



**POLLIANA D'ANGELO RIOS**

**ESTRUTURA ANATÔMICA E  
CARACTERIZAÇÃO QUÍMICA DA CORTIÇA  
DE ÁRVORES DE *Kielmeyera coriacea* MART.  
(PAU-SANTO)**

**LAVRAS - MG**

**2011**

**POLLIANA D'ANGELO RIOS**

**ESTRUTURA ANATÔMICA E CARACTERIZAÇÃO QUÍMICA DA  
CORTIÇA DE ÁRVORES DE *Kielmeyera coriacea* MART. (PAU-SANTO)**

Tese apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia da Madeira, área de concentração em A Madeira como Matéria-Prima, para a obtenção do título de Doutor.

Orientador

Dr. Fábio Akira Mori

**LAVRAS - MG**

**2011**

**Ficha Catalográfica Preparada pela Divisão de Processos Técnicos da  
Biblioteca da UFLA**

Rios, Polliana D'Angelo.

Estrutura anatômica e caracterização química da cortiça de  
árvores de *Kielmeyera coriacea* Mart. (pau-santo) / Polliana  
D'Angelo Rios. – Lavras : UFLA, 2011.

139 p. : il.

Tese (doutorado) – Universidade Federal de Lavras, 2011.

Orientador: Fábio Akira Mori.

Bibliografia.

1. Árvore do Cerrado. 2. Anatomia da casca. 3. Suberina. 4.  
Análise química. I. Universidade Federal de Lavras. II. Título.

CDD – 674.9

**POLLIANA D'ANGELO RIOS**

**ESTRUTURA ANATÔMICA E CARACTERIZAÇÃO QUÍMICA DA  
CORTIÇA DE ÁRVORES DE *Kielmeyera coriacea* MART. (PAU-SANTO)**

Tese apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia da Madeira, área de concentração em A Madeira como Matéria-Prima, para a obtenção do título de Doutor.

APROVADA em 25 de fevereiro de 2011.

Dr. José Afonso Rodrigues Graça	UTL/ISA
Dr. Lourival Marin Mendes	UFLA
Dr. Mário Tomazello Filho	USP/ESALQ
Dr. Gustavo Henrique Denzin Tonoli	UFLA

Dr. Fábio Akira Mori  
Orientador

**LAVRAS – MG  
2011**

*A todos aqueles que efetivamente contribuíram com este trabalho,*

OFEREÇO

*Às pessoas mais importantes em minha vida:*

*Ana, Aníbal, Alessandro e Rodrigo,*

DEDICO

## **AGRADECIMENTOS**

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

À Universidade Técnica de Lisboa (UTL), em especial ao Instituto Superior de Agronomia (ISA), pela oportunidade concedida para a realização do doutorado-sanduíche.

À Fundação de Amparo a Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG) pela concessão da bolsa de estudos.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pela concessão da bolsa de estudos de doutorado-sanduíche.

## RESUMO

Este trabalho foi realizado com os objetivos de: estimar a idade das árvores de povoamentos nativos de *K. coriacea*, quantificar o seu percentual de casca do fuste, determinar a variação da densidade básica no sentido longitudinal das árvores e realizar a caracterização anatômica e química da cortiça. As amostras foram coletadas de árvores de *K. coriacea* localizadas em Luminárias, no estado de Minas Gerais, Brasil. As estimativas da idade das árvores foram realizadas por meio da contagem dos anéis de crescimento, a densidade da madeira pelo método de imersão e a cubagem rigorosa pelo método de Smalian. A análise química global da cortiça foi realizada quantitativamente pelos métodos comumente utilizados em madeira e a análise qualitativa dos extrativos e suberina por meio de cromatografia gasosa acoplada ao espectro de massa CG-MS. A análise de imagem das amostras de cortiça foi realizada macroscopicamente e microscopicamente. Como resultados, a idade média estimada das árvores de *K. coriacea* foi de 21 anos, variando de 10 a 36 anos. A densidade média da árvore no sentido longitudinal base-topo variou de 0,40 a 0,50 g/cm<sup>3</sup>. O volume total de casca foi quantificado entre 51,42% a 78,22%. As árvores cubadas apresentam-se, de maneira geral, com alta porcentagem de volume de casca. Na análise química, a composição dos monossacarídeos apresenta-se com predominância de glucose (58,9% a 64%). O monômero não celulósico encontrado em maior proporção foi a xilose, com percentual variando de 21% a 26%. A arabinose e a galactose apresentam-se com percentual de 6,0% a 9,5%, respectivamente. Os extrativos em diclorometano do tecido suberoso da cortiça apresentam predominância de compostos como álcoois e ácidos graxos de cadeia longa. Os extratos solúveis em etanol do tecido suberoso são, em sua maioria, identificados como glicerol e açúcares. A composição monomérica da suberina permite a identificação dos monômeros de glicerol, compostos fenólicos, álcoois graxos e ácidos de cadeia longa. O padrão base de composição da suberina da cortiça de *K. coriacea* é similar aos das suberinas estudadas em outras plantas. Na análise de imagem, as amostras de cortiça apresentaram alguns defeitos que são considerados relevantes para a sua qualidade. Anatomicamente, apresenta uma transição gradual entre o floema colapsado e o floema não colapsado. As fibras apresentam-se dispostas em linhas tangenciais, são bifurcadas e/ou denteadas e apresentam pontoações. As esclereídes estão presentes junto com os cristais de oxalato. Amido e taninos são frequentes no parênquima.

Palavras-chave: Estimativa de idade. Densidade da madeira. Cubagem rigorosa. Análise química. Suberina. Análise de imagem. Anatomia da casca.

## ABSTRACT

The aims were: to estimate the age of trees in native stands of *K. coriacea*, quantify the percentage of bark on the stem, to determine the variation of wood density across the longitudinal direction of the trees and to characterize the cork based on chemical and anatomical analyses to assess its properties. The samples were collected from *K. coriacea* trees located in Luminárias, Minas Gerais State, Brazil. The age of the trees was estimated by counting the growth rings, the wood density was determined by immersion, and the rigorous scalling was conducted using the Smalian method. Global chemical analysis of the cork was performed quantitatively by the methods commonly used in wood and the qualitative analysis of the extractives and suberin by gas chromatography-mass spectrometry, GC-MS. Image analysis of the cork samples was performed macroscopically and microscopically. As results, the estimated average age of the trees of *K. coriacea* was 21 years, ranging from 10 to 36 years. The average density of the tree in the longitudinal direction ranged from 0.40 to 0.50 g/cm<sup>3</sup>. The total bark volume was found between 51.42% to 78.22%. In general, the trees submitted to scalling presented a high percentage of bark volume. According to the chemical analysis, the monosaccharides composition presented primarily glucose (58.9 to 64%). The non-cellulosic monomer mainly found was the xylose, with a ratio ranging from 21 to 26%. The arabinose and galactose ratios ranged from 6.0 to 9.5%, respectively. The dichloromethane extractives of the cork tissue show a predominance of compounds such as alcohols and long chain fatty acids. The ethanol-soluble extracts of cork tissue are mostly identified as glycerol and sugars. The monomeric composition of the suberin allows the recognition of monomers of glycerol, phenolic compounds, alcohols, and long chain fatty acids. The basic pattern of the composition of suberin from *K. coriacea* cork is identical to the suberin studied in other plants. The image analysis of samples of cork revealed some defects that are considered relevant to its quality. Anatomically presents a gradual transition between the collapsed phloem and the non- collapsed phloem. The fibers are arranged in tangential rows, branched and / or jagged, and with pits. The sclereids are present together with the oxalate crystals. Starch and tannins are frequent in the parenchyma.

Keywords: Age estimation. Wood density. Rigorous scalling. Chemical analysis. Suberin. Image analysis. Bark anatomy.

## LISTA DE TABELAS

### CAPÍTULO 2

Tabela 1	Altura e diâmetro das árvores selecionadas no campo .....	42
----------	---	----

### CAPÍTULO 3

Tabela 1	Intervalos das classes diamétricas, amostradas aleatoriamente, para análise de imagem e análise microscópica .....	65
Tabela 2	Área total da amostra (cm <sup>2</sup> ), área total do tecido não suberoso (cm <sup>2</sup> ), área total de poros (cm <sup>2</sup> ) e coeficiente de porosidade (%) na seção transversal, radial e tangencial da cortiça para diferentes árvores .....	76
Tabela 3	Espessura média da amostra (cm), comprimento médio do tecido não suberoso (mm) e espessura média do tecido não suberoso (cm) na seção transversal e radial da cortiça para diferentes árvores .....	78

### CAPÍTULO 4

Tabela 1	Valores de composição química quantitativa média e de desvio padrão da cortiça de <i>Kielmeyera coriacea</i> no sentido longitudinal (base/topo) da árvore 1 .....	115
Tabela 2	Valores de composição química quantitativa média e de desvio padrão da cortiça de <i>Kielmeyera coriacea</i> no sentido longitudinal (base/topo) da árvore 2 .....	117
Tabela 3	Composição dos monossacarídeos da cortiça de <i>Kielmeyera coriacea</i> no sentido longitudinal (base/topo) para a árvore 1 .....	120
Tabela 4	Composição dos monossacarídeos da cortiça de <i>Kielmeyera coriacea</i> no sentido longitudinal (base/topo) para a árvore 2 .....	120
Tabela 5	Composição dos extrativos em diclorometano da cortiça de <i>Kielmeyera coriacea</i> (pau-santo). Análise direta por CG-MS; compostos na forma de ésteres e éteres trimetilsilílicos .....	122
Tabela 6	Composição dos extrativos em etanol do tecido suberoso da cortiça de <i>Kielmeyera coriacea</i> (pau-santo), após extração em diclorometano. Análise direta por CG-MS; compostos na forma de ésteres e/ou éteres trimetilsilílicos .....	123
Tabela 7	Composição da suberina da cortiça de <i>Kielmeyera coriacea</i> (pau-santo). Fase orgânica do metanolisado analisada por CG-MS; compostos na forma de ésteres metílicos, éteres trimetilsilílicos ....	127

## LISTA DE FIGURAS

### CAPÍTULO 1

- Figura 1 Mapa da área de distribuição original do Cerrado no Brasil ..... 19
- Figura 2 (A) Árvore de *Kielmeyera coriacea* Mart. (B) Seção transversal do lenho da árvore de *Kielmeyera coriacea*, evidenciando a medula (Me), o alborno (Al), os raios (Rd), o floema (Fl) e a cortiça (Co). (C) Aspecto do lenho da *Kielmeyera coriacea*, evidenciando a exposição do floema (Fl) com a retirada da cortiça (Co) ..... 20
- Figura 3 Desenho de um corte de cortiça, observado por Hooke no microscópio (DIAS; JOÃO, 1978) ..... 22
- Figura 4 Seções da cortiça representadas pela observação em microscopia eletrônica de varredura para a espécie de *Kielmeyera coriacea* Mart.\* (1, 3, 5) comparadas à espécie de *Quercus suber*\*\* (2, 4, 6): seção transversal (1-2); tangencial (3-4); radial (5-6). Escalas: (1) e (5) = 20µm; (2), (3) = 10µm, (4), (6) = 100µm. Fonte: \*\*Fortes, Rosa e Pereira (2004) e \*Rios (2007)..... 26
- Figura 5 Parede celular dupla das células suberosas da cortiça de *Quercus suber*. ML: lamela média composta. S: parede suberinizada, com as lamelas alternadas claro-escuras. T: parede terciária, 75000 x (LIESE; GUNZERODT; PARAMESWARAN, 1983) ..... 28

