões. Os resultados quantitativos mostraram diferenças significativas para vários parâmetros, bem como variação entre os espécimes do Norte e Sul de Minas Gerais. *A. peregrina* pode adotar diferentes estratégias de sobrevivência quanto à segurança e eficácia do transporte de água e solutos pela adaptação ecológica dos elementos condutores da casca e da madeira. As características anatômicas de adaptação à seca foram, principalmente, um aumento da frequência de vasos e sua multiplicidade, um aumento na percentagem de elementos de tubo crivosos, um aumento da largura de raios e uma diminuição do diâmetro e comprimento dos vasos e dos elementos de tubo crivoso. A matriz de correlação de variáveis, incluindo características quantitativas anatômicas da casca e da madeira, características do solo, altura e diâmetro das plantas mostrou que as plantas foram agrupadas por região.

**Palavras-chave:** Anatomia comparada. Casca. Madeira. Angico-vermelho.



## ABSTRACT

*Anadenanthera peregrina* (L.) Speg. (Mimosaceae) is a highly adaptable perennial plant that is found from the Antilhas, northern South America, Peru, Bolivia, Argentina, Brazil and Paraguay. This paper analyzes the structure of the bark and wood of *A. peregrina* growing in two different areas: North of Minas Gerais (gallery forest) and southern Minas Gerais (Atlantic Forest), Brazil, and examines the structural differences of bark and wood between these two populations, which are ecologically different. Qualitative characters were common to the plants in the three to both regions. The quantitative results show significant differences for several parameters, as well as variation between specimens North and South of Minas Gerais. *A. peregrina* may adopt different survival strategies regarding safety and efficiency of the water transport and solutes by ecological adaptation of conductive elements from the bark and wood. The adaptive anatomical features to drought were principally an increase in the frequency of vessels and plurality of these, an increase in the percentage of sieve tube elements, an increase in the width of rays and a decrease of the diameter and length of the vessels and sieve tube elements. The correlation matrix of variables including quantitative anatomical characteristics, soil characteristics, height and diameter of the plants showed that plants were grouped by region.

Keywords: Comparative anatomy. Bark. Wood. Angico-red.

## 1 INTRODUÇÃO

*Anadenanthera* é um gênero endêmico da América Latina e do Caribe (ALTSCHUL, 1964) e está entre os 80 gêneros da subfamília Mimosaceae (LEWIS et al., 2005). A espécie *Anadenanthera peregrina* (L.) Speg é uma árvore popularmente conhecida como angico-vermelho, angico-do-morro, angico, paricá-de-curtume, paricá e paricá-da-terra-firme (LORENZI, 2009). É uma espécie colonizadora, comum na vegetação secundária, especialmente na fase de capoeirão, mas ocorre também em formações primárias (CARVALHO, 2003; DURIGAN et al., 1997) e, muitas vezes, é encontrada em altíssimas densidades, formando os “angicais”.

Esta espécie possui ampla distribuição na América do Sul, ocorrendo das Guianas ao Paraguai e Norte da Argentina (QUEIROZ, 2009). No Brasil, está presente nos domínios fitogeográficos da Caatinga, Cerrado, Mata Atlântica e Amazônia (MORIM, 2013).

Em virtude da extensa distribuição e tolerâncias ecológicas, *A. peregrina* possui alto potencial para variação morfológica, genética e fisiológica. Como consequência, é uma espécie excelente para avaliar as hipóteses que têm sido postuladas para diferentes táxons, principalmente no nível de família e gêneros, em relação à diversidade estrutural da casca e do xilema secundário associado às características do habitat (BAAS, 1973; ROTH, 1981).

A anatomia da madeira de *A. peregrina* foi descrita por Marcati (1992), Mori et al. (2003) e Valente et al. (2013) e a anatomia da casca foi descrita por Costa et al. (1997).

Neste estudo, comparou-se a casca e a madeira de *A. peregrina* crescendo em duas diferentes áreas brasileiras: Norte de Minas Gerais (Mata de galeria) e Sul de Minas Gerais (Mata Atlântica). Estas áreas têm diferenças marcantes na precipitação, temperatura e características do solo. Com base

nestas condições e em estudos sobre a influência do clima sobre a variabilidade estrutural da casca e madeira (DICKISON, 2000; KOTINA et al., 2013; LONGUI et al., 2014; LUCHI, 2004; QUILHÓ, 1998; ROTH, 1981; SONSIN et al., 2012; ZANNE et al., 2006), os objectivos foram: a) descrever a estrutura anatômica da casca e madeira de *A. peregrina*, b) examinar as diferenças da casca e madeira entre duas populações ecologicamente diferentes a fim de avaliar se as diferenças nas dimensões dos elementos celulares, por exemplo, diâmetro dos vasos e dos elementos de tubo crivosos, espessura e comprimento das fibras e altura e largura dos raios, bem como percentagens de tecidos da casca e outras características anatômicas estão relacionados com as diferenças do clima, fatores edáficos ou à biometria das árvores.

## 2 MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi realizado em árvores de *Anadenanthera peregrina* (L.) Speg., crescendo em 2 locais: uma área de Mata de Galeria, localizada na Fazenda Alvação (Coração de Jesus-MG) e um remanescente de floresta estacional semidecídua montana do bioma Mata Atlântica, localizado no campus da Universidade Federal de Lavras (Lavras-MG).

O município de Coração de Jesus localiza-se na região Norte de Minas Gerais, à latitude de 16° 41' 07'' Sul e longitude de 44° 21' 54'' Oeste, a uma altitude média de 760 metros. Segundo Köppen, o clima dessa região é do tipo Aw, com estações seca e chuvosa bem definidas e a temperatura média anual é de 24°C. A cidade de Lavras localiza-se na região Sul do Estado de Minas Gerais, à latitude de 21° 13' 40'' Sul e longitude 44° 57' 50'' Oeste, a uma altitude média de 900 m. Segundo a classificação de Köppen, o clima é do tipo Cwb de Köppen (mesotérmico com verões brandos e suaves e estiagem de inverno). A temperatura média anual do ar é de 19,4 °C.

O diagrama clima mostra que a região do Norte de Minas Gerais tem um período seco em média de 3 meses sem precipitação e temperatura média mais elevadas que a região Sul de Minas Gerais (Fig. 1).

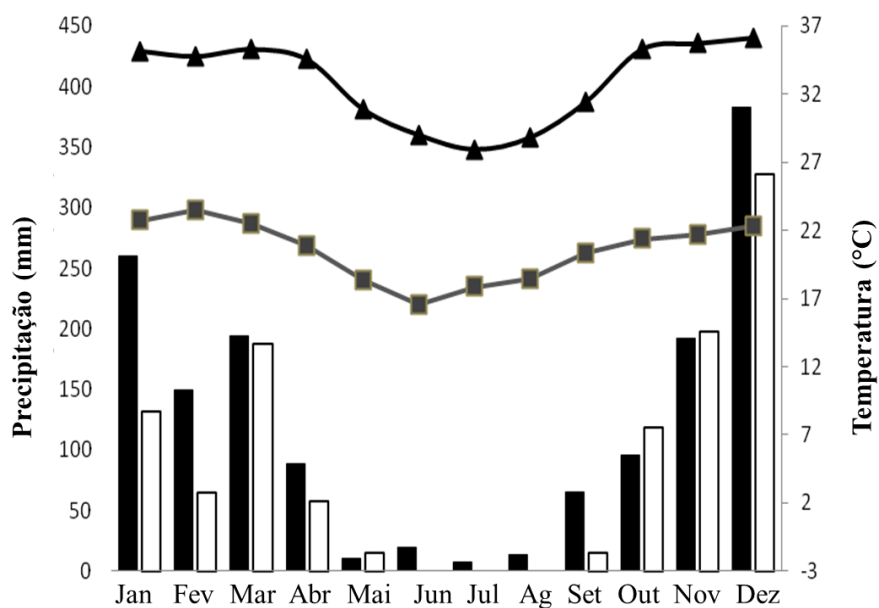


Figura 1 Diagrama climático das regiões de coleta, precipitação e temperatura média mensal dos anos 2008 a 2013

Legenda: —■— temperatura Lavras, ▲ temperatura Coração de Jesus, ■ precipitação Lavras, □ precipitação Coração de Jesus.

Fonte: Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) e Estação Climatológica da Universidade Federal de Lavras, Estado de Minas Gerais, Brasil.

O solo dos dois locais foi caracterizado por análise físico-química (Tabela 1). Para isso, foi coletada uma amostra constituída de subamostras, obtidas próximas a cada espécime (0 a 20 centímetros de profundidade), as análises foram feitas no Laboratório de Análise do Solo da Universidade Federal de Lavras, seguindo o protocolo da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - EMBRAPA (1997).

Tabela 1 Análise granulométrica e características químicas do solo das duas áreas

<b>Textura e características químicas</b>	<b>Sul de Minas Gerais</b>	<b>Norte de Minas Gerais</b>
Silte (%)	12	52
Argila (%)	63	40
Areia (%)	25	8
Classe de textura	Argilosa	Argiloso
pH (CaCl <sub>2</sub> )	4,9	6,3
H+Al (mmolc kg <sup>-1</sup> )	9,83	2,32
Ca (mmolc kg <sup>-1</sup> )	2,8	11,6
Mg (mmolc kg <sup>-1</sup> )	0,8	1,5
K (mmolc kg <sup>-1</sup> )	82	156
M.O. (g kg <sup>-1</sup> )	5,96	6,15
SB (mmolc kg <sup>-1</sup> )	3,81	13,5
Fe (mg kg <sup>-1</sup> )	66,96	79,44
P (mg kg <sup>-1</sup> )	2,3	1,42

As amostras foram coletadas de três árvores de cada área, selecionadas aleatoriamente, com uma idade estimada\*, um diâmetro médio à altura do peito (1,30 m) e uma altura média que variou em *A. peregrina* do Norte de Minas Gerais de 15-17anos, 11-13,5 cm e 5-7 m e em *A. peregrina* do Sul de Minas Gerais de 12-14 anos, 12,5-14 cm e 5-7 m, respectivamente.

(\*idade estimada foi obtida pela análise de densitometria de raios X, contagem de anéis e histórico das áreas). Sim pode coloca-lo como uma nota de rodapé

As amostras da casca foram impregnadas com polietileno glicol 1500 (PEG). As secções foram obtidas com um micrótomo Leica SM 2400 com espessura de 13-15 µm com emprego de policloreto de vinila - PVC (BARBOSA et al., 2010). Os cortes foram corados com chrysodine/azul de astra e montados em glicerina Kaiser. Após 24 horas, as lâminas foram submersas em

acetato de butila para remoção do policloreto de vinila e montados em Entellan. As cascas de todos os espécimes, também, foram seccionadas a partir do câmbio para a periferia e maceradas numa mistura 1:1 de solução de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> a 30% e CH<sub>3</sub>COOH a 60 ° C, durante 48 h e corados com azul de astra e safranina.

As observações de microscópica de luz foram feitas usando Leica DMLA, e as fotomicrografias foram tiradas com a Nikon FXA. Dados quantitativos foram obtidos usando um sistema de análise de imagem semiautomático Leitz ASM-68K, acoplado a um microscópio (Leitz DIALUX 22 EB) e as medições foram feitas com o uso do software Leica Qwin V 3.5.0.

A percentagem de tecidos foi determinada em cortes transversais, com base em três imagens sobrepondo uma grelha de 48 pontos. Para cada ponto foi registado o tecido observado utilizando a opção “Count” do software Leica Application Suite V 4.2. A terminologia segue, principalmente, Richter et al. (1996) e Trockenbrodt (1990).

Das amostras da madeira foram confeccionados corpos de prova da região mais externa do tronco. Estes corpos de prova foram submetidos a processos de amolecimento. Em seguida, foram seccionados ao micrótomo de deslize Spencer modelo 860 ou Leica SM 2000R, com espessura média de 16 - 20 µm, orientados nos sentidos transversal e longitudinal tangencial e radial. As secções obtidas foram clarificadas, desidratadas e submetidas à coloração por solução aquosa de Safranina 1% (BUKATSCH, 1972), para posterior confecção de lâminas permanentes (JOHANSEN, 1940). Os elementos celulares foram dissociados, utilizando o método de Franklin (1945).

Dados qualitativos e quantitativos do lenho foram obtidos, usando um microscópio ótico Ken-A Vision modelo *TT-1010*, acoplado a uma câmara digital e do software Wincel – PRO de concepção canadense. A descrição anatômica do lenho foi realizada, segundo a “List of Microscopic Features for

Hardwood Identification” da IAWA (INTERNATIONAL ASSOCIATION OF WOOD ANATOMISTS COMMITTEE - IAWA COMMITTEE, 1989).

As diferenças entre os dados anatômicos quantitativos dos indivíduos para as duas regiões foram avaliadas pela Análise de Variância – ANOVA e, posteriormente, pelo teste t, a 5% de probabilidade. Anteriormente foi realizado o teste de Shapiro-Wilk, para avaliar a normalidade dos dados e quando não se observou uma distribuição normal dos dados, eles eram ajustados por meio da raiz quadrada. As análises foram realizadas no software Sisvar. Os valores médios por espécimes foram aplicados em análises multivariadas de agrupamento (“cluster”). As análises foram realizadas no software Statistica versão 12.

Análise de componentes principais (PCA) foi usada para ordenar os espécimes, quanto às características anatômicas quantitativas, fatores edáficos, idade, diâmetro e altura dos espécimes mostrando os fatores com maior variância (LUDWIG; REYNOLDS, 1988), utilizando o programa PCORD for Windows versão 4.14 (MCCUNE; MEFFORD, 1999).

As análises de densitometria de raios X foram realizadas no Laboratório de Anatomia, Identificação e Densitometria de Raios X em madeira do Departamento de Ciências Florestais da ESALQ/USP. A caracterização anatômica das cascas de *A. peregrina* foi realizada no laboratório de anatomia da madeira, no Centro de Florestas e Produtos Florestais do Instituto de Investigação Científica e Tropical (IICT), em Lisboa, Portugal. A caracterização anatômica da madeira de *A. peregrina* foi realizada no laboratório de anatomia da madeira, da Universidade Federal de Lavras.



### 3 RESULTADOS

#### 3.1 Análise qualitativa da casca e da madeira

As cascas das populações do Norte e Sul de Minas Gerais são grossas e facilmente destacadas do lenho, possuem uma cor marrom, dura ao toque, com superfície longitudinalmente franzida, com muitas escamas aparentes, com fissuras variando de estreitas para largas, algumas vezes, cortando profundamente as camadas do ritidoma. Espécimes do Norte de Minas Gerais apresentam cascas mais espessas (23,43-26,48 mm) do que as do Sul de Minas Gerais (9,84-12,57 mm). No entanto, em média, a percentagem de ritidoma e floema não colapsado ou funcional é menor (33,76 e 2,90, 41,45 e 3,51, respectivamente) (Tabela 2).

Pequena diferença entre as populações foi observada e isso inclui maior esclerificação das células da periderme nos indivíduos do Norte de Minas Gerais. Em ambas as populações, o ritidoma é escamoso e consiste em várias peridermes sequenciais (que persistem durante um longo período de tempo) e lenticelas (Figs. 2b, 3b, 4a-b). As peridermes são bem desenvolvidas e ondulantes, com algumas células de felema e feloderme esclerificadas e, por vezes, muitas com compostos orgânicos (Figs. 2c, 3b-c, 4c-d). O felema é constituído por células tubulares com paredes tangenciais espessas. A feloderme é formada por 2 ou 3 camadas de células que variaram de retangulares para redondas, com paredes finas e outras podendo espessar e até esclerificar e, por vezes, com grandes cristais prismáticos nas células esclerificadas.

Abaixo da periderme, surge uma zona com células semelhantes a corticais, aqui designada por “córTEX”, onde se pode visualizar a formação de células esclerificadas ou até nódulos de esclereídeos. Esta zona é limitada

inferiormente por um anel de células esclerificadas fazendo a transição para o floema (Figs. 2a, 3a).

Tabela 2 Espessura total das cascas e percentagens do ritidoma, floema total, córtex, floema não colapsado (funcional) e córtex + floema colapsado (não funcional) dos indivíduos de *A. peregrina* do Norte de Minas Gerais (APN) e do Sul de Minas Gerais (APS)

	Área total da casca (mm)	Ritidoma (%)	Floema total (%)	Córtex (%)	Floema não colapsado (%)	Córtex + floema colapsado (%)
APN1	23,43	29,193	31,413	7,981	3,158	28,254
APN2	26,48	38,86	27,304	6,533	2,795	24,509
APN3	23,65	33,235	30,571	5,624	2,748	27,822
<b>Média</b>	<b>24,52</b>	<b>33,763</b>	<b>29,762</b>	<b>6,713</b>	<b>2,9</b>	<b>26,862</b>
<b>Desvio Padrão</b>	<b>1,70</b>	<b>4,85</b>	<b>2,17</b>	<b>1,18</b>	<b>0,22</b>	<b>2,04</b>
APS1	11,64	43,729	26,203	3,866	3,351	22,852
APS2	12,57	44,551	26,651	2,148	2,625	24,025
APS3	9,84	36,077	29,878	4,167	4,573	25,305
<b>Média</b>	<b>11,35</b>	<b>41,452</b>	<b>27,577</b>	<b>3,394</b>	<b>3,516</b>	<b>24,061</b>
<b>Desvio Padrão</b>	<b>1,38</b>	<b>4,67</b>	<b>2,00</b>	<b>1,08</b>	<b>0,98</b>	<b>1,22</b>

O floema inclui uma porção mais interna junto ao câmbio, designada por floema não colapsado, seguido do floema colapsado. A transição do floema colapsado para o floema não colapsado é gradual (Figs. 2a, 3a). O floema não colapsado caracteriza-se pela presença de elementos de tubo crivoso e alternância de parênquima axial e fibras (Figs. 2e, 3e). As fibras são delgadas e ocorrem em grupos com disposição tangencial entre os raios (Figs. 2d-e, 3d-e). Os elementos de tubo crivoso são solitários ou em grupos, com arranjo tangencial acompanhados de células companheiras; possuem áreas crivadas laterais e suas placas crivosas são inclinadas, escalariformes e compostas com 5-

10 áreas crivosas por placa, igualmente espaçadas (Figs. 2e, 3e, 5c-d). As células companheiras são difíceis de reconhecer em seções transversais e longitudinais.

O parênquima axial no floema não colapsado encontra-se em faixas tangenciais, de 2-6 células alongadas axialmente, de paredes finas (Figs. 2e, 3a,e). Os raios são largos, compostos por células procumbentes (Fig. 6a-d). Na região mais interna do floema os raios são ondulados e no sentido da periderme eles distorcem (Figs. 2a, 3a).

No floema colapsado os elementos de tubo crivoso juntamente com as células companheiras encontram-se colapsados (Figs. 2d, 3d, 5a). No floema colapsado distinguem-se duas zonas: 1) uma em que, não obstante o colapso dos elementos condutores, é mantida a organização de tecidos com alternância do parênquima axial e as faixas tangenciais das fibras entre os raios, estes apenas com leve distorção; 2) segue-se uma zona mais externa em direção à periderme em que existe maior distorção dos raios e proliferação de células, constituindo o tecido de dilatação, algumas destas células esclerificam e até pode haver formação de nódulos; o tecido de dilatação é portanto essencialmente proveniente do parênquima radial.

Células secretoras foram observadas no parênquima axial e nos raios e em corte transversal, aparecem em grupos e, por vezes, com grandes diâmetros (Figs. 2d, 3d, 5a-b). Cristais prismáticos ocorrem em séries nas células do parênquima axial perto das fibras e, por vezes, são de igual comprimento (Fig. 6a-b).