### CAPÍTULO 2

- Figura 1 Obtenção das amostras do disco de madeira, na base do tronco, para a estimativa de idade das árvores de *Kielmeyera coriacea* ..... 43
- Figura 2 (A) Disco de madeira polido, retirado da base da árvore de *Kielmeyera coriacea*, com marcação dos anéis de crescimento em quatro porções distintas (1, 2, 3 e 4). (B) Mesa de mensuração, microscópio estereoscópio e sistema de iluminação óptica utilizados para a contagem dos anéis de crescimento ..... 44
- Figura 3 Obtenção dos corpos de prova para a determinação da densidade, no sentido longitudinal da madeira de *Kielmeyera coriacea*. Os números (1, 2 e 3) são referentes às repetições ..... 45
- Figura 4 Seccionamento do fuste para cubagem rigorosa..... 46

### CAPÍTULO 3

- Figura 1 Detalhamento das áreas selecionadas a serem calculadas. Seção transversal com seleção de áreas consideradas como tecido não suberoso (A). Seção transversal com seleção da área total da superfície calculada (B)..... 68
- Figura 2 Aspecto geral da seção transversal de uma amostra de cortiça de *Kielmeyera coriacea*, com detalhamento para áreas com presença de tecido de floema incluso ..... 71
- Figura 3 Aspecto geral da seção transversal (A) e da seção radial (B) de uma amostra de cortiça, com detalhamento para áreas com presença de canais lenticulares ou lenticelas..... 73
- Figura 4 Seção transversal de uma amostra de cortiça com imperfeições evidentes, causadas provavelmente por insetos (A) e fenda originada devido às tensões de crescimento (B)..... 74
- Figura 5 Seção transversal de um disco de *Kielmeyera coriacea*, com destaque para as áreas de floema (Fl) e de ritidoma (Rt) ..... 79
- Figura 6 Seção transversal da casca de *Kielmeyera coriacea*. A. Destaque para as áreas de floema não colapsado (FNC), floema colapsado (FC) e de peridermes sequenciais (Pe); B. Camadas de felema com paredes lignificadas e espessamento em U (seta); C. Alternância de áreas de floema incluído (Fl) e células de periderme (Pe); D. Felema com anéis de crescimento (setas); E. Diferenciação das células de felogênio. Escalas: A, C, D, E = 200 µm; B = 100 µm ..... 82
- Figura 7 Seção transversal do floema de *Kielmeyera coriacea*. A. Elementos de tubos crivosos (Etc) e faixas tangenciais de fibra (setas); B. Cristais prismáticos (setas) e presença de células com conteúdo (cc). Escalas: A e B = 200 µm ..... 85
- Figura 8 Seção tangencial (A e B) e seção transversal (C) do floema de *Kielmeyera coriacea*. A. Início do floema colapsado; B. Células preenchidas com conteúdo; C. Expansões de células de parênquima. Escalas: A e C = 200 µm, B = 100 µm..... 87
- Figura 9 Seção transversal do floema de *Kielmeyera coriacea*. A e B Esclereídes isoladas e em grupos, entre as células com conteúdo (setas). Escalas: A e B = 200 µm..... 88
- Figura 10 Elementos dissociados da casca de *Kielmeyera coriacea*. Aspecto geral das fibras, em sua maioria com a presença de apêndices. B. Fibra bifurcada com abundantes pontuações. C. Elementos de tubo crivado com placas crivadas; C. Células de parênquima começando a sua formação; D. Parênquima axial com extremidades mais arredondadas, elementos de tubo crivado com

placas terminais e fibras do floema; E. Cristais prismáticos. Escalas:  
A, B, C, D e E = 200  $\mu\text{m}$  ..... 90

#### **CAPÍTULO 4**

- Figura 1 Esquema de análise da cortiça de árvores de *Kiemeyera coriacea*  
(pau-santo) para a obtenção da composição química global..... 104
- Figura 2 Fórmula estrutural dos principais monômeros da suberina da  
cortiça de *Kiemeyera coriacea* (pau-santo)..... 129

## LISTA DE GRÁFICOS

### CAPÍTULO 2

- Gráfico 1 Idade das árvores de *Kielmeyera coriacea*, de acordo com o incremento anual e suas respectivas correlações, para as sete árvores estudadas ..... 49
- Gráfico 2 Variação da densidade básica da madeira de *Kielmeyera coriacea*, em g/cm<sup>3</sup>. \*médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de Tukey (5% de probabilidade). CV = 8,27% (coeficiente de variação) ..... 52
- Gráfico 3 Densidade básica (g/cm<sup>3</sup>) da madeira nas porcentagens da altura no tronco (sentido longitudinal) ..... 52
- Gráfico 4 Efeito da altura sobre a densidade básica da madeira de *Kielmeyera coriacea*, em g/cm<sup>3</sup> ..... 53
- Gráfico 5 Comportamento da idade das árvores em relação à porcentagem volumétrica de casca..... 54

### CAPÍTULO 4

- Gráfico 1 Espectro de infravermelho da cortiça de *Kielmeyera coriacea* livre de extrativos antes (— linha vermelha) e após (— linha preta) a remoção da suberina ..... 131

## SUMÁRIO

	<b>CAPÍTULO 1</b> .....	16
<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO GERAL</b> .....	16
<b>2</b>	<b>REFERENCIAL TEÓRICO</b> .....	18
<b>2.1</b>	<b>Características da espécie de <i>Kielmeyera coriacea</i> Mart.</b> .....	18
<b>2.2</b>	<b>História da cortiça</b> .....	21
<b>2.3</b>	<b>Produção de cortiça</b> .....	23
<b>2.4</b>	<b>Anatomia da cortiça</b> .....	23
<b>2.4.1</b>	<b>Estrutura e formação da cortiça</b> .....	23
<b>2.5</b>	<b>Química da cortiça</b> .....	27
<b>2.6</b>	<b>Propriedades tecnológicas da cortiça</b> .....	32
	<b>REFERÊNCIAS</b> .....	33
	<b>CAPÍTULO 2 Estimativa de idade das árvores, densidade da madeira e cubagem da casca de <i>Kielmeyera coriacea</i> Mart. (pau-santo)</b> .....	38
<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	40
<b>2</b>	<b>MATERIAL E MÉTODOS</b> .....	42
<b>2.1</b>	<b>Estimativa de idade das árvores de <i>Kielmeyera coriacea</i></b> .....	42
<b>2.2</b>	<b>Densidade da madeira</b> .....	44
<b>2.2.1</b>	<b>Análise estatística</b> .....	45
<b>2.3</b>	<b>Cubagem da casca</b> .....	46
<b>3</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	48
<b>3.1</b>	<b>Estimativa da idade das árvores de <i>Kielmeyera coriacea</i></b> .....	48
<b>3.2</b>	<b>Densidade da madeira</b> .....	51
<b>3.3</b>	<b>Cubagem da casca</b> .....	54
<b>4</b>	<b>CONCLUSÃO</b> .....	56
	<b>REFERÊNCIAS</b> .....	57
	<b>CAPÍTULO 3 Análise de imagem da cortiça e anatomia da casca de <i>Kielmeyera coriacea</i> Mart. (pau-santo)</b> .....	60
<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	62
<b>2</b>	<b>MATERIAL E MÉTODOS</b> .....	65
<b>2.1</b>	<b>Coleta do material</b> .....	65
<b>2.1</b>	<b>Análise da estrutura macroscópica</b> .....	66
<b>2.2</b>	<b>Análise anatômica microscópica</b> .....	69
<b>3</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	71
<b>3.1</b>	<b>Estrutura macroscópica da casca exterior: cortiça</b> .....	71
<b>3.2</b>	<b>Análise quantitativa de imagem</b> .....	75
<b>3.3</b>	<b>Estrutura macroscópica da casca total</b> .....	79
<b>3.4</b>	<b>Análise microscópica</b> .....	79
<b>3.4.1</b>	<b>Casca externa</b> .....	80

3.4.2	Casca interna.....	83
3.4.2.1	Floema não colapsado.....	83
3.4.2.2	Floema colapsado.....	86
3.4.2.3	Elementos dissociados.....	89
4	CONCLUSÃO.....	92
	REFERÊNCIAS.....	93
	<b>CAPÍTULO 4 Caracterização química da cortiça de <i>Kielmeyera coriacea</i> Mart. (pau-santo).....</b>	<b>98</b>
1	INTRODUÇÃO.....	100
2	MATERIAL E MÉTODOS.....	103
2.2	Caracterização e amostragem.....	103
2.2.1	Análise química quantitativa total.....	103
2.1.2	Análise da composição química dos extrativos e da suberina.....	105
2.2	Análise química.....	105
2.2.1	Quantificação dos extrativos.....	105
2.2.2	Análise dos extrativos.....	105
2.2.3	Quantificação da suberina.....	106
2.2.4	Análise da suberina.....	107
2.2.4.1	Calibração de glicerol utilizando 1,12-dodecanediol como padrão interno.....	108
2.2.4.2	Calibração para monômeros ácidos utilizando 12-hidroxiocetadecanoico ácido metil éster como padrão interno.....	108
2.2.5	Espectro de infravermelho com transformada de Fourier (FTIR).....	109
2.2.6	Quantificação da lignina.....	109
2.2.7	Quantificação dos polissacarídeos.....	110
2.2.8	Quantificação das cinzas.....	111
3	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	112
3.1	Análise química quantitativa total.....	112
3.2	Análise química da composição dos extrativos.....	121
3.3	Análise química da composição da suberina.....	126
3.4	Espectroscopia de infravermelho com transformada de Fourier (FTIR).....	130
4	CONCLUSÃO.....	133
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS E SUGESTÕES.....	134
	REFERÊNCIAS.....	135
	ANEXO.....	139

## CAPÍTULO 1

### 1 INTRODUÇÃO GERAL

Diversas espécies do Cerrado são fontes de produtos florestais não-madeireiros (PFNMs). Muitos desses produtos são referenciados no mercado nacional e internacional, como a terebintina e o breu, que são obtidos da resina de pinus, os óleos essenciais de eucalipto e a borracha natural da seringueira. Outros produtos também apresentam significativa importância, como os corantes vegetais, os taninos, as plantas medicinais, as ceras e os alimentos (BRITO, 2005). Diante de tanta biodiversidade, o país apresenta mais de dez espécies típicas e adaptadas às condições ecológicas do Cerrado que poderiam ser promissoras para a produção de cortiça.

Hoehne (1939), de acordo com Williams e Erlanson (1959), cita espécies de árvores do Cerrado brasileiro com considerável espessura de cortiça, como *Kielmeyera coriacea*, *Connarus suberosus*, *Strychnos pseudoquina*, *Enterolobium ellipticum*, *Aspidosperma tomentosum*, *Zeyhera montana*, *Pithecolobium incuriale*, *Byrsonima verbascifolia* e *Tecoma coraiba*

Dentre as árvores dessas espécies, a *Kielmeyera coriacea* pode apresentar grande potencial, considerando a espessura de sua cortiça, além de seu aspecto similar ao da espécie de *Quercus suber* (sobreiro), que produz a principal cortiça comercializada no mundo.

As árvores de *K. coriacea*, conhecidas como pau-santo, pertencem à família das Clusiaceae (DIONELLO; BASTA, 1980; LORENZI, 1992). O gênero *Kielmeyera* Mart. é endêmico da América do Sul, compreendendo cerca de 47 espécies, sendo 45 nativas do Brasil (RIZZINI; HERING, 1962). Embora as espécies de *Kielmeyera* estejam maciçamente concentradas no Brasil Central (GRAMACHO, 1997), a faixa geográfica de distribuição do gênero abrange as

cinco regiões naturais do Brasil. No Cerrado do estado de Minas Gerais, as árvores da espécie apresentam alto índice de incidência e de abundância.