Os esclereídes são vistos como células solitárias, pequenos ou grandes grupos e camada tangencial próxima à periderme (Figs. 2a, 3a). Eles possuem paredes espessas, lignificadas e atingem diferentes tamanhos e, com frequência, incluem grandes cristais prismáticos.

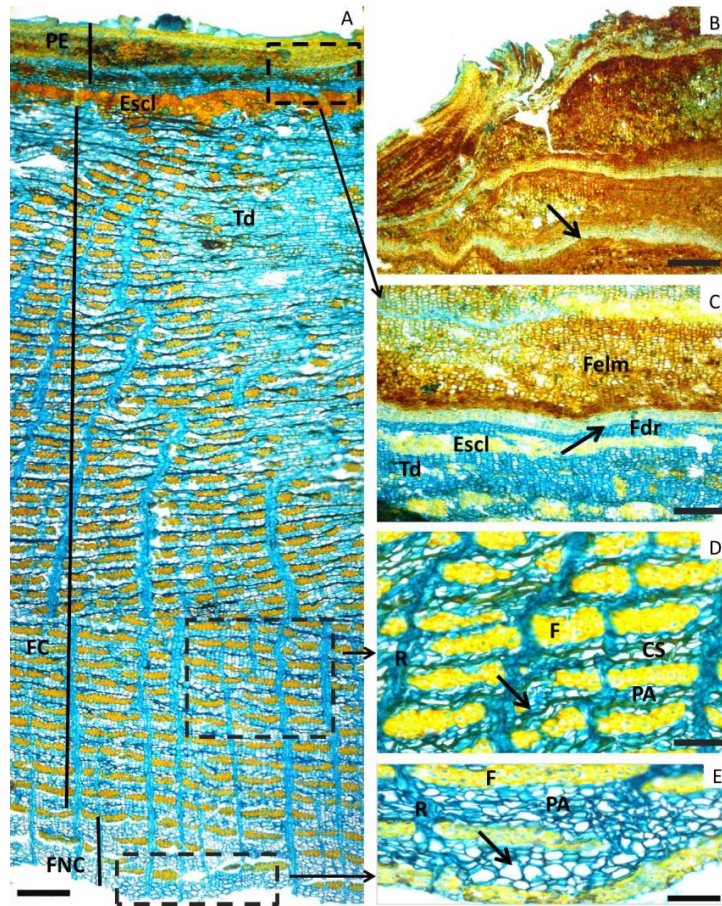


Figura 2 Fotomicrografias da secção transversal da casca de *A. peregrina*, amostrada no Sul de Minas Gerais

Legenda: A. Floema, esclereídeos (Escl), tecido de dilatação (Td) e zonas demarcadas em detalhe: B. Peridermes sequenciais (seta PE). C. Felem (Felm), Feloderme (Fdr), felogênio (seta), tecido de dilatação (Td) e esclereídeos (Escl). D. Elemento de tubo colapsado (linha escura (seta)), células secretoras (CS), parênquima radial (R), parênquima axial (PA) e fibras (F). E. Elemento de tubo crivoso em grupos e células companheiras (seta), parênquima axial (PA), parênquima radial (R) e fibras (F). Barras: A = 100  $\mu$ m, B-E = 40  $\mu$ m.

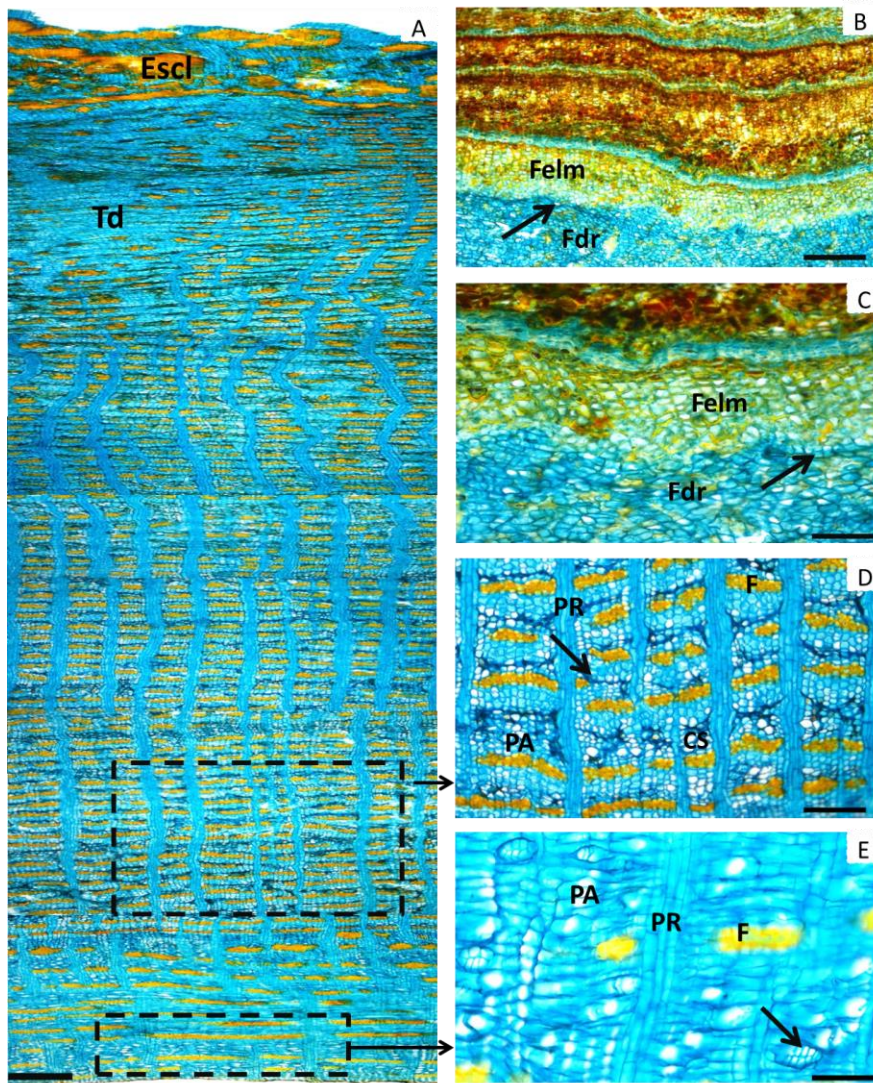


Figura 3 Fotomicrografias da secção transversal da casca de *A. peregrina*, amostrada no Norte de Minas Gerais

Legenda: A. Floema, esclereídeos (Escl), tecido de dilatação (Td) e zonas demarcadas em detalhe: C-D. Peridermes sequenciais (seta), felema (Felm), feloderme (Fdr), felogênio (seta). D. Elemento de tubo colapsado (linha escura (seta)), células secretoras (CS), parênquima radial (PR), parênquima axial (PA) e fibras (F). E. Elemento de tubo crivoso em grupos e células companheiras (seta), parênquima radial (R), parênquima axial (PA) e fibras (F). Barras: A = 100  $\mu\text{m}$ , B-E = 40  $\mu\text{m}$ .

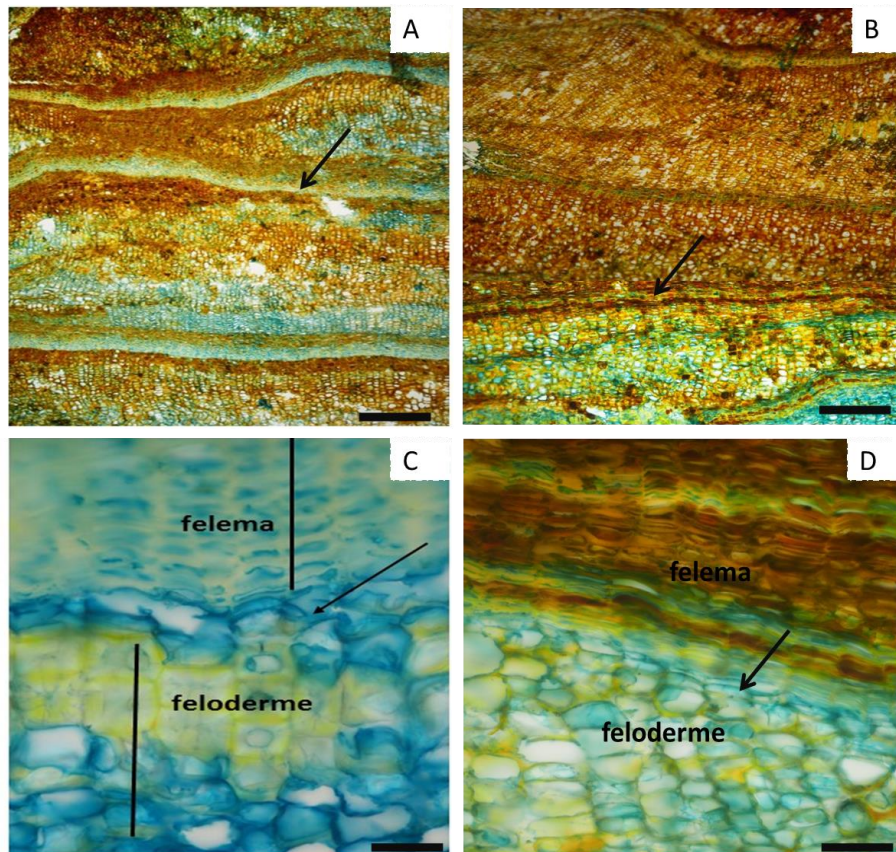


Figura 4 Fotomicrografias da secção transversal da casca de *Anadenanthera peregrina* (L.) Speg, amostradas no Sul de Minas Gerais (A, C) e Norte de Minas Gerais (C, D)

Legenda: A-B Ritidoma, peridermes sequenciais (seta). C-D Periderme com destaque do felema, feloderme e felogênio (seta). Barras: A-B = 100  $\mu\text{m}$ , C = 10  $\mu\text{m}$ , D = 40  $\mu\text{m}$ .

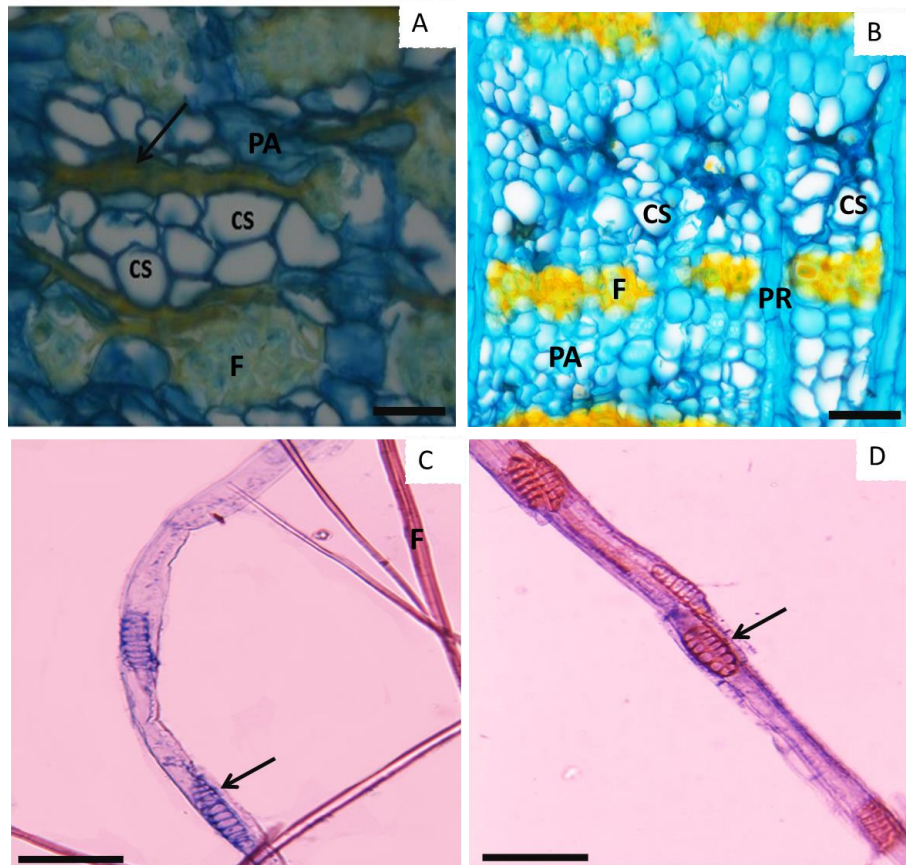


Figura 5 Fotomicrografias de secções transversais e elementos dissociados da casca de *Anadenanthera peregrina* (L.) Speg, amostradas no Sul de Minas Gerais (A, C) e Norte de Minas Gerais (C, D)

Legenda: A-B. Floema colapsado, células secretoras (CS), parênquima axial (PA), parênquima radial (PR), fibras (F) e elemento de tubo crivoso colapsado (seta). Barras: A-B = 40  $\mu\text{m}$ , C-D = 100  $\mu\text{m}$ .

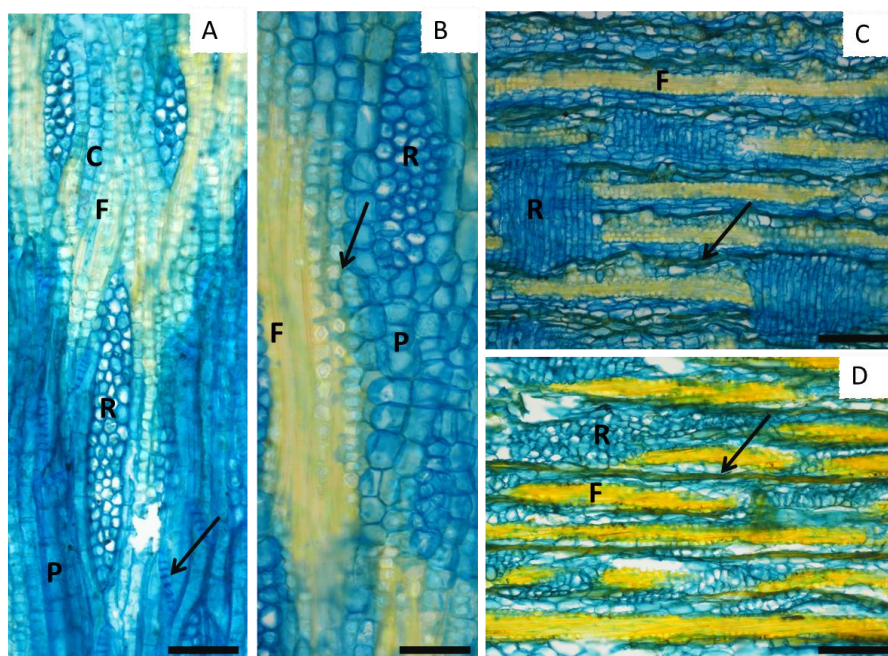


Figura 6 Fotomicrografias de secções longitudinais da casca de *Anadenanthera peregrina* (L.) Speg, amostradas no Sul de Minas Gerais (A, C) e Norte de Minas Gerais (C, D)

Legenda: A. Raio (R), fibras (F), parênquima (P), placa crivosa (seta) e cristais (C). B. Raio (R), fibras (F), parênquima (P) e cristais (seta). C-D = Raio (R), Fibras (F) e elemento de tubo crivoso colapsado (setas). Barras: A-D = 40  $\mu$ m.

Em ambas as populações foram observadas que a estrutura da madeira é semelhante. Em ambas as populações, foram observadas as seguintes características: limites de anéis de crescimento distinto, marcado por fibras de paredes espessas e radialmente achatadas e vasos com pequenos diâmetros; porosidade difusa; elementos de vasos solitários e múltiplos (2-9), a maioria com apêndice em uma das extremidades; placas de perfuração simples; e pontuações intervasculares alternas (Figs. 7a-d, 8a).

Parênquima axial vasicêntrico, aliforme e confluyente (Fig. 7a,b), fibras não septadas (Figs. 7d, 9a-b) e cristais em série nas células de parênquima (Fig.



8b-c). Raios unisseriados e multisseriados com 2 a 4 células de largura com todas as células procumbentes (Fig. 9a-d).

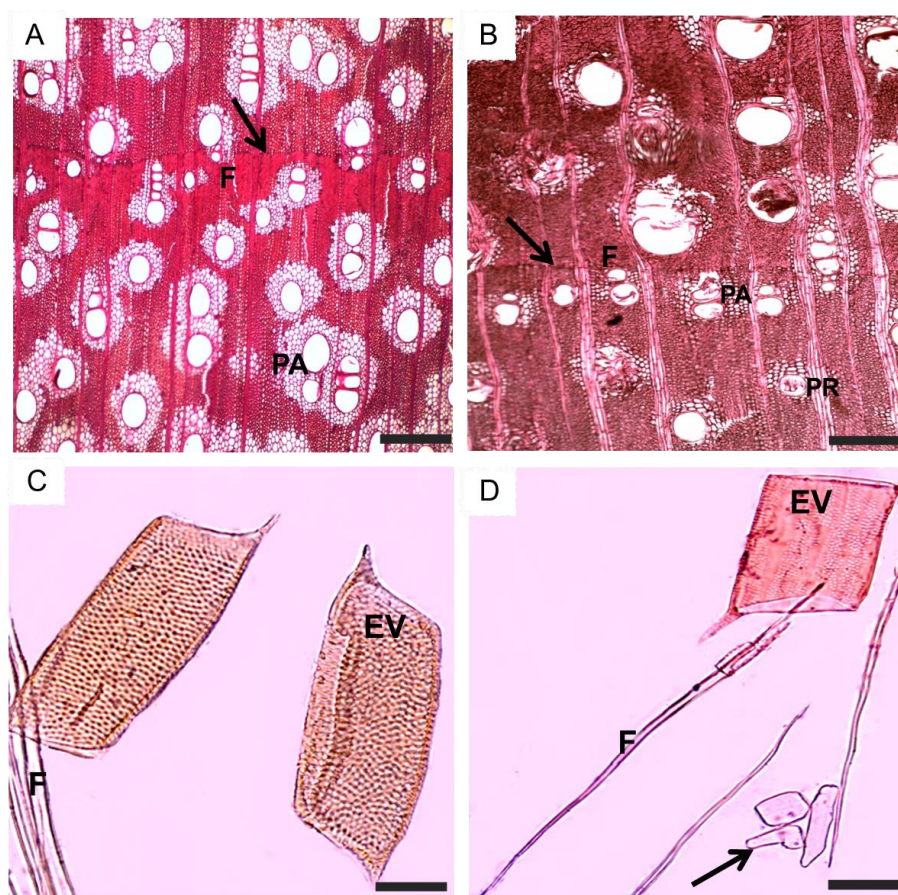


Figura 7 Fotomicrografias de secções transversais e elementos dissociados da madeira de *Anadenanthera peregrina* (L.) Speg, amostradas no Sul de Minas Gerais (A, C) e Norte de Minas Gerais (C, D)

Legenda: A-B. Seção transversal (setas mostram anéis de crescimento), fibras (F), parênquima axial (PA) e parênquima radial (PR). C-D. Elemento de vaso (EV), fibras (F) e células de parênquima (seta). Barras: A = 100  $\mu$ m, B-D = 200  $\mu$ m.