O material corticoso da *K. coriacea* é leve e facilmente separado do tronco das árvores (RIZZINI; MORS, 1976). Segundo Ferreira (1974), o alto percentual de volume da cortiça, em média de 54%, é dependente da localização geográfica e da classe diamétrica da árvore. A exploração da cortiça da *K. coriacea* pode ser feita em ciclos de cinco a seis anos, quando seu fuste apresenta 15-20 cm de diâmetro.

Diante de tantas potencialidades, os estudos sobre a cortiça de árvores de *K. coriacea* ainda são escassos, principalmente relacionados ao seu conhecimento morfológico e à qualidade para a produção de lâminas e rolhas aglomeradas.

Tendo em vista a importância da ocorrência de espécies promissoras de cortiça, no bioma Cerrado, o trabalho proposto teve como objetivo geral a caracterização da cortiça de árvores de *K. coriacea*, por meio de análises químicas e anatômicas, como subsídio para conhecer e interpretar as suas propriedades.

A estrutura da tese está dividida em quatro capítulos e seus objetivos foram:

- a) capítulo 1: realizar uma revisão de trabalhos científicos referentes à árvore da *K. coriacea* e à cortiça de árvores de espécies em geral;
- b) capítulo 2: determinar a densidade básica da madeira no sentido longitudinal do tronco, cubagem da casca e estimativa da idade das árvores de *K. coriacea*;
- c) capítulo 3: realizar a caracterização química, quantitativa e qualitativa, da cortiça de árvores de *K. coriacea*;
- d) capítulo 4: analisar, por macroscopia e por microscopia, a cortiça de árvores de *K. coriacea*.

## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

Ressalta-se que os tópicos: 2.4 Estrutura e formação da cortiça; 2.5 Composição química da cortiça e 2.6 Propriedades tecnológicas da cortiça são fundamentados, em sua maioria, em trabalhos científicos da principal espécie produtora de cortiça mundial, a *Q. suber*, conhecida como sobreiro. Para tanto, o referencial teórico desses tópicos contém informações que podem auxiliar as interpretações de pesquisas sobre outros tecidos suberificados, sobretudo da cortiça brasileira da espécie *K. coriacea*.

Os tópicos 2.2 História da cortiça e 2.3 Produção de cortiça foram publicados no referencial teórico de Rios (2007) e complementam esta revisão.

### 2.1 Características da espécie de *Kielmeyera coriacea* Mart.

A espécie *Kielmeyera coriacea* Martius é conhecida como pau-santo e pertence à família das Clusiaceae (DIONELLO; BASTA, 1980; LORENZI, 1992). Sua distribuição geográfica abrange o Planalto Central Brasileiro, representado quase que na sua totalidade pela vegetação do tipo Cerrado, com área de 204,7 milhões de hectares (INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE, 2004) nos estados da Bahia, Goiás, Maranhão, Mato Grosso, Mato Grosso do Sul, Minas Gerais, Paraná, Piauí, São Paulo e Tocantins, além do Distrito Federal (Figura 1).



Figura 1 Mapa da área de distribuição original do Cerrado no Brasil  
Fonte: Campingcanastra (2011), modificado de NASA

A *Kielmeyera coriacea* é uma espécie caducifólia (Figura 2), típica de áreas mais abertas do Cerrado. A planta atinge uma altura de 2 a 6 m, suas folhas são simples e coriáceas e ficam concentradas no ápice dos ramos (ALMEIDA, 1946). Produz, anualmente, grande quantidade de sementes viáveis, que são disseminadas principalmente pelo vento (LORENZI, 1992). A época de floração das árvores ocorre de outubro a dezembro, início da estação chuvosa, frutificando de novembro a setembro. A ocorrência de frutificação coincide com a estação seca e seus frutos são carnosos, alongados e ásperos (ALMEIDA, 1946).

A propagação da espécie ocorre por sementes que apresentam desenvolvimento lento e potencial de variação genética de descendentes (ARELLO; PINTO, 1993). As sementes não possuem mecanismo de dormência (OLIVEIRA, 1986).

Segundo Ferreira (1996), as flores e os frutos são utilizados por floricultores para a confecção de arranjos ornamentais denominados popularmente de “flores do planalto”.

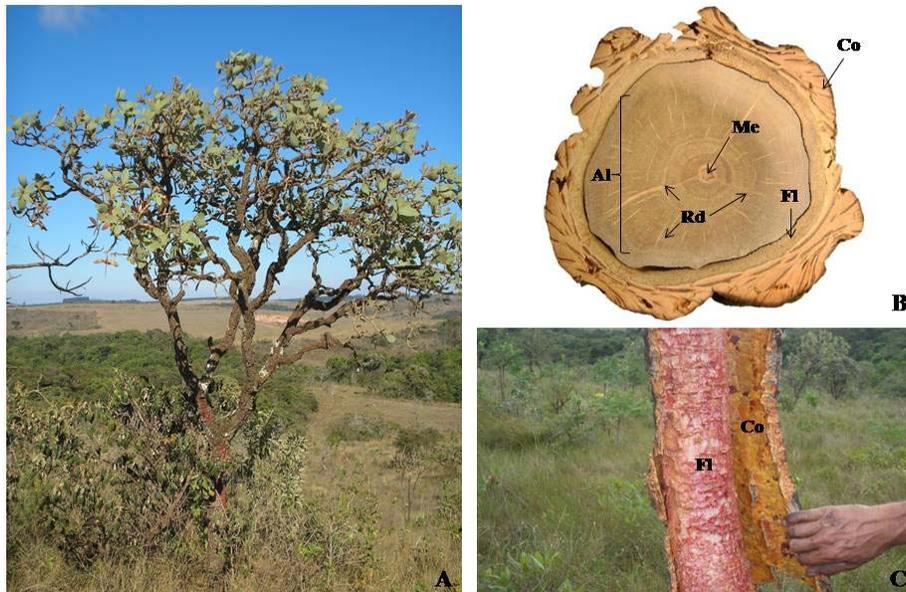


Figura 2 (A) Árvore de *Kielmeyera coriacea* Mart. (B) Seção transversal do lenho da árvore de *Kielmeyera coriacea*, evidenciando a medula (Me), o alburno (Al), os raios (Rd), o floema (FI) e a cortiça (Co). (C) Aspecto do lenho da *Kielmeyera coriacea*, evidenciando a exposição do floema (FI) com a retirada da cortiça (Co)

A espécie apresenta grande interesse econômico para a produção de madeira para moirão, carvão, produtos farmacêuticos, tanino para indústria de couros e cortiça (CORTEZ et al., 1998; RIBEIRO et al., 1979; SOUZA, 1974). De acordo com Dionello e Basta (1980), a *K. coriacea* é uma das principais espécies arbóreas corticeiras que ocorrem no Brasil, destacando-se pela intensa ocorrência e considerável produção de cortiça.

Durante a II Guerra Mundial, quando o abastecimento normal de cortiça da região do mediterrâneo ficou comprometido, a casca de *K. coriacea* foi

coletada e utilizada no Brasil, na fabricação de materiais isolantes e de linóleo, estima-se que 8.000 ton. foram utilizadas no Brasil, em 1941. (WILLIAMS; ERLANSON, 1959). A exploração da cortiça de árvores de *K. coriacea* pode ser feita em ciclos de cinco a seis anos, quando seu fuste apresenta 15 a 20 cm de diâmetro (SOUZA, 1974).

As quantidades de casca produzidas pelas árvores de *K. coriacea* são de 46% a 54%, de acordo com o volume de galhos e de fuste em relação ao volume total, respectivamente. O material corticoso representa alto percentual dependendo da localização geográfica e de classe diamétrica das árvores, podendo representar até 75% do seu volume (FERREIRA, 1974). Scolforo et al. (2008) quantificaram de 46% a 86% e de 44% a 75% o volume da casca do fuste e de galhos de árvores de *K. coriacea*, respectivamente.

## **2.2 História da cortiça**

Historicamente, a cortiça foi um dos primeiros materiais que Robert Hooke (1635-1703) estudou, utilizando um microscópio composto por duas lentes de aumento. Hooke observou o corte transversal da cortiça em 1664 (Figura 3) e, ao descrever a “experiência” em seu livro *A micrografia* (1655), o cientista empregou pela primeira vez o termo “célula” (do latim *cella*, espaço vazio) para designar os espaços vazios observados na constituição do vegetal (TEIXEIRA; NUNES; MELLO, 1997).

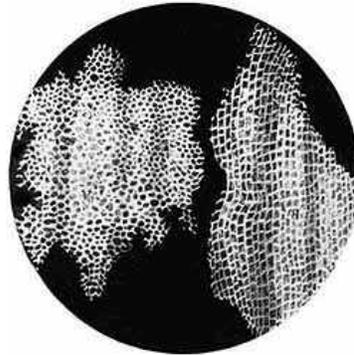


Figura 3 Desenho de um corte de cortiça, observado por Hooke no microscópio (DIAS; JOÃO, 1978)

A utilização da cortiça é milenar e já era explorada na China, 3.000 anos a.C., em Roma, na Grécia antiga e no Egito (CORTIÇA..., 2006). Desde o século V a.C. a cortiça tem sido empregada como material vedante, como pode ser comprovado pela descoberta de ânforas (recipientes de cerâmica) desse período, em Angorá, Atenas (PORTUGAL, 2006).

No final do século XVII, o monge francês beneditino Pierre Pérignon (inventor do Champagne) abandonou a utilização de tocos de madeira e buchas de cânhamo para vedar as garrafas de bebidas adotando a cortiça proveniente da Espanha. A técnica de Dom Pérignon tornou-se tradição e, apesar de todos os progressos industriais na produção de embalagens e na técnica de vedação, a rolha de cortiça é tida, ainda hoje, como uma forma perfeita e aceitável de vedar a garrafa de vinhos de qualidade (MENDONÇA, 2004).

A partir de 1900, o mercado das cortiças teve uma enorme expansão como resultado da fabricação, nos Estados Unidos, dos aglomerados de cortiça, que tornaram possível a utilização do material de má qualidade e de desperdícios das operações na fabricação de rolhas e outros produtos de cortiça natural de boa qualidade (FORTES, 2001).

## 2.3 Produção de cortiça

A principal planta fornecedora de cortiça é a *Quercus suber* (sobreiro), árvore extensamente cultivada em Portugal, Espanha, França, Tunísia, Marrocos e alguns países asiáticos (RIZZINI; MORS, 1976). Portugal participa com 55% da produção mundial, sendo esta cortiça produzida considerada de ótima qualidade (BAPTISTA; ANJOS; RAMALHO, 2002).

A *Q. suber* é uma árvore de crescimento lento e com longevidade de 250 a 350 anos, embora a idade limite para a produção de cortiça seja de 150 a 200 anos. A extração ocorre ao final de 9 anos e seu rendimento é de 30 a 200 kg por árvore, dependendo, principalmente, da superfície, que é descortiçada, sendo a produtividade média de 8 a 11 kg/m<sup>2</sup> de área descortiçada por ciclo de produção, de 9 em 9 anos (FORTES; ROSA; PEREIRA, 2004).

A cortiça é extraída em pranchas do tronco das árvores, sem ferir o floema que reproduzirá novas células e reconstituir, assim, outra camada. O primeiro descortiçamento de árvores jovens produz cortiça denominada cortiça virgem, com uma superfície exterior muito irregular; os descortiçamentos sucessivos dão origem a cascas com uma superfície exterior mais uniforme, chamada de cortiça de reprodução (PEREIRA, 1981).

## 2.4 Anatomia da cortiça

### 2.4.1 Estrutura e formação da cortiça

A cortiça é um tecido vegetal denominado por felema ou súber, que reveste os caules e as raízes de plantas dicotiledôneas. Faz parte da periderme que se desenvolve na planta com função de proteção, de cicatrização e de isolamento térmico (FORTES; ROSA; PEREIRA, 2004; GLÓRIA;

GUERREIRO, 2003; GRAÇA; PEREIRA, 1990). A periderme substitui as funções da epiderme após o crescimento secundário, devido ao aumento do diâmetro do tronco e o tecido de revestimento primário é substituído; então, a periderme passa a constituir o tecido das plantas (GLÓRIA; GUERREIRO, 2003).

O processo de substituição ocorre com o desenvolvimento do felogênio sob a epiderme, primeiro em pequenas áreas que se unem formando um anel à volta do tronco (FORTES; ROSA; PEREIRA, 2004). A epiderme é sempre substituída durante o primeiro ano de vida do ramo, pela formação subsequente da periderme. No tronco, com um ano de crescimento completo, as células da epiderme já se encontram esmagadas radialmente pela pressão da periderme emergente (GRAÇA; PEREIRA, 1990).

O felogênio é o câmbio da periderme, que difere do câmbio vascular por apresentar somente um tipo de célula meristemática de origem secundária que dá origem ao felema e feloderme (ESAU, 1976).

O felogênio se divide periclinalmente de células epidérmicas, do colênquima ou de células parenquimáticas subepidérmicas, pericíclicas ou floemáticas (GLÓRIA; GUERREIRO, 2003). Quando o felogênio é ativo, origina células grandes de felema com paredes delgadas e, quando menos ativo, células achatadas de paredes espessadas (CUTTER, 2002).

O felogênio da espécie *Q. suber*, ao término do primeiro ano, origina de quatro a seis camadas de células de felema e de apenas uma camada de células de feloderme (GRAÇA; PEREIRA, 1990).

Na maioria das árvores, o felogênio permanece ativo por poucos anos (ESAU, 1976); já em árvores que produzem cortiça, como no caso das árvores de *Q. suber*, o felogênio permanece ativo ao longo da existência das árvores (FORTES; ROSA; PEREIRA, 2004). As influências do ambiente também determinam a eficiência de regeneração do felogênio, que será tanto mais

superficial quanto menor for a dessecação das regiões mais externas à região descortificada (NATIVIDADE, 1950).

A feloderme é constituída por células parenquimatosas vivas, semelhantes à do parênquima cortical da estrutura primária e o felema é um tecido de células mortas (ESAU, 1976; MOREIRA, 2010). As células de feloderme, quando adultas, apresentam-se preenchidas de ar, dispostas com regularidade em camadas radiais e em corte tangencial apresentam, em sua maioria, contorno poligonal, embora possa variar de quatro a oito o número de lados (NATIVIDADE, 1950).

Também para Glória e Guerreiro (2003), o arranjo das células de felema é compacto, sem espaços intercelulares e caracterizam-se pela suberização de suas paredes e morte do protoplasma na maturidade. Para a árvore de *Q. suber*, a partir do terceiro ano, o felema apresenta células de cortiça típicas, de morfologia prismática e com o lume em grande parte vazio; nos dois primeiros anos, as paredes das células sofrem muitas deformações, além da ocorrência, em grande quantidade, no seu lume, de taninos (GRAÇA; PEREIRA, 1990).

O trabalho de Pereira, Rosa e Fortes (1987), sobre a estrutura celular da cortiça de *Q. suber* por meio de microscopia eletrônica de varredura, exemplifica a estrutura prismática, com seções quase sempre pentagonais ou hexagonais.

Em trabalho similar realizado por Rios (2007), com a cortiça de árvores de *K. coriacea* (Figura 4.1, 4.3, 4.5) e por Fortes, Rosa e Pereira (2004), para a cortiça de árvores de *Q. suber* (Figura 4.2, 4.4, 4.5), a estrutura celular também se apresentou tipo favo de mel com seção prismática.

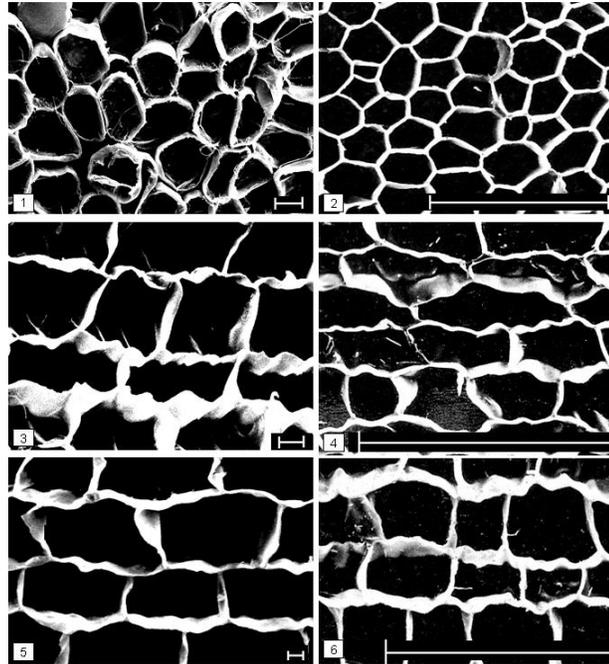


Figura 4 Seções da cortiça representadas pela observação em microscopia eletrônica de varredura para a espécie de *Kielmeyera coriacea* Mart.\* (1, 3, 5) comparadas à espécie de *Quercus suber*\*\* (2, 4, 6): seção transversal (1-2); tangencial (3-4); radial (5-6). Escalas: (1) e (5) = 20 $\mu$ m; (2), (3) = 10 $\mu$ m, (4), (6) = 100 $\mu$ m. Fonte: \*\*Fortes, Rosa e Pereira (2004) e \*Rios (2007)

O felema da espécie *Q. suber* é comumente chamado de cortiça, no seu aproveitamento industrial, ocorre a sua separação do felogênio, provocando a morte deste último (FORTES; ROSA; PEREIRA, 2004). No decorrer de 25 a 30 dias, o felogênio regenera-se e origina uma nova periderme e, portanto, forma-se uma nova camada de cortiça (COSTA; PEREIRA; OLIVEIRA, 2003; MACHADO, 1935).

É importante destacar que na periderme há a presença de uma estrutura especial chamada lenticelas, caracterizadas por aumento de espaços intercelulares (RICHTER et al., 1996). Para as árvores de *Q. suber*, as células de

felema que originam as lenticelas não se apresentam suberificadas e são designadas como tecido de enchimento e com o desenvolvimento da árvore, após três anos, as lenticelas aparecem como pequenas protuberâncias que logo se tornam visíveis, com inclusões de nódulos esclerenquimáticos (GRAÇA; PEREIRA, 1990, 2004).

As lenticelas podem formar-se concomitantemente, com o desenvolvimento da primeira periderme, a partir de células localizadas abaixo de um ou vários estômatos da epiderme, ou um pouco depois, e o tempo necessário para isso varia de acordo com as diferentes espécies (GLÓRIA; GUERREIRO, 2003).

## 2.5 Química da cortiça

A composição química da cortiça difere da composição da madeira devido, principalmente, à presença de suberina e de extrativos em grande quantidade (MIRANDA et al., 1998).

A cortiça é constituída por vários grupos de substâncias, tais como ceras, polifenóis, suberina, polissacarídeos e lignina (PEREIRA, 1979). A composição química tem sido determinada por vários autores ao longo dos anos. O primeiro estudo sobre a composição química da cortiça é datada em 1787, quando Brugnatelli publicou seus resultados sobre a espécie *Q. suber* (FORTES; ROSA; PEREIRA, 2004).

Quimicamente, o tecido suberoso da cortiça é constituído por componentes estruturais (suberina, lignina, polissacarídeos), em média de 85% da sua massa seca, e os 15% restantes são constituintes não-estruturais (extrativos) da parede celular (GRAÇA, 2000).

De acordo com Pereira (1988a), a cortiça de *Q. suber* é constituída quimicamente por 39% de suberina, 22% de lignina, 18% de polissacarídeos,

15% de extrativos e 1% de cinzas. Consequentemente, as particulares propriedades da cortiça decorrem, em grande parte, da composição e da estrutura da suberina e da parede celular (GRAÇA, 2000).

Cada parede celular é constituída por três camadas: (i) a parede primária: constituída por polissacarídeos e lignina, (ii) a parede secundária mais espessa: constituída por suberina e polifenóis associados e (iii) uma parede terciária fina, constituída de polissacarídeos e lignina (Figura 5) (NATIVIDADE, 1934; SITTE, 1962).

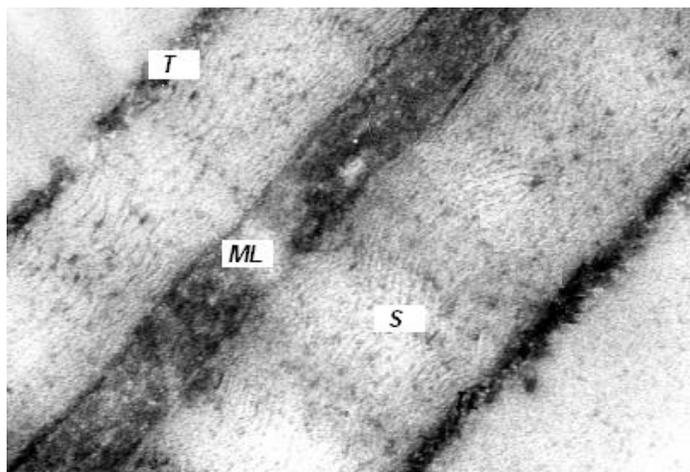


Figura 5 Parede celular dupla das células suberosas da cortiça de *Quercus suber*. ML: lamela média composta. S: parede suberinizada, com as lamelas alternadas claro-escuras. T: parede terciária, 75000 x (LIESE; GUNZERODT; PARAMESWARAN, 1983)

A cortiça de *Q. suber* inclui na sua composição química compostos como alcanos e alcanóis de cadeia longa, compostos terpênicos, compostos fenólicos e polifenólicos que podem ser extraídos por meio de solventes e que se nomeiam de extrativos (PEREIRA, 1988b). Os extrativos são chamados de compostos não estruturais; são moléculas pequenas, fáceis de remover por simples dissolução em solventes (GRAÇA, 2000).

Solventes não polares ou de baixa polaridade, como éter de petróleo, benzeno e hexano, extraem da cortiça substâncias como alcanos, alcanóis, triterpenos e outras substâncias de fração cerosa (PEREIRA; FERREIRA; FARIA, 1979). Ainda, de acordo com Pereira, Ferreira e Faria (1979), por meio dos solventes de polaridade mais elevada, como o metanol, o etanol e a água, são extraídas moléculas polifenólicas e fenólicas simples, conhecidas como fração taninosa.

Quanto à sua origem, os extrativos podem dividir-se em dois grupos, um formado pelos restos da atividade metabólica da célula, como os açúcares ou partes dos próprios polímeros estruturais, e o outro, formado por produto do metabolismo secundário, como os compostos do grupo taninosos e do grupo dos triterpenos, de natureza cerosa (GRAÇA, 2000).

Na cortiça de *Q. suber*, o total de extrativos apresenta grande variabilidade, de 8% a 24% em relação à massa seca, mas a maioria das referências indica um teor de extrativos entre 14% a 18% (FORTES; ROSA; PEREIRA, 2004).