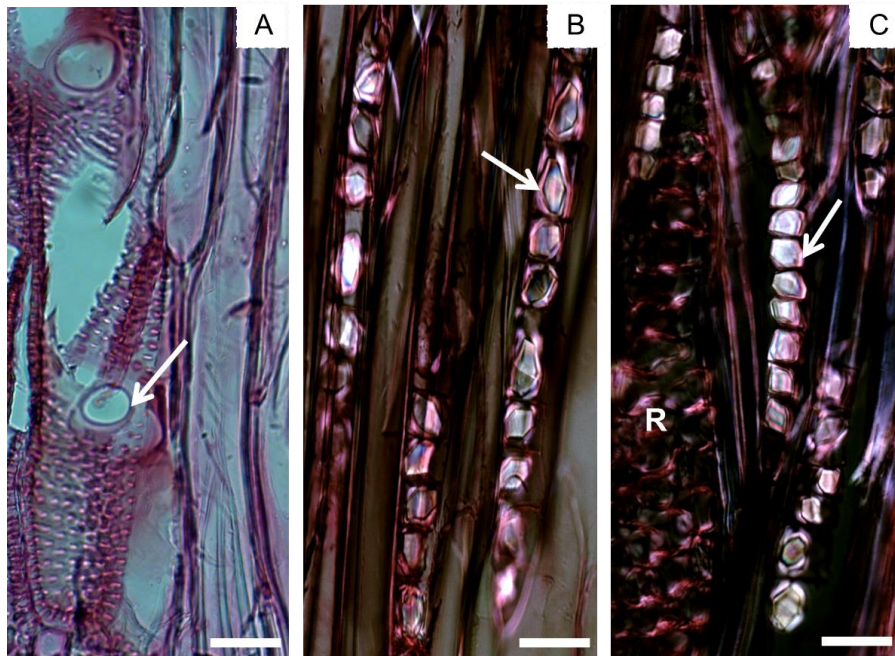


Figura 8 Fotomicrografias de secções longitudinais da madeira de *Anadenanthera peregrina* (L.) Speg, amostradas no Sul de Minas Gerais (A, B) e Norte de Minas Gerais (C)

Legenda: A. Elementos de vasos com placas de perfuração simples e pontuações intervasculares. D. Secção longitudinal tangencial mostrando raios (R) e cristais (setas). Barras: A = 200  $\mu\text{m}$ , B-C = 50 $\mu\text{m}$ .

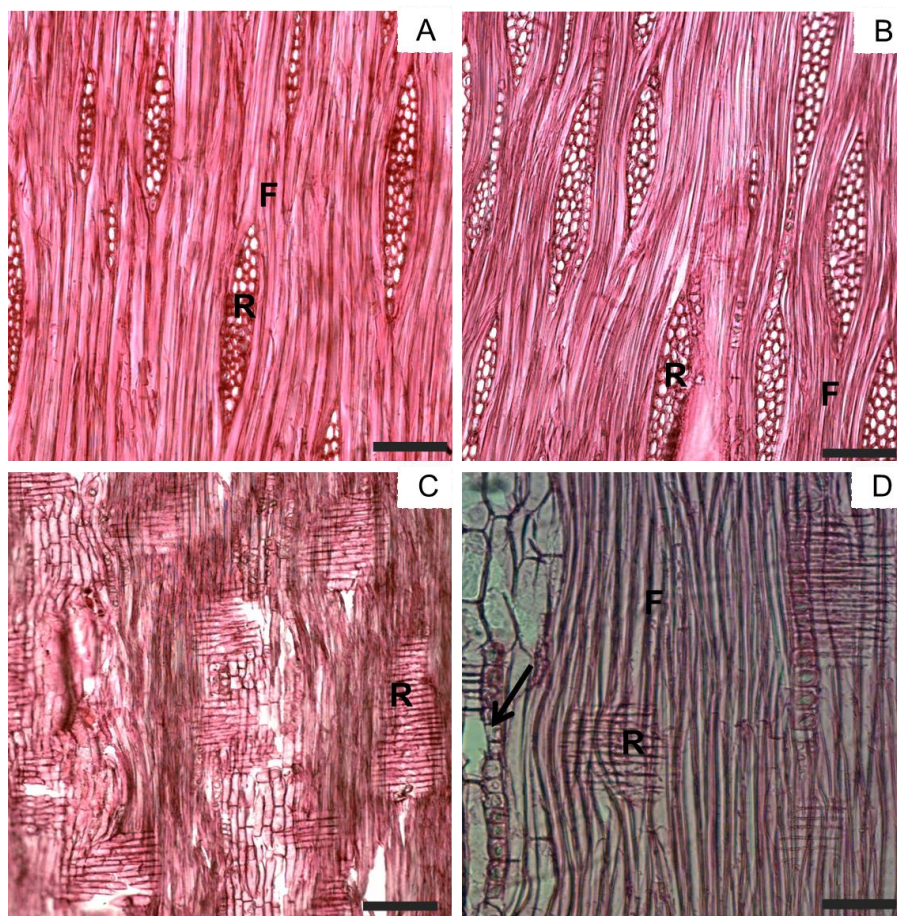


Figura 9 Fotomicrografias de secções longitudinais da madeira de *Anadenanthera peregrina* (L.) Speg, amostradas no Sul de Minas Gerais (A, C) e Norte de Minas Gerais (C, D)

Legenda: A. Secção tangencial, raios (R) e fibras (F). C-D. Secção radial, raios (R) e fibras (F). Barras: A-D = 200  $\mu\text{m}$ .

### 3.1.1 Análise Quantitativa da casca e da madeira

Os resultados quantitativos dos elementos celulares da casca das populações do Norte e Sul de Minas Gerais estão relacionados na Tabela 3. Os valores médios do comprimento dos elementos de tubo crivosos e do

comprimento das fibras mostraram diferenças significativas entre as populações. Tanto o comprimento dos elementos de tubo crivosos quanto o comprimento das fibras foram maiores nas cascas das árvores do Sul de Minas Gerais (326,33  $\mu\text{m}$  e 1214,37  $\mu\text{m}$ , respectivamente).

Os valores médios para a percentagens dos tecidos de esclerênquima, do tecido condutor, do tecido de dilatação e do parênquima radial mostraram diferenças significativas entre as populações. As fibras representam uma elevada percentagem dos tecidos das cascas das árvores do Sul de Minas Gerais, atingindo cerca de 40%. O tecido de dilatação e o parênquima radial representaram cerca de 20% cada, os esclereídeos e os elementos de tubo crivosos representaram cerca de 10 % e 5%, respectivamente, dos tecidos das cascas das árvores do Norte de Minas Gerais.

Os resultados quantitativos dos elementos celulares da madeira das populações do Norte e Sul de Minas Gerais estão relacionados na Tabela 3. Em geral, o xilema secundário da população do Norte de Minas Gerais apresentou lenho com maior frequência de vasos que, em grande maioria, são múltiplos, fibras com paredes mais espessas e raios mais largos ( $\mu\text{m}$ ) e altos ( $\mu\text{m}$  e número de células) e em maior frequência. A população do Sul de Minas Gerais apresentou maior frequência de vasos solitários, vasos mais compridos e com maiores diâmetros, fibras mais compridas e raios mais altos (número de células).

Os valores médios da frequência de vasos múltiplos, diâmetro do lúmen e comprimento das fibras e frequência e larguras dos raios ( $\mu\text{m}$  e número de células) mostraram diferenças significativas entre as populações.

Tabela 3 Média dos dados biométricos referentes aos diferentes elementos estruturais do floema e do xilema secundário de *Anadenanthera peregrina* do Sul de Minas Gerais (Mata atlântica) e Norte de Minas Gerais (Mata de galeria), com  $p < 0,05$  e  $n = 30$ . Média – desvio-padrão. Letras diferentes (a ou b) indicam significância estatística pelo teste t

Variáveis Analisadas	Norte de Minas Gerais	Sul de Minas Gerais
<b>CASCA</b>		
<b>Elemento de tubo crivoso</b>		
Diâmetro ( $\mu\text{m}$ )	24,80 (1,82) a	29,17 (2,41) a
Comprimento ( $\mu\text{m}$ )	264,33 (5,13) a	326,33 (26,50) b
<b>Fibras</b>		
Diâmetro do lume ( $\mu\text{m}$ )	4,15 (0,62) a	4,28 (0,15) a
Espessura da parede ( $\mu\text{m}$ )	5,92 (0,62) a	6,46 (0,71) a
Comprimento ( $\mu\text{m}$ )	893,96 (23,66) a	1214,37 (71,54) b
<b>Esclereídeos</b>		
Diâmetro ( $\mu\text{m}$ )	39,53 (0,60) a	50,16 (17,06) a
<b>Raios</b>		
Altura ( $\mu\text{m}$ )	232,45 (10,03) a	248,07 (37,31) a
Largura ( $\mu\text{m}$ )	39,46 (2,16) a	41,25 (6,99) a
Altura (n° de células)	15,34 (1,31) a	15,64 (3,81) a
Largura (n° de células)	3,16 (0,12) a	2,78 (0,41) a
<b>Proporção de tecidos (%)</b>		
% Esclereídeos	8,46 (2,85) b	1,82 (0,65) a
% Elemento de tubo crivoso	4,02 (0,52) b	1,54 (0,29) a
% Fibras	18,08 (1,49) a	36,88 (6,81) b
% Parênquima axial	27,79 (1,98) a	34,05 (8,09) a
% Raios	19,75 (1,84) b	13,49 (2,99) a
% Tecido expandido de dilatação	21,88 (2,52) b	15,32 (1,54) a

“Tabela 3, conclusão”

<b>Variáveis Analisadas</b>	<b>Norte de Minas Gerais</b>	<b>Sul de Minas Gerais</b>
<b>MADEIRA</b>		
<b>Vasos</b>		
Frequência (n°/mm <sup>2</sup> )	8,33 (0,57) a	7,66 (1,52) a
Frequência de vasos solitários (n°/mm <sup>2</sup> )	4,22 (0,58) a	6,01 (1,74) a
Frequência de vasos múltiplos (n°/mm <sup>2</sup> )	4,05 (0,49) b	1,72 (0,30) a
Comprimento (µm)	232,33 (31.14) a	255,52 (39,04) a
Diâmetro (µm)	12,48 (0.51) a	13,19 (1,17) a
<b>Raio</b>		
Altura (µm)	230,00 (25.35) a	224,96 (15,65) a
Largura (µm)	38,33 (4.50) b	27,60 (1,62) a
Altura (n° de células)	16,00 (1.73) a	14.33(1,15) a
Largura (n° de células)	3,27 (0.1) b	2,81(0,21) a
Frequência (n°/mm <sup>2</sup> )	2,85 (0.22) b	1,95 (0,13) a
<b>Fibras</b>		
Diâmetro do lume (µm)	10,33 (0.57) b	7,89 (0,18) a
Espessura da parede (µm)	8,00 (1.00) a	6,30 (0,74) a
Comprimento (µm)	931,16 (61.51) a	1253,93 (32,58) b

A análise de agrupamento, com base nos parâmetros anatômicos quantitativos da casca e da madeira, ordenou os espécimes em dois grupos distintos (Fig. 10). Os grupos foram ordenados, de acordo com a região de procedência, um grupo reuniu os três indivíduos da região Norte de Minas Gerais (Mata de Galeria) o outro grupo reuniu os três indivíduos da região Sul de Minas Gerais (Mata Atlântica).