O rendimento dos extrativos depende também das condições de análise, tais como granulometria, tempo e temperatura de extração do material, que influenciam diretamente os valores obtidos (PEREIRA; FERREIRA; FARIA, 1979).

O principal componente estrutural da cortiça é a suberina, sendo uma macromolécula constituída por monômeros ligados entre si por ligações éster, incluindo dois grupos principais de monômeros: o glicerol, molécula pequena triálcool e os compostos alifáticos de cadeia longa, cuja estrutura tem afinidade com a dos ácidos graxos. Esses monômeros são obtidos somente após a despolimerização da suberina (GRAÇA; PEREIRA, 1997).

Os principais constituintes alifáticos da suberina da cortiça de *Q. suber* são os hidroxiácidos alifáticos de cadeias compreendidas entre C<sub>16</sub> e C<sub>26</sub>

carbonos, acompanhados de ácidos graxos e componentes neutros (FORTES; ROSA; PEREIRA, 2004; GRAÇA, 2000; HOLLOWAY, 1972). Os componentes mais importantes, que correspondem aos C<sub>18</sub> e C<sub>22</sub>, são os seguintes: ácidos 22-hidroxicosanoico (ácido felônico), ácido 9,10-dihidroxiocotadecanoico (ácido floiônico), ácido docosanoico (ácido felogênico), ácido 9,10,18-tri-hidroxiocotadecanoico (ácido floionólico), ácido 9-octadecanoico, ácido 9, 18-hidroxiocotadecanoico e, ainda, a presença de epóxidos.

As buscas para encontrar usos para a suberina são antigas e tem havido um aumento recente devido ao desenvolvimento de novas técnicas de isolamento e à busca por materiais biológicos (GRAÇA; SANTOS, 2007).

A lignina é um polímero de caráter aromático que constitui, no caso da cortiça de *Q. suber*, o segundo componente estrutural mais importante das paredes celulares da cortiça, representando cerca de 20% a 25% da cortiça (FORTES; ROSA; PEREIRA, 2004).

Os polissacarídeos estruturais das paredes celulares da cortiça são constituídos por celulose e hemicelulose (FORTES; ROSA; PEREIRA, 2004; GRAÇA, 2000; NATIVIDADE, 1950). Estes polissacarídeos são macromoléculas em que as unidades monoméricas são as pentoses e as hexoses, e os monômeros principais são a glucose, a xilose, a manose, a galactose, a arabinose, o ácido 4-O-metilglucurônico e a ramnose (FORTES; ROSA; PEREIRA, 2004).

De acordo com Pereira (1988a), na cortiça de *Q. suber*, os polissacarídeos representam, aproximadamente, 25% da composição global. Em estudos realizados por Rios (2007) com a cortiça de *K. coriacea*, foram encontrados valores semelhantes, cerca de 28%. Em trabalho com a espécie *P. menziessi* realizado por Graça e Pereira (1998) e Hergert e Kurth (1952), foram encontrados valores mais baixos, tais como 12%.

A celulose é uma macromolécula linear constituída por unidade de  $\beta$ -D-glucopiranosose ligadas entre si por ligações glucosídicas, formando unidades de celobiose e que se organiza como uma longa cadeia com milhares de unidades de glucose (FORTES; ROSA; PEREIRA, 2004).

Segundo Graça e Pereira (1998), a celulose é o principal polímero dos polissacarídeos, sendo capaz de organizar-se em feixes parcialmente cristalinos, de elevada resistência à tração, como acontece tipicamente na madeira.

Para Fortes, Rosa e Pereira (2004), os estudos da celulose da cortiça, ao contrário do que acontece com a madeira, não são intensificados, visto que a importância do papel desempenhado pela celulose nas paredes celulares da cortiça não é determinante em suas propriedades, devido ao baixo teor existente.

As hemiceluloses são heteropolímeros que incluem diferentes monossacarídeos, como pentoses do tipo xilose e arabinose e as hexoses do tipo glucose, manose, galactose, ramnose e ácido glucurônico e se diferenciam da celulose além da constituição monomérica, também por possuírem menor grau de polimerização e estrutura linear ramificada (FORTES; ROSA; PEREIRA, 2004).

Os compostos inorgânicos são determinados como cinzas e representam cerca de 1% a 4% na cortiça (NATIVIDADE, 1950). De acordo com Barceló (1942 citado por NATIVIDADE, 1950), foram identificados os seguintes compostos: cálcio, potássio, manganês, ferro, alumínio, magnésio, sódio, bário, estrôncio, cobre, lítio e titânio. O cálcio e o potássio são os elementos que se encontram em maior quantidade (GRAÇA; PEREIRA, 1998; NATIVIDADE, 1950).

Nas madeiras das regiões temperadas, o teor de cinzas é normalmente inferior a 1%, mas, nas cascas, é bastante superior (FORTES; ROSA; PEREIRA, 2004).

## 2.6 Propriedades tecnológicas da cortiça

A estrutura celular do tecido suberoso e a natureza química das paredes celulares explicam numerosas e valiosas propriedades da cortiça (NATIVIDADE, 1950; PEREIRA, 1988a), tais como fluviabilidade, elasticidade, impermeabilidade aos líquidos, baixa densidade, isolante térmico, acústico e elétrico (FORTES; ROSA; PEREIRA, 2004).

A fluviabilidade, a elasticidade e a compressibilidade da cortiça são relacionadas com a estrutura de células fechadas e a constituição química da parede confere impermeabilidade e flexibilidade (PEREIRA, 1988a).

Diante dessas propriedades, a cortiça é tecnologicamente empregada como produtos de cortiça natural, que incluem rolhas e discos de cortiça natural. Os produtos de cortiça aglomerada incluem os aglomerados puros e os compostos (que são produzidos de cortiças da primeira extração) (BARROS; PEREIRA, 1987). A fabricação de painéis aglomerados tem como principais aplicações o revestimento de assoalhos, o revestimento de paredes e a fabricação de painéis de fixação (FORTES; ROSA; PEREIRA, 2004).

Toda cortiça utilizada para a fabricação desses compostos é extraída e pranchas do tronco das árvores, sem ferir o floema, reproduzindo, assim, uma nova camada de células. O primeiro descortiçamento de árvores jovens produz uma cortiça denominada cortiça virgem, com uma superfície exterior muito irregular. Os descortiçamentos sucessivos dão origem a cascas com uma superfície exterior mais uniforme, chamada de cortiça de reprodução (PEREIRA, 1984). A principal matéria-prima industrial é a cortiça de terceira e subsequentes extrações, chamada de cortiça amadia.

## REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, G. Cortiças. **Revista Florestal**, Rio de Janeiro, v. 8, p. 10-24, 1946.
- ARELLO, E. F.; PINTO, J. E. B. P. Propagação *in vitro* de *Kielmeyera coriacea*: I, efeito das diversas concentrações combinadas de benzilaminopurina e ácido naftalenoacético na multiplicação de brotos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 28, n. 1, p. 25-31, jan. 1993.
- BAPTISTA, G.; ANJOS, O.; RAMALHO, M. J. Importância do sector corticeiro na economia portuguesa. In: CONGRESSO DE ESTUDOS RURAIS: TERRITÓRIO, AGRICULTURA E DESENVOLVIMENTO, 1., 2002, Lisboa. **Anais...** Lisboa: IST, 2002. 1 CD-ROM.
- BARROS, L.; PEREIRA, H. Influência do operador na classificação manual da cortiça por classes de qualidade. In: PEREIRA, H. et al. (Ed.). **Cortiça**. Lisboa: Centro de Estudos Florestais, 1980. p. 103-105.
- BRITO, J. O. **As florestas e a obtenção de produtos não-madeireiros**. Piracicaba: IPEF, 2005. Disponível em:  
<<http://www.ipef.br/tecprodutos/naomadeireiros.asp>>. Acesso em: 12 jan. 2011.
- CAMPINGCANASTRA. **Vegetação da Canastra**. Disponível em:  
<<http://www.campingcanastra.blogspot.com>>. Acesso em: 30 fev. 2011.
- CORTEZ, D. A. G. et al. Xanthones triterpenes and a biphenyl from *Kielmeyera coriacea*. **Phytochemistry**, Oxford, v. 47, n. 7, p. 1367-1374, Apr. 1998.
- CORTIÇA, uma indústria bicentenária. Disponível em: <<http://www.e-mercatura.net/html/pt/artigo.asp?id=293>>. Acesso em: 20 dez. 2006.
- COSTA, A.; PEREIRA, H.; OLIVEIRA, A. Variability of radial growth in cork oak adult trees under cork production. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 175, n. 1, p. 239-246, Mar. 2003.
- CUTTER, E. G. **Anatomia vegetal**: parte 1, células e tecidos. São Paulo: Rocca, 2002. 293 p.
- DIAS, D. P.; JOÃO, L. C. **Biologia**. São Paulo: Moderna, 1978. v. 3, 278 p.

DIONELLO, S. B.; BASTA, F. Informações sobre os caracteres quantitativos e qualitativos dos frutos e sementes de *Kielmeyera coriacea* Mart. **Brasil Florestal**, Rio de Janeiro, v. 44, n. 1, p. 75-83, 1980.

ESAU, K. **Anatomy of seed plants**. New York: J. Wiley, 1976. 550 p.

FERREIRA, M. B. **Flores do planalto: cerrado**. Brasília: UnB, 1974. 23 p.

FERREIRA, S. O. **Avaliação do potencial de material corticoso do pau-santo (*Kielmeyera coriacea*), em nove regiões do estado de Minas Gerais através de modelos volumétricos**. 1996. 34 f. Monografia (Graduação em Ciências Florestais) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 1996.

FORTES, M. A. **A cortiça**. Lisboa: IST, 2001. 25 p.

FORTES, M. A.; ROSA, M. E.; PEREIRA, H. **A cortiça**. Lisboa: Instituto Superior de Agronomia, 2004. 259 p.

GLÓRIA, B. A.; GUERREIRO, S. M. **Anatomia vegetal**. Viçosa, MG: UFV, 2003. 437 p.

GRAÇA, J. A. R. **A estrutura da suberina e as suas relações com as propriedades da cortiça**. Lisboa: Instituto Superior de Agronomia, 2000. 40 p.

GRAÇA, J. A. R.; PEREIRA, H. Cork suberin: a glyceryl based polyester. **Holzforschung**, Berlin, v. 51, n. 3, p. 225-234, May 1997.

\_\_\_\_\_. Feruloyl esters of  $\omega$ -hydroxyacids in cork suberin. **Journal of Wood Chemistry and Technology**, Philadelphia, v. 18, n. 2, p. 207-217, June 1998.

\_\_\_\_\_. Formação da primeira felogene no sobreiro. In: CONGRESSO FLORESTAL NACIONAL, 2., 1990, Lisboa. **Actas...** Lisboa: SPCF, 1990. p. 5.

\_\_\_\_\_. Periderm development in *Quercus suber*. **IAWA Journal**, Leiden, v. 23, n. 3, p. 325-335, Mar. 2004.

GRAÇA, J. A. R.; SANTOS, S. C. Suberin: a biopolyester of plants' skin. **Macromolecular Bioscience**, Weinheim, v. 7, n. 1, p. 128-135, Feb. 2007.

GRAMACHO, R. S. **Estudo químico do caule de *Kielmeyera elata* e aplicações biológicas de seus constituintes químicos**. 1997. 147 f. Dissertação (Mestrado em Agroquímica) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 1997.

HERGER, H.; KURTH, E. The chemical nature of cork from Douglas fir bark. **Tappi**, Atlanta, v. 35, p. 59-66, 1952.

HOEHNE, F. C. Observações gerais e contribuições sobre o estudo da flora e fitofisionomia do Brasil. **São Paulo: Secretaria da Agricultura, Indústria e Comércio do Estado de São Paulo, 1939. 59 p.**

HOLLOWAY, P. J. The composition of cork from the cork of *Quercus suber* L. and *Betula pendula*. Roth. **Chemistry Physical Lipids**, New York, v. 9, p. 158-170, 1972.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Mapa de biomas do Brasil**. Rio de Janeiro, 2004. 1 Mapa. Escala 1:5.000.000. Disponível em: <<http://mapas.ibge.gov.br/biomas2/viewer.htm>>. Acesso em: 1 jun. 2007.

LIESE, W.; GUNZERODT, H.; PARAMESWARAN, N. Alterações biológicas da qualidade da cortiça que afectam a sua utilização. **Boletim do Instituto dos Produtos Florestais - Cortiça**, Lisboa, n. 541, p. 277-299, 1983.

LORENZI, H. **Árvores brasileiras: manual de identificação e cultivo de plantas arbóreas nativas do Brasil**. Nova Odessa: Plantarum, 1992. v. 1, 352 p.

MACHADO, D. P. Contribuição para a avaliação da qualidade da cortiça no sobreiro. **Revista Agrônômica**, Porto Alegre, v. 32, p. 5-36, 1935.

MENDONÇA, A. **Mito da rolha de cortiça estraga o bom vinho**. Bonn: Deutsche Welle, 2004. Disponível em: <<http://www.dw-world.de/dw/article/0,2144,1309746,00.html>>. Acesso em: 2 jan. 2007.

MIRANDA, A. M. et al. Extracções de cortiça com 1,4-dioxano em alta pressão. In: PEREIRA, H. (Ed.). **Sobreiro e cortiça**. Lisboa: Centro de Estudos Florestais, 1998. p. 419-426.

MOREIRA, I. **Anatomia das plantas: estrutura**. Lisboa: Instituto Superior de Agronomia, 2010. 152 p. (Série Didáctica: Botânica, 2).

NATIVIDADE, J. V. **Cortiça**: contribuição para o estudo do melhoramento da qualidade. Lisboa: Serviços Florestais e Aquícolas, 1934. v. 1, 246 p.

\_\_\_\_\_. \_\_\_\_\_. Lisboa: Serviços Florestais e Aquícolas, 1950. 387 p.

OLIVEIRA, P. E. **Biologia de reprodução de espécies de *Kielmeyera coriacea* (Guttiferae) de Cerrados de Brasília**. 1986. 89 f. Dissertação (Mestrado em Biologia Vegetal) - Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 1986.

PEREIRA, H. Chemical composition and variability of cork from *Quercus suber* L. **Wood Science and Technology**, New York, v. 22, n. 3, p. 211-218, Sept. 1988a.

\_\_\_\_\_. Composição química da cortiça virgem e da cortiça de reprodução amadia do *Quercus suber* L. **Boletim do Instituto dos Produtos Florestais - Cortiça**, Lisboa, n. 550, p. 157-179, 1984.

\_\_\_\_\_. Química da cortiça: II., influência da granulometria na extração da cortiça com água. In: PEREIRA, H. et al. (Ed.). **Cortiça**. Lisboa: IST, 1979. p. 473-474.

\_\_\_\_\_. Structure and chemical composition of cork from *Calotropis procera* Ail. R. Br. **IAWA Bulletin**, Leiden, v. 9, n. 1, p. 53-58, Feb. 1988b.

\_\_\_\_\_. **Studies on the chemical composition of virgin and reproduction cork of *Quercus suber* L.** Lisboa: Centro de Estudos Florestais, 1981. 25 p.

PEREIRA, H.; FERREIRA, M.; FARIA, M. G. Química da cortiça. In: PEREIRA, H. et al. (Ed.). **Cortiça**. Lisboa: IST, 1979. p. 296-300.

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. 213-217, 1987.

PORTUGAL. Ministério da Economia, da Inovação e do Desenvolvimento. **Amorim corticeira**. Disponível em: <<http://www.investinportugal.pt>>. Acesso em: 13 set. 2006.

RIBEIRO, J. F. et al. **Avaliação dos recursos vegetais nativos das fazendas Pau Ferro, Aroeira e Lagoa Santa, Padre Bernardo, GO**. Brasília: EMBRAPA/UPAC/UnB, 1979. 23 p.

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

RIOS, P. D. **Caracterização tecnológica e produção de painéis de cortiça de *Kielmeyera coriacea* (pau-santo)**. 2007. 85 p. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia da Madeira) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2007.

RIZZINI, C. T.; HERING, E. P. **Preliminares acerca das formações vegetais e reflorestamento no Brasil Central**. Rio de Janeiro: Secretaria de Agricultura, 1962. 40 p.

RIZZINI, C. T.; MORS, W. B. **Botânica econômica brasileira**. São Paulo: EPU, 1976. 207 p.

SCOLFORO, J. R. S. et al. Equações de volume, peso de matéria seca e produção de cortiça do pau-santo (*Kielmeyera coriacea*), em Minas Gerais. In: SCOLFORO, J. R. S.; OLIVEIRA, A. D.; ACERBI, F. W. J. (Org.). **Inventário florestal de Minas Gerais: equações de volume, peso de matéria seca e carbono para diferentes fitofisionomias da flora nativa**. Lavras: UFLA, 2008. v. 1, p. 149-169.

SITTE, P. Zum feinbau der suberinschichten im flaschenkork. **Protoplasma**, Karlsruhe, v. 54, p. 555-559, 1962.

SOUZA, F. P. **Tecnologia de produtos florestais**. Rio de Janeiro: Nacional, 1974. 409 p.

TEIXEIRA, M. de O.; NUNES, T. C. M.; MELLO, J. M. C. de. Trabalho técnico em laboratórios de pesquisa e desenvolvimento em saúde: um estudo de caso. **História, Ciências, Saúde-Manguinhos**, Rio de Janeiro, v. 4, n. 3, p. 493-512, 1997.

WILLIAMS, L. O.; ERLANSON, C. O. Brazilian cork. **Journal Plant Foods for Human Nutrition**, The Hague, v. 6, n. 2, p. 114-120, 1959.

## CAPÍTULO 2

### **Estimativa de idade das árvores, densidade da madeira e cubagem da casca de *Kielmeyera coriacea* Mart. (pau-santo)**

#### **RESUMO**

Este trabalho foi realizado com os objetivos de estimar a idade das árvores de povoamentos nativos de *Kielmeyera coriacea*, realizar a sua cubagem rigorosa para a quantificação do percentual de casca e determinar a variação da densidade básica no sentido longitudinal das árvores. As amostras foram coletadas de árvores de *K. coriacea*, provenientes de povoamentos nativos, localizados em Luminárias, no estado de Minas Gerais, Brasil. Foram selecionadas árvores de forma aleatória no campo. Para a estimativa da idade, foram retiradas amostras na base dos troncos e realizado um polimento da sua superfície transversal, com papel abrasivo, para evidenciar os limites dos anéis de crescimento. A largura dos anéis de crescimento das árvores foi mensurada utilizando-se equipamentos específicos para estudos dendrocronológicos. Para a obtenção da densidade básica da madeira foram coletados discos das árvores de *K. coriacea* no sentido longitudinal base-topo, nas alturas 0%, 25%, 50%, 75% e 100% e os procedimentos para a sua determinação foram determinados pelo método de imersão. Para análise de variância da densidade básica, utilizou-se o delineamento inteiramente casualizado (DIC). A cubagem rigorosa foi realizada de acordo com o método de Smalian. Como resultados, a idade média estimada das árvores de *K. coriacea* foi de 21 anos, variando de 10 a 36 anos. As árvores analisadas apresentaram-se, de maneira geral, com pouca idade. A densidade média da árvore no sentido longitudinal base-topo variou de 0,40 a 0,50 g/cm<sup>3</sup>. A variação longitudinal da densidade básica da madeira de *K. coriacea* decresceu ligeiramente da base até ao topo (à exceção da árvore 1, na altura 50%). Estatisticamente, a densidade básica média da madeira foi superior na altura do tronco de 0%, com valor de 0,49 g/cm<sup>3</sup> e inferior na altura do tronco de 100%, com valor de 0,40 g/cm<sup>3</sup>. O volume total de casca foi quantificado entre 51% a 78% e existe uma tendência de as árvores mais novas possuírem maior percentagem de casca ou percentagens semelhantes às das árvores mais velhas. As árvores cubadas apresentam, de maneira geral, alta percentagem de volume de casca.

Palavras-chave: Estimativa da idade. Densidade da madeira. Cubagem rigorosa.

## ABSTRACT

The aims of this chapter were to estimate the age of the trees from native stands of *Kielmeyera coriacea*, perform rigorous scalling to quantify the percentage of bark, and determine the variation of basic density in the longitudinal direction of the trees. The samples were collected from *K. coriacea* trees, from native stands located in Luminárias, Minas Gerais State, Brazil. Trees were selected randomly in the field. For the age estimation the samples were obtained at the base of the stem and the cross-sections were polished on the transverse surface with sanding paper to highlight the boundaries of the growth rings. The ring widths were measured using specific equipment for dendrochronological studies. To determine the wood basic density, cross-sections from *K. coriacea* trees were collected along the longitudinal (bottom-up) direction of the stem at 0%, 25%, 50%, 75% and 100% of total height, and followed the procedures described as the immersion method. For the analysis of variance of the basic density we used a completely randomized design (CRD). The cubing was performed according to the method of Smalian. As results, the estimated average age of the trees of *K. coriacea* was 21 years, ranging from 10 to 36 years. The analyzed trees were generally at an early age. The average density of the tree in the longitudinal direction ranged from 0.40 to 0.50 g/cm<sup>3</sup>. The longitudinal variation of wood density of *K. coriacea*, decreased slightly from bottom to top (except for tree 1 at the 50% height). Statistically the average wood basic density was higher in the stem height of 0%, with 0.49 g/cm<sup>3</sup>, and lower at the 100% height, with a value of 0.40 g/cm<sup>3</sup>. The total bark volume was found between 51% to 78% and there is a trend for younger trees to have a higher portion of bark or similar to older trees. In general, the trees submitted to scalling presented a high percentage of bark volume.

Keywords: Age estimation. Wood density. Scalling.

## 1 INTRODUÇÃO

O gênero *Kielmeyera* é endêmico da América do Sul (BENNETT; LEE, 1989) e abrange 47 espécies, sendo 45 nativas do Brasil (BARROS, 2002). A espécie *Kielmeyera coriacea*, popularmente conhecida como pau-santo, distribui-se da região norte até a região sudeste, sendo mais frequente na centro-oeste (RIZZINI, 1963). As árvores da espécie apresentam copa ampla e caule tortuoso, características típicas das áreas onde ocorre sua distribuição, como Campo Sujo, Cerrado e Cerradão (ALMEIDA et al., 1998). A espécie é promissora na produção de cortiça, de madeira, de celulose, de tanino e de carvão (SOUZA, 1974) e apresenta importantes propriedades farmacológicas (CORTEZ et al., 1998).

Pouco se conhece sobre a espécie de *K. coriacea*, principalmente com relação à sua madeira e à sua casca. Como as árvores são típicas do Cerrado, há inúmeros fatores que contribuem para uma maior heterogeneidade do material para estudo, como a sua idade, a variação na sua porcentagem de casca (cortiça), bem como a provável disparidade na densidade de sua madeira.