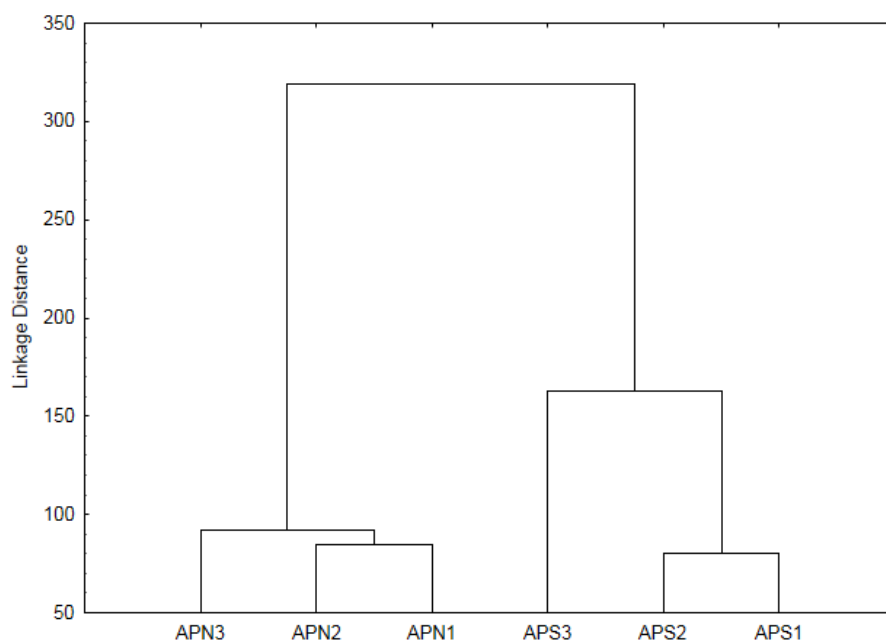


Figura 10 Dendrograma resultante da análise de agrupamentos evidenciando similaridades entre os espécimes com base nos parâmetros anatômicos quantitativos da casca e da madeira

Legenda: Espécimes do Norte de Minas Gerais (Mata de galeria); APS1, APS2 e APS3, espécimes do Sul de Minas Gerais (Mata Atlântica); APN1, APN2, APN3.

A PCA que considerou tanto as características anatômicas da madeira e casca, como também as características físico-químicas do solo e a idade, altura e diâmetro dos indivíduos, demonstrou que a variação dos fatores juntos explica 92.23% da variância total (Fig. 11). O eixo 1 explica 66.05% e é influenciado pelas percentagens de esclereídeo, elemento de tubo crivoso, fibras, raios e tecido expandido de dilatação, diâmetro e comprimento do elemento de tubo crivoso, comprimento de fibras do floema, diâmetro de vasos, largura ( $\mu\text{m}$ ) e frequência dos raios da madeira, altura e largura dos raios da madeira (número de células), diâmetro de lúmen, espessura da parede e comprimento das fibras da

madeira, frequência de vasos múltiplos, silte, argila, pH, soma de base, matéria orgânica, hidrogênio + alumínio, cálcio, magnésio, fósforo, ferro e potássio. O eixo 2 explica 14.35%, da variância total e é influenciado pela percentagem de parênquima axial, altura ( $\mu\text{m}$  e números de células) e largura ( $\mu\text{m}$ ) dos raios do floema, diâmetro dos esclereídeos e diâmetro das árvores. Já o eixo 3 explica 11.83 % da variância total, sendo influenciado por comprimento e frequência de vaso solitário e total, largura dos raios do floema (número de células), espessura da parede das fibras do floema e altura da árvores (Tab. 4).



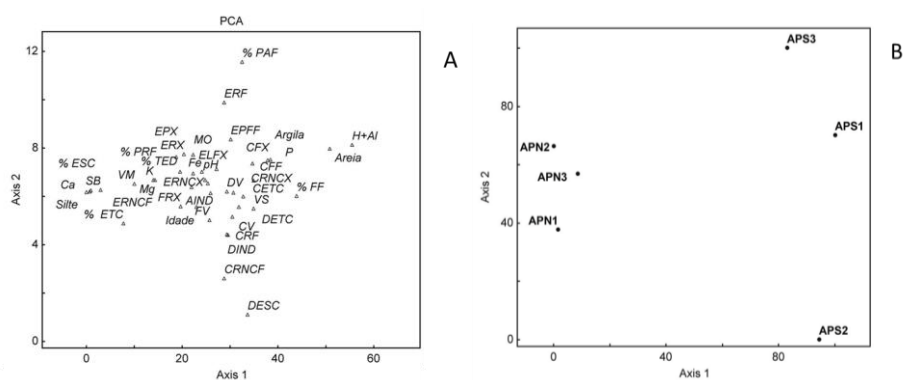


Figura 11 Análise de componentes principais (PCA)

Legenda: ERF, largura do raio do floema ( $\mu\text{m}$ ); ERNCF, largura do raio do floema (número de células); CRF, altura do raio do floema ( $\mu\text{m}$ ); CNCF, altura do raio do floema (números de células); CFF, comprimento das fibras do floema; EPFF, espessura das paredes das fibras do floema; DESC, diâmetro dos esclereídeos, DETC, diâmetro dos elementos de tubos crivosos; CETC, comprimento dos elementos de tubo crivosos, % ESC percentagem de esclereídeos; % ETC, percentagem dos elementos de tubos crivosos; % FF, percentagem das fibras do floema; % PAF, percentagem do parênquima axial do floema; % PRF raios do floema; % TED, tecido expandido de dilatação; FV, frequência de vasos/ $\text{mm}^2$ ; DV, diâmetro de vaso; CV, comprimento de vaso; VS, vasos solitários; VM, vasos múltiplos; FRX, frequência de raios/ $\text{mm}^2$  do xilema; CRNCX, altura dos raios do xilema; ERNCX, largura dos raios do xilema; ELFX, espessura do lúmen das fibras do xilema; EPFX, espessura da parede das fibras do xilema. CFX, comprimento das fibras do xilema; MO, matéria orgânica; SB, soma de base; H+AL, hidrogênio + alumínio; P, fósforo; pH, Fe, ferro; areia, silte, argila, DIND, diâmetro dos indivíduos; H, altura dos indivíduos; Idade; APN1, APN2 e APN3, espécimes do Norte de Minas Gerais (Mata de galeria); APS1, APS2 e APS3, espécimes do Sul de Minas Gerais (Mata Atlântica).

Tabela 4 Dados dos autovetores da análise de componentes principais, que considerou as características anatômicas da casca e madeira, as características físico-químicas do solo e a altura e diâmetro dos espécimes

<b>Variáveis</b>	<b>Eixo 1</b>	<b>Eixo 2</b>	<b>Eixo 3</b>
<b>Casca</b>			
% Esclereídeos	*-0,7086	-0,0345	-0,3197
% Elemento de tubo crivoso	*-0,9717	-0,1593	0,0434
% Fibras	*0,9591	-0,1000	-0,2613
% Parênquima axial	0,4796	*0,6575	-0,4911
% Raios	*-0,8993	0,0690	0,4092
% Tecido expandido de dilatação	*-0,9279	-0,0236	0,2162
Diâmetro do elemento de tubo crivoso ( $\mu\text{m}$ )	*0,8246	-0,4884	0,0565
Comprimento do elemento de tubo crivoso ( $\mu\text{m}$ )	*0,9276	-0,3185	-0,1343
Altura dos raios ( $\mu\text{m}$ )	0,3822	*-0,9096	-0,0482
Largura dos raios ( $\mu\text{m}$ )	0,1787	*0,8254	-0,1880
Altura dos raios ( $n^\circ$ de células)	0,1248	*-0,9808	-0,1387
Largura dos raios ( $n^\circ$ de células)	-0,5281	-0,1892	*-0,7424
Espessura da parede das fibras ( $\mu\text{m}$ )	0,5110	0,3971	*-0,6451
Comprimento das fibras ( $\mu\text{m}$ )	*0,9889	-0,1054	-0,0886
Diâmetro dos esclereídeos ( $\mu\text{m}$ )	0,5069	*-0,7827	0,2703
<b>Madeira</b>			
Comprimento dos vasos ( $\mu\text{m}$ )	0,4553	-0,5116	*-0,5681
Diâmetro dos vasos ( $\mu\text{m}$ )	*0,5086	-0,4832	-0,4420
Largura dos raios ( $\mu\text{m}$ )	*-0,9212	0,1023	0,1086
Altura dos raios (número de células)	*0,6471	-0,3334	-0,4195
Largura dos raios (número de células)	*-0,7901	-0,1751	-0,5762
Diâmetro do lume das fibras ( $\mu\text{m}$ )	*-0,9504	-0,1824	-0,1313
Espessura da parede das fibras ( $\mu\text{m}$ )	*-0,7998	0,1156	0,3154
Comprimento das fibras ( $\mu\text{m}$ )	*0,9853	0,0413	-0,0528
Frequência de vasos/ $\text{mm}^2$	-0,3863	-0,5542	*0,7113
Frequência de vasos solitários/ $\text{mm}^2$	0,5795	-0,1983	*0,7402