Um parâmetro que permite correlacionar as propriedades da madeira e obter maior conhecimento sobre a espécie é a densidade básica. Suas variações no sentido longitudinal podem estar relacionadas com a idade da árvore, a amostragem, o genótipo e as condições ambientais. Portanto, há necessidade de se prever o comportamento da densidade no sentido longitudinal.

A idade de árvores nativas pode ser estimada com o estudo dos anéis de crescimento do lenho. A atividade sazonal do câmbio das árvores proporciona a formação dos anéis de crescimento, os quais representam os incrementos anuais.

Entre os métodos existentes para a estimativa da idade das árvores de espécies tropicais, o dendrocronológico é o mais preciso (ROIG, 2000). Entretanto, muitas árvores de espécies de regiões tropicais não mostram

claramente os anéis de crescimento ou pouco se conhece acerca da periodicidade com que são formados. Por isso, os métodos clássicos de datação dendrocronológica buscam apoio em outros métodos para obter informações precisas sobre a periodicidade de formação da madeira e a idade das árvores tropicais.

Concomitantemente ao desenvolvimento dos tecidos do lenho ocorre o desenvolvimento dos tecidos da casca e uma eficiente ferramenta para quantificar a sua espessura é a cubagem rigorosa. Gomes (1957) define como cubagem rigorosa a medição de sucessivos diâmetros do tronco ao longo da altura da árvore, em que o volume real é calculado somando-se os volumes das seções do tronco.

As árvores podem ser mensuradas por meio de dois métodos de cubagem rigorosa, o absoluto e o relativo (CABACINHA, 2003; SCOLFORO, 1998). Os métodos absolutos são aqueles em que o comprimento total da seção da tora não tem vínculo com o comprimento total da árvore. Nos métodos relativos, as posições de mensuração são tomadas de maneira a representar um percentual do comprimento total da árvore, permitindo a comparação dos volumes individuais de árvore de tamanho diferente, porém, com a mesma forma.

Portanto, neste capítulo, os objetivos foram: (i) estimar a idade das árvores de povoamentos nativos de *K. coriacea*, (ii) realizar a sua cubagem rigorosa para a quantificação do percentual de casca e (iii) determinar a variação da densidade básica no sentido longitudinal do tronco.

## 2 MATERIAL E MÉTODOS

Para o desenvolvimento do trabalho, foram utilizadas árvores de *K. coriacea* (pau-santo) provenientes de povoamentos nativos, localizados próximos a Luminárias, no estado de Minas Gerais. Foram selecionadas sete árvores, com altura e diâmetro variando como descrito na Tabela 1.

Tabela 1 Altura e diâmetro das árvores selecionadas no campo

Árvore	Altura (m)	Diâmetro (cm)
1	2,55	7,5
2	3,66	11,0
3	4,47	15,5
4	4,52	10,5
5	4,58	19,0
6	5,27	23,0
7	2,90	8,0

### 2.1 Estimativa de idade das árvores de *Kielmeyera coriacea*

As amostras, para estimativa da idade das árvores de *Kielmeyera coriacea*, foram retiradas na base dos seus troncos (Figura 1). As amostras (discos) do lenho das árvores foram fixadas em suporte de madeira e realizou-se um polimento da sua superfície transversal, com papel abrasivo (série de lixas com diferentes granulometrias: 110, 220, 300, 400, 600 e 1000) para evidenciar os limites dos anéis de crescimento. Foram demarcados com lápis grafite sob lupa binocular Leica (aumento de 6.3 – 40x) os anéis de crescimento de quatro porções de cada disco de madeira, conforme mostrado na Figura 2. Cada porção foi considerada com uma série na análise de dados.

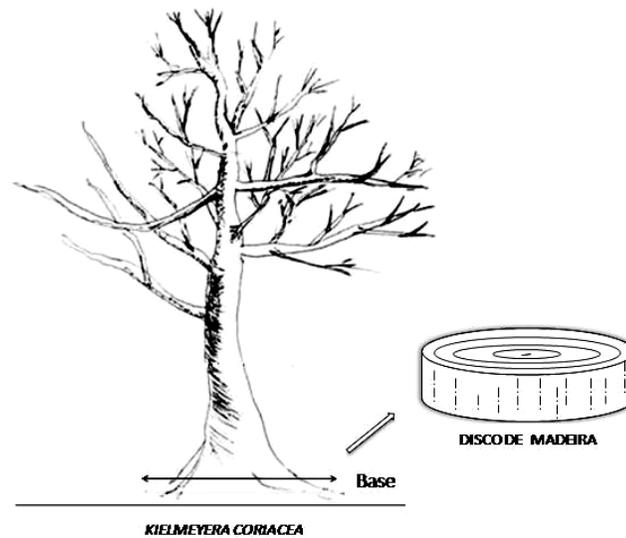


Figura 1 Obtenção das amostras do disco de madeira, na base do tronco, para a estimativa de idade das árvores de *Kielmeyera coriacea*

Para a estimativa da idade das árvores, a largura dos anéis de crescimento das árvores foi mensurada utilizando-se equipamentos específicos para estudos dendrocronológicos, como (i) mesa de mensuração Lintab III (ii) microscópio estereoscópio Leica, (iii) sistema de iluminação de fibra ótica – Leica modelo KL1500 e (iv) microcomputador.

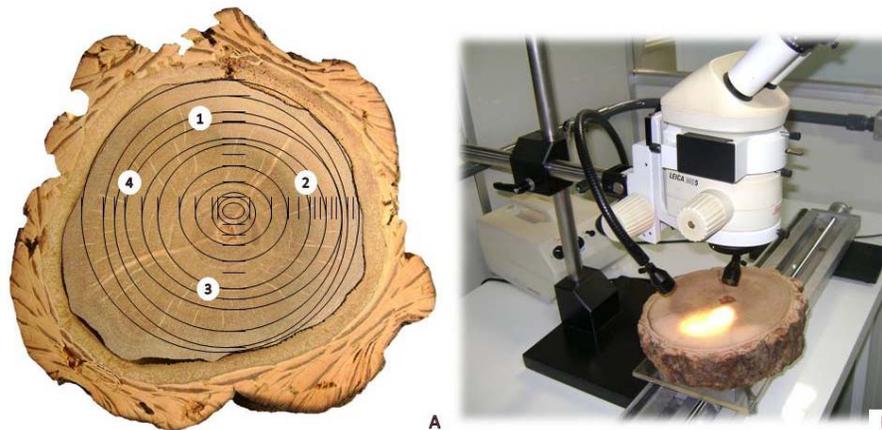


Figura 2 (A) Disco de madeira polido, retirado da base da árvore de *Kielmeyera coriacea*, com marcação dos anéis de crescimento em quatro porções distintas (1, 2, 3 e 4). (B) Mesa de mensuração, microscópio estereoscópio e sistema de iluminação óptica utilizados para a contagem dos anéis de crescimento

Para a aquisição e a análise dos dados da largura dos anéis de crescimento no sentido medula-casca das amostras, foi utilizado o programa “TSAP” e, em seguida, montados os gráficos das curvas de crescimento anual do tronco das árvores, em Microsoft Office Excel. As séries que não obtiveram uma boa correlação, quando comparadas entre si, foram eliminadas e analisadas somente as séries que obtiveram correlação superior a 0,45.

## 2.2 Densidade da madeira

Para a obtenção da densidade básica da madeira foram selecionados discos no sentido longitudinal, nas alturas 0%, 25%, 50%, 75% e 100% das árvores de *K. coriacea* (Figura 3), empregando-se a norma NBR 7190 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT, 1998).

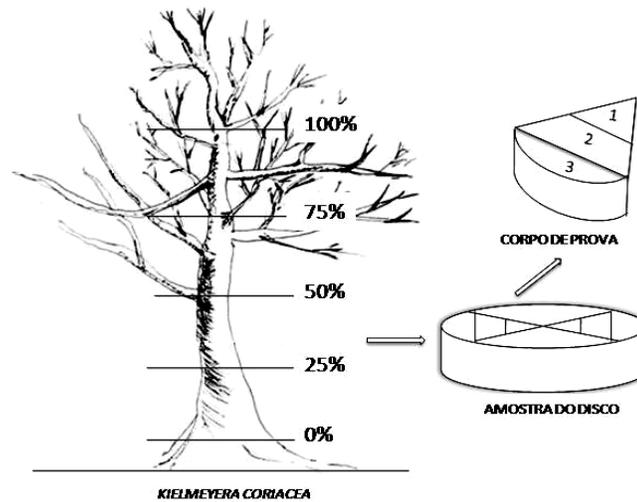


Figura 3 Obtenção dos corpos de prova para a determinação da densidade, no sentido longitudinal da madeira de *Kielmeyera coriacea*. Os números (1, 2 e 3) são referentes às repetições

### 2.2.1 Análise estatística

Para as variáveis estudadas, utilizou-se o delineamento inteiramente casualizado, com seis repetições. Foram efetuados a análise de variância (ANOVA) e o teste de Tukey, a 5%, para a densidade da madeira, cujo modelo estatístico utilizado foi:

$$Y_{ij} = \mu + t_i + e_{ij} \quad (1)$$

em que

$Y_{ij}$  = é o efeito do i-ésimo valor observado na j-ésima repetição;

$\mu$  = constante inerente a todas as observações (média geral);

$t_i$  = efeito do i-ésimo tratamento, efeito fixo;

$e_i$  = erro experimental associado à observação  $Y_{ij}$ .

### 2.3 Cubagem da casca

A cubagem rigorosa do fuste de *K. coriacea* foi realizada de acordo com o método de Smalian (Figura 4). O método constitui-se na derrubada e no seccionamento das árvores em toras nos intervalos de 0,1 (toco); 0,5; 1,3; 2,0 metros e, após essa altura, em um intervalo fixo de 1 metro até a altura total da árvore, para que fossem medidos o diâmetro com casca e a espessura de casca para a construção das equações de volume.

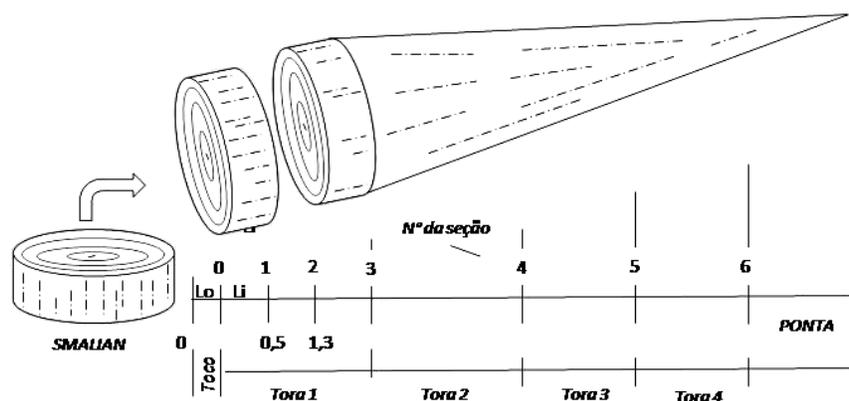


Figura 4 Seccionamento do fuste para cubagem rigorosa

O volume de casca do fuste foi calculado a partir das espessuras de casca medidas em cada disco retirado da árvore. Do valor da porcentagem de casca de cada disco, calculou-se uma média de porcentagem de casca por seção e, então, determinou-se o volume de casca por seção. Assim, determinaram-se o volume de casca do fuste e o seu volume total sem casca, de acordo com a fórmula de Smalian:

$$V1 = \left( \frac{e1 + e2}{2} \right) \times H \quad (1)$$

em que

$V$  = volume da seção do tronco ( $m^3$ );

$G_i$  = área transversal da seção de maior diâmetro;

$g_i$  = área transversal de menor diâmetro;

$l_i$  = comprimento da seção.