“Tabela 4, conclusão”

<b>Variáveis</b>	<b>Eixo 1</b>	<b>Eixo 2</b>	<b>Eixo 3</b>
Frequência de vasos múltiplos/ mm <sup>2</sup>	*-0,9443	-0,0488	-0,2033
Frequência de raios (no/mm)	*-0,9202	-0,2587	-0,1627
<b>Características químicas do solo</b>			
Silte (%)	*-0,9920	-0,0508	-0,1098
Argila (%)	*0,9920	0,0508	0,1098
Areia (%)	*0,9920	0,0508	0,1098
pH (CaCl <sub>2</sub> )	*-0,9920	-0,0508	-0,1098
H+Al (mmolc kg-1)	*0,9920	0,0508	0,1098
Ca (mmolc kg-1)	*-0,9920	-0,0508	-0,1098
Mg (mmolc kg-1)	*-0,9920	-0,0508	-0,1098
K (mmolc kg-1)	*-0,9920	-0,0508	-0,1098
M.O. (g kg-1)	*-0,9920	-0,0508	-0,1098
P (mg kg-1)	*0,9920	0,0508	0,1098
SB (mmolc kg-1)	*-0,9920	-0,0508	-0,1098
Fe (mg kg-1)	*-0,9920	-0,0508	-0,1098
<b>Biométrica e idades das árvores</b>			
Diâmetro dos espécimes (cm)	0,2432	*-0,6723	-0,5219
Altura dos espécimes (m)	-0,5448	-0,4124	*0,6884
Idade	*-0,8412	-0,4040	-0,2191

\*Variáveis que mais contribuíram para os eixos 1, 2 e 3.

#### 4 DISCUSSÃO

A observação qualitativa das amostras de casca e madeira da espécie *A. peregrina* de ambas as populações, do Norte e Sul de Minas Gerais, assinalou grande semelhança em todas as árvores, no que diz respeito à presença, forma e distribuição dos elementos estruturais, o que seria de esperar, uma vez que se trata de árvores da mesma espécie. As diferenças anatômicas da casca e madeira assinaláveis, entre as árvores de ambas as populações, estão relacionadas com maior esclerificação das células das peridermes e, sobretudo com os aspectos quantitativos.

Os cristais prismáticos, provavelmente de oxalato de cálcio, ocorrem em séries nas células do parênquima axial próximo das fibras. Parênquima com séries cristalíferas, ao longo das margens das fibras, foi, também, descrito em casca de espécies da família Leguminosae, por exemplo, *Acacia polyphylla*, *Copaifera langsdorffii* e *Mimosa laticifera* por Costa et al. (1997).

Ritidoma em escamas bem desenvolvido, como observado na espécie estudada, é descrito com frequência e ocorre em gêneros variados, como, por exemplo, *Pinus* (NUNES; QUILHO; PEREIRA, 1996), *Quercus* (ŞEN; QUILHÓ; PEREIRA, 2011) e *Virgilia* (KOTINA et al., 2013). Nas árvores da região Norte e Sul de Minas Gerais, a existência de um ritidoma bem desenvolvido pode servir como tecido de aeração, ou de proteção contra infecções provocadas por microrganismos, sendo frequente o aparecimento de grande quantidade de taninos e outras secreções com ação desinfetante, ou ainda, mais especificamente, nas árvores do Norte de Minas Gerais, pode servir contra a insolação e perda de água durante os verões que nessa região são secos.

A maior proporção de ritidoma, nas árvores do Sul de Minas Gerais, pode estar relacionada com a maior eficiência na proteção, uma vez que, em

ambientes úmidos, o perigo de ataque por fungos, insetos e, conseqüentemente, de podridão é maior do que em ambientes secos.

As diferenças encontradas, para a proporção de tecido de esclerênquima das cascas, das duas populações, estão possivelmente relacionadas com a espessura das cascas, uma vez que, nas árvores do Norte de Minas, são mais espessas e onde a menor percentagem de fibras é compensada com a maior percentagem de esclereídeo. Os esclereídeo da casca provêm da alteração de células de parênquima axial como resultado do crescimento secundário da árvore, assegurando, assim, a sua integridade (QUILHÓ et al., 2013; RICHTER, 1981), uma vez que estas células dão rigidez à casca (ROTH, 1981).

A presença de tecido de dilatação em árvores em que as peridermes persistem, durante um longo período de tempo, é, geralmente, descrita como sendo de grande extensão (ROTH, 1981) o que confere com observações na espécie estudada. A maior percentagem de tecido de dilatação, nas árvores do Norte de Minas Gerais, em comparação às árvores do Sul de Minas Gerais, possivelmente, tem a ver com o fato de que, no Norte de Minas Gerais, as cascas apresentam maiores espessuras.

Foi observado, também, que as características anatômicas da madeira estão em concordância com o descrito na literatura por Marcati (1992), Mori et al. (2003) e Valente et al. (2013). Nos representantes das duas populações, as placas de perfuração são simples (Fig. 4 b,c). Para Wheeler (1986), o xilema secundário de 80% das espécies arbóreas possui esse tipo de placa. A demanda do intenso fluxo de água, imposta pelas altas taxas de transpiração, em regiões quentes e secas, faz com que as placas de perfuração simples sejam consideradas mais eficientes (WHEELER; BAAS, 1991).

Os tecidos condutores, tanto da casca quanto da madeira, apresentaram comportamentos parecidos, visto que menores diâmetros e comprimentos de vasos e de elementos de tubos crivosos e maiores frequências de vasos e maior

percentagem de elementos de tubos crivosos, foram observados nos espécimes da região de maior possibilidade de déficit hídrico, por ter os verões mais secos, Norte de Minas Gerais. Ao passo que elementos de vasos e elementos de tubo crivosos foram observados em menor proporção e com maiores comprimentos e diâmetros nos espécimes da região de menor possibilidade de déficit hídrico, Sul de Minas Gerais.

A semelhança na casca que é, geralmente, descrita para o lenho, o aumento da secura, ou seja, de déficit hídrico está associado a um aumento da frequência e uma diminuição do comprimento e diâmetro dos vasos. Segundo Baas (1973), Barajas-Morales (1985) e Sonsin et al. (2012), as espécies, em ambientes mais secos, apresentam maior frequência de vasos com menores diâmetros e comprimentos e, por vezes, são em grande maioria múltiplos.

Vasos estreitos, apesar de menos eficientes na condução, são considerados como uma característica adaptativa de segurança hídrica em ambientes secos, uma vez que permitem o desenvolvimento de maiores pressões negativas, diminuindo o risco de embolia, que causa a inatividade dos vasos, ou são menos propensos à embolia, pois, caso as bolhas se formem, elas dissolvem-se mais facilmente por terem menores dimensões (BAAS, 1986; TYREE; ZIMMERMANN, 2002; ZIMMERMANN, 1983; ZIMMERMANN; BROWN, 1971). Outro fato que as árvores do Norte de Minas Gerais apresentam considerada característica adaptativa de segurança hídrica é a grande frequência de vasos múltiplos, pois, se um vaso é comprometido o outro, assegura a condução hídrica (ALVES; ANGYALOSSY-ALFONSO, 2000).

Elementos de vasos mais curtos como encontrados no Norte de Minas Gerais são descrito por Carlquist (1975) como uma adaptação em espécies xéricas e espécies de climas com geadas recorrentes, uma vez que vasos curtos oferecem maior resistência mecânica. Já os elementos de vasos compridos e com grandes diâmetros, como encontrados na região de menor possibilidade de

déficit hídrico, Sul de Minas Gerais, conferem maior eficiência condutora, contudo são mais vulneráveis quanto à formação de bolhas, podendo representar uma grande perda para o sistema hídrico da planta (BAAS; WHEELER; FAHN, 1983; CARLQUIST, 1985; ZIMMERMANN, 1983). Assim, o mesmo princípio operativo, para o elemento condutor do lenho, possivelmente, explica os resultados obtidos para os elementos de tubo crivoso das árvores do Norte e Sul de Minas Gerais.

Raios da madeira mais largos ( $\mu\text{m}$  e número de células) e mais frequentes, observados na população da região de maior possibilidade de déficit hídrico, Norte de Minas Gerais, possivelmente, é uma adaptação das árvores a esse ambiente, pois, segundo Metcalf e Chalk (1989), a maior produção de células meristemáticas está relacionada à maior capacidade de armazenar nutrientes, características que garantem à planta sobreviver a períodos adversos, tal como a baixa disponibilidade hídrica observada no período de seca prolongada. Dados semelhantes foram encontrados por Outer e Veenendaal (1976), que obtiveram os maiores valores de largura de raios nas espécies de savana e por Luchi (2004), em espécimes de *Croton urucurana* de área com menor disponibilidade hídrica.

Tanto na casca como no lenho, fibras mais compridas foram encontradas nas árvores do Sul de Minas Gerais. Esse resultado leva a pensar que, estando o comprimento das fibras relacionado com o grau de crescimento dependente da atividade cambial, é a região Sul de Minas Gerais a que tem boas condições nutricionais do solo, aliada ao clima úmido, verões brandos e suaves, que, possivelmente, propiciam o maior grau de crescimento dessas células.

Para a análise de agrupamento (“cluster”) que considerou somente as características anatômicas do lenho e casca, obteve-se uma segregação dos indivíduos de acordo com a região, e para a PCA que considerou além das características anatômicas da casca e da madeira, as variáveis do solo e

dendrométricas dos indivíduos, evidenciou-se também uma segregação dos indivíduos de acordo com a região. A partir desse resultado pode-se inferir que de fato o que foi ressaltado pela análise, foi à presença marcante de secas prolongadas na região Norte de Minas Gerais, proeminente pelas características anatômicas da casca e da madeira influenciadas principalmente pelo déficit hídrico da região.



## 5 CONCLUSÃO

A anatomia da casca e madeira de *A. peregrina* apresentaram diferenças funcionais significativas, em relação ao meio ambiente, ou seja, relativas às diferenças regionais na disponibilidade de água. As diferenças na ocorrência de seca entre o norte e o sul de Minas Gerais influenciaram a funcionalidade ecológica adaptativa da anatomia da casca e madeira.

Os resultados mostraram que *A. peregrina* pode adotar diferentes estratégias de sobrevivência, em relação à segurança e eficácia do transporte de água e solutos, pela adaptação ecológica dos elementos condutores da casca e da madeira. As características anatômicas de adaptação à seca foram, principalmente, um aumento da frequência de vasos e sua multiplicidade, um aumento na porcentagem de elementos de tubo crivosos e uma diminuição do diâmetro e comprimento dos vasos e dos elementos de tubo crivoso.

## REFERÊNCIAS

- ALTSCHUL, S. V. R. A taxonomic study of the genus *Anadenanthera*. **Contributions from the Gray Herbarium of Harvard University**, Cambridge, n. 193, p. 1-65, 1964.
- ALVES, E. S.; ANGYALOSSY-ALFONSO, V. Ecological trends in the wood anatomy of some Brazilian species: 1., growth rings and vessels. **IAWA Journal**, Utrecht, v. 21, n. 1, p. 3-30, 2000.
- BAAS, P. Ecological patterns in xylem anatomy. In: GIVNISH, T. J. (Ed.). **On the economy of plant form and function**. Cambridge: Cambridge University Press, 1986. p. 327-352.
- BAAS, P. The wood anatomical range in *Ilex* (Aquifoliaceae) and its ecological and phylogenetic significance. **Blumea**, Wageningen, v. 21, p. 193-258, 1973.
- BAAS, P.; WHEELER, E.; FAHN, A. Some ecological trends in vessel characters. **IAWA Bulletin**, Leiden, v. 4, p. 141-159, 1983.
- BARAJAS-MORALES, J. Wood structural differences between trees of two tropical forests in Mexico. **IAWA Bulletin**, Leiden, v. 6, p. 355-364, 1985.
- BARBOSA, A. C. F. et al. A new method to obtain good anatomical slides of heterogeneous plant parts. **IAWA Journal**, Utrecht, v. 31, n. 4, p. 373-383, 2010.
- BUKATSCH, F. Bemerkungen zur Doppelfärbung Astrablau-Safranin. **Mikrokosmos**, Stuttgart, n. 61, p. 1-255, 1972.
- CARLQUIST, S. **Ecological strategies in xylem evolution**. Berkeley: University of California Press, 1975. 259 p.

CARVALHO, P. E. R. **Espécies arbóreas brasileiras**. Colombo: EMBRAPA Florestas, 2003. v. 1, 1039 p.

COSTA, C. G. et al. Bark anatomy of arborescent leguminosae of cerrado and gallery forest of central Brazil. **IAWA Journal**, Leiden, v. 18, n. 4, p. 385-399, 1997.

DICKISON, W. C. **Integrative plant anatomy**. San Diego: Harcourt Academic Press, 2000. 533 p.

DURIGAN, G. et al. **Sementes e mudas de árvores tropicais**. São Paulo: Páginas Letras, 1997. 65 p.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Manual de métodos de análise de solo**. 2. ed. rev. e atual. Rio de Janeiro, 1997. 212 p.

FRANKLIN, G. L. Preparation of thin sections of synthetic resins and wood-resin composites, and a new macerating method for wood. **Nature**, London, v. 155, p. 51, 1945.

INTERNATIONAL ASSOCIATION OF WOOD ANATOMISTS COMMITTEE. IAWA list of microscopic features for hardwood identification. **IAWA Bulletin**, Leiden, v. 10, n. 3, p. 219-332, 1989.

JOHANSEN, D. A. **Plant microtechnique**. New York: McGraw-Hill Book, 1940. 523 p.

KOTINA, E. L. et al. Notes on the taxonomic and ecological significance of bark structure in the genus *Virgilia* (Fabaceae, Podalyrieae). **South African Journal of Botany**, Pretoria, v. 89, p. 240-243, Nov. 2013.

LEWIS, G. et al. **Legumes of the world**. Kew: Richmond, 2005. 577 p.

LONGUI, E. L. et al. Ecological wood anatomy of *Ocotea Urucutuensis*. **IAWA Journal**, Utrecht, v. 35, n. 4, p. 356-362, 2014.

LORENZI, H. **Árvores brasileiras: manual de identificação e cultivo de plantas arbóreas nativas do Brasil**. 3. ed. São Paulo: Instituto Plantarum, 2009. v. 2, 384 p.

LUCHI, A. Anatomia do lenho de *Croton urucurana* Baill. (Euphorbiaceae) de solos com diferentes níveis de umidade. **Revista Brasileira de Botânica**, São Paulo, v. 27, n. 2, p. 271-280, abr./jun. 2004.

LUDWIG, J. A.; REYNOLDS, J. F. **Statistical ecology: a primer on methods and computing**. New York: J. Wiley, 1988. 368 p.

MARCATI, C. R. **Estudo da anatomia e das propriedades tecnológicas da madeira do angico-vermelho (*Piptadenia peregrina* Benth)**. 1992. 94 p. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 1992.

MCCUNE, B.; MEFFORD, M.J. **PC-ORD version 4.0, multivariate analysis of ecological data: users guide**. Glaneden Beach: MjM Software Design, 1999. 237 p.

METCALF, C. R.; CHALK, L. **Anatomy of the dicotyledons: wood structure and conclusion of the general introduction**. Oxford: Oxford University Press, 1989. 297 p.

MORI, C. L. S. O. et al. Caracterização da madeira de angico-vermelho (*Anadenanthera Peregrina* (Benth) Speng) para confecção de móveis. **Brasil Florestal**, Brasília, v. 23, n. 77, p. 29-36, 2003.

MORIM, M. P. *Anadenanthera*. In: LISTA de espécies da flora do Brasil. Rio de Janeiro: Jardim Botânico do Rio de Janeiro, 2013. Disponível em: <<http://floradobrasil.jbrj.gov.br/jabot/floradobrasil/FB22782>>. Acesso em: 14 dez. 2013.

NUNES, E.; QUILHO, T.; PEREIRA, H. Anatomy and chemical composition of *Pinus pinaster* bark. **IAWA Journal**, Utrecht, v. 17, n. 2, p. 141-149, 1996.

OUTER, R. W.; VEENENDAAL, W. L. H. Variation in wood anatomy of species with a distribution covering both rain forest and savanna areas of the Ivory Coast, West-Africa. In: BAAS, P.; BOLTON, A. J.; CATLING, D. M. (Ed.). **Wood structure in biological and technological research**. Leiden: Leiden University Press, 1976. p. 182-195. (Leiden Botanical Series, 3).

QUEIROZ, L. P. **Leguminosas da caatinga**. Feira de Santana: Universidade Estadual de Feira de Santana Bahia, 2009. 914 p.

QUILHÓ, T. **Variabilidade da estrutura anatômica da casca da *Eucalyptus globulus* Labill.** 1998. 222 p. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) - Universidade Técnica de Lisboa, Instituto Superior de Agronomia, Lisboa, 1998.

QUILHÓ, T. et al. Bark anatomy and cell size variation in *Quercus faginea*. **Turkish Journal of Botany**, Sohag, v. 37, n. 3, p. 561-570, May 2013.

RICHTER, H. G. Wood and bark anatomy of Lauraceae I. Aniba Aublet. **IAWA Bulletin**, Leiden, v. 2, p. 79-87, 1981.

RICHTER, H. G. et al. Padronização de critérios para a descrição anatômica da casca: lista de características e glossário de termos. **IF Série Registros**, São Paulo, v. 16, p. 1-25, 1996.

ROTH, I. **Structural patterns of tropical barks**: Handb. Pflanzenanat. IX/3. Berlin: Borntraeger, 1981. 609 p.

ŞEN, A.; QUILHÓ, T.; PEREIRA, H. Bark anatomy of *Quercus cerris* L. var. *cerris* from Turkey. **Turkish Journal of Botany**, Sohag, v. 35, p. 45-55, June 2011.

SONSIN, J. O. et al. A comparison of the wood anatomy of 11 species from two cerrado habitats (cerrado *s.s.* and adjacent gallery forest). **Botanical Journal of the Linnean Society**, London, v. 170, n. 2, p. 257-276, Oct. 2012.

TROCKENBRODT, M. Survey and discussion of the terminology used in bark anatomy. **IAWA Bulletin**, Leiden, v. 11, p. 141-166, 1990.

TYREE, M. T.; ZIMMERMANN, M. H. **Xylem structure and the ascent of sap**. Berlin: Springer, 2002. 283 p.

VALENTE, B. M. D. T. et al. Variabilidade radial e longitudinal das propriedades físicas e anatômicas da madeira de angico-vermelho. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 41, n. 100, p. 485-496, 2013.

WHEELER, E. A. Vessels per square millimetre or vessel groups per square millimetre? **IAWA Bulletin**, Leiden, v. 7, p. 73-74, 1986.

WHEELER, E. A.; BAAS, P. A survey of the fossil record for dicotyledonous wood and its significance for evolutionary and ecological wood anatomy. **IAWA Bulletin**, Leiden, v. 12, p. 275-332, 1991.

ZANNE, A. E. et al. Patterns and consequences of differential vascular sectoriality in 18 temperate tree and shrub species. **Functional Ecology**, Oxford, v. 20, n. 2, p. 200-206, Apr. 2006.

ZIMMERMANN, M. H. **Xylem structure and the ascent of sap**. Berlin: Springer Verlag, 1983. 279 p.

ZIMMERMANN, M. H.; BROWN, C. L. **Trees: structure and function**. New York: Springer-Verlag, 1971. 336 p.