A área transversal de cada seção é dada pela expressão:

$$g = \pi \times \frac{d^2}{4} \quad (2)$$

em que

$\pi = 3,1416$ ;

$d$  = diâmetro da seção.

Porcentagem de casca:

$$\% \text{ Casca} = 100 \times \frac{V_{cc} - V_{sc}}{V_{cc}} \quad (3)$$

em que

$V_{cc}$  = volume com casca;

$V_{sc}$  = volume sem casca.

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

#### 3.1 Estimativa da idade das árvores de *Kielmeyera coriacea*

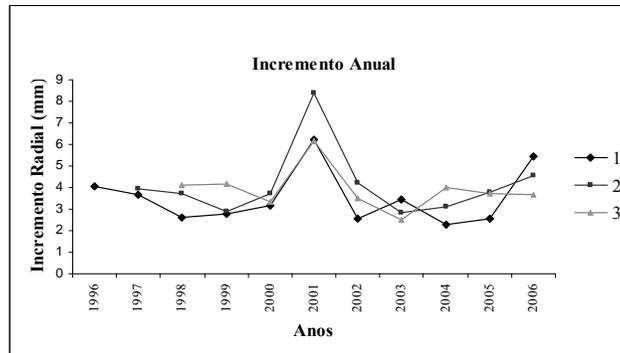
A estimativa da idade média das árvores foi realizada no intuito de se ter um parâmetro adicional, para uma interpretação mais eficiente dos resultados dos Capítulos 3 e 4.

A idade média estimada para as árvores de *K. coriacea* foi de aproximadamente 21 anos, variando de 10 a 36 anos (Gráfico 1). As correlações médias das séries (obtidas do incremento anual dos anéis de crescimento, na porção do disco de madeira) variaram de 0,56% a 0,72%.

Para todas as árvores analisadas foi necessária a eliminação de uma série de dados que se apresentavam mais discrepantes. A eliminação permitiu obter uma melhor correlação entre as séries restantes. Apenas para a árvore 3 foi necessária a eliminação de duas séries, já que os anéis de crescimento apresentaram-se indistintos em grande parte da amostra.

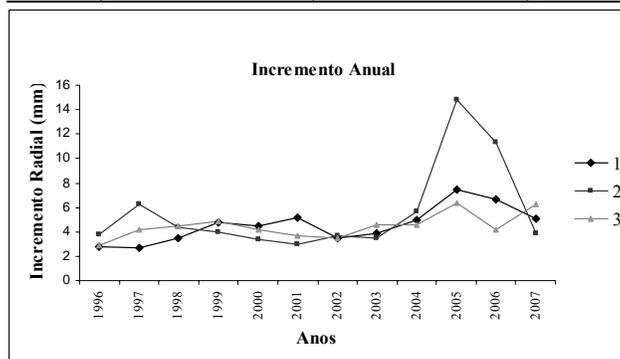
Para a espécie de *Quercus suber* (sobreiro), a maior produtora de cortiça mundial, a primeira cortiça produzida é retirada quando a árvore atinge de 20 a 35 anos (FORTES; ROSA; PEREIRA, 2004; NATIVIDADE, 1950). Posteriormente, suas extrações sucessivas são realizadas de acordo com seu ciclo de produção, ou seja, em um intervalo de nove anos.

Comparando-se a espécie de *Q. suber* com a espécie de *K. coriacea*, as árvores dessa última apresentaram-se, em média, novas para que seja realizado um processo de descortiçamento. Em contrapartida, de acordo com os resultados apresentados, no Tópico 3.3, a extração de cortiça em árvores mais novas seria justificada à medida que apresentam um maior percentual de casca quando comparadas às árvores com maior idade.



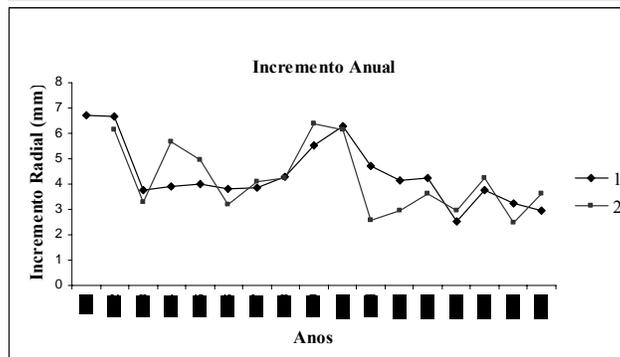
**Árvore 1** **Idade: Estimada: 10 anos**

<b>Correlação 1-2</b>	<b>Correlação 2-3</b>	<b>Correlação 1-3</b>
<b>0,80</b>	<b>0,82</b>	<b>0,53</b>



**Árvore 2** **Idade: estimada: 11 anos**

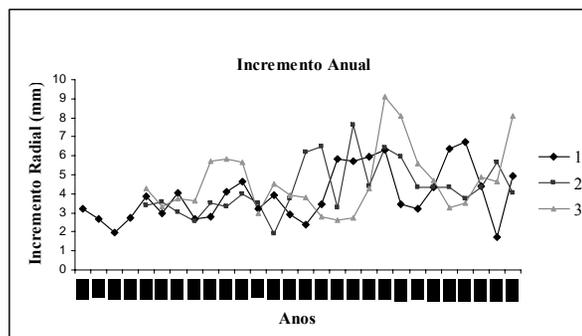
<b>Correlação 1-2</b>	<b>Correlação 2-3</b>	<b>Correlação 1-3</b>
<b>0,73</b>	<b>0,48</b>	<b>0,61</b>



**Árvore 3** **Idade: estimada: 16 anos**

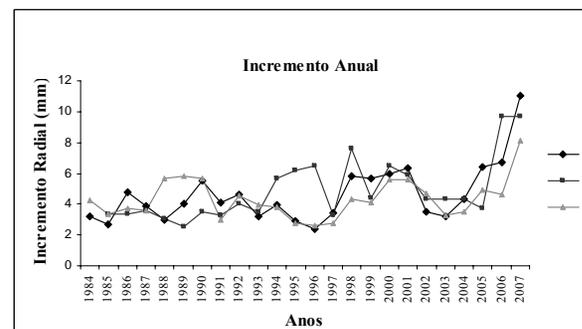
<b>Correlação 1-2: 0,71</b>
-----------------------------

Gráfico 1 Idade das árvores de *Kielmeyera coriacea*, de acordo com o incremento anual e suas respectivas correlações, para as sete árvores estudadas (...Continua...)



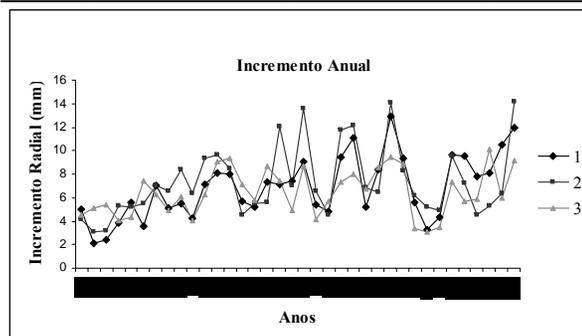
**Árvore 4** Idade estimada: 27 anos

Correlação 1-2	Correlação 2-3	Correlação 1-3
0,79	0,82	0,53



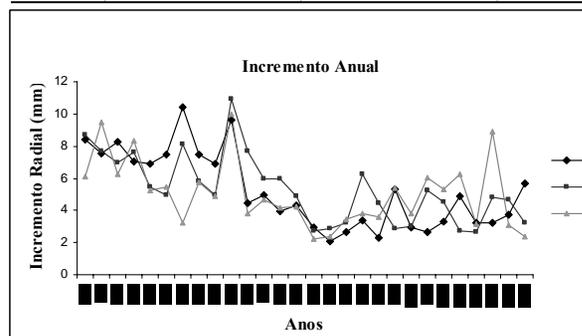
**Árvore 5** Idade estimada: 23 anos

Correlação 1-2	Correlação 2-3	Correlação 1-3
0,62	0,32	0,74



**Árvore 6** Idade estimada: 36 anos

Correlação 1-2	Correlação 2-3	Correlação 1-3
0,76	0,63	0,67



**Árvore 7** Idade estimada: 26 anos

Correlação 1-2	Correlação 2-3	Correlação 1-3
0,70	0,67	0,47

Deve-se realizar uma pesquisa mais detalhada sobre esse aspecto, já que a retirada da cortiça de árvores mais novas pode comprometer o seu futuro desenvolvimento.

### 3.2 Densidade da madeira

Os valores da variável analisada estão representados nos Gráficos 2 e 3, e a análise de variância correspondente, no ANEXO, Tabela 1A.

A madeira de *K. coriacea* é considerada como de mediana densidade básica, com valores de 0,40 a 0,50 g/cm<sup>3</sup>. Os valores médios para a densidade da madeira das árvores estudadas apresentam diferenças significativas entre si. A árvore que apresentou estatisticamente densidade básica superior às demais tem maior altura (5,2 m) e maior diâmetro (23,0 cm).

Ruffini (2008), também estudando a densidade da madeira de *K. coriacea*, encontrou valores similares, entre 0,48 e 0,65 g/cm<sup>3</sup>. Hipólito (1988) encontrou valores médios entre 0,60 e 0,30 g/cm<sup>3</sup> para a *K. coriacea*. Para a localidade de Luminárias, o mesmo autor encontrou valores médios entre 0,33 e 0,44 g/cm<sup>3</sup>. Estes valores estão de acordo com os referidos por Vale, Brasil e Leão (2002), em que a densidade básica da madeira de espécies do Cerrado apresenta variação de 0,20 a 0,78 g/cm<sup>3</sup>.

No entanto, essa variação é justificada por Barrichelo, Brito e Migliorini (1983), que mencionam que a densidade da madeira varia entre espécies, entre indivíduos, procedências da mesma espécie e dentro da árvore.

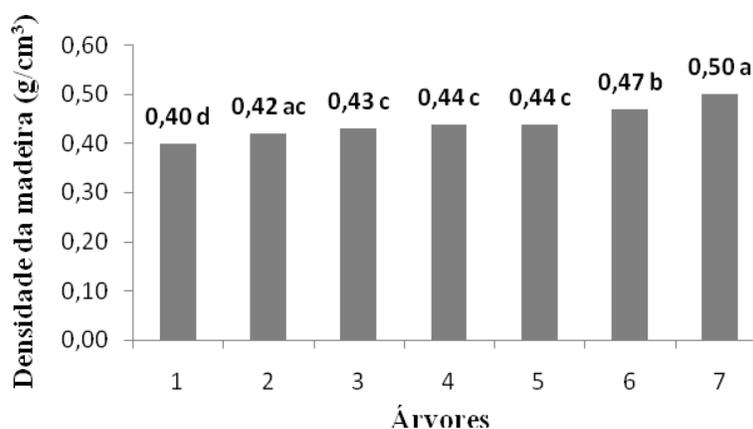


Gráfico 2 Variação da densidade básica da madeira de *Kielmeyera coriacea*, em  $\text{g/cm}^3$ . \*médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de Tukey (5% de probabilidade). CV = 8,27% (coeficiente de variação)

Os resultados relativos à densidade básica mostraram pequenas variações no sentido longitudinal do tronco, indicadas pelas diferentes porcentagens da altura do tronco das árvores de *K. coriacea* (Gráfico 3).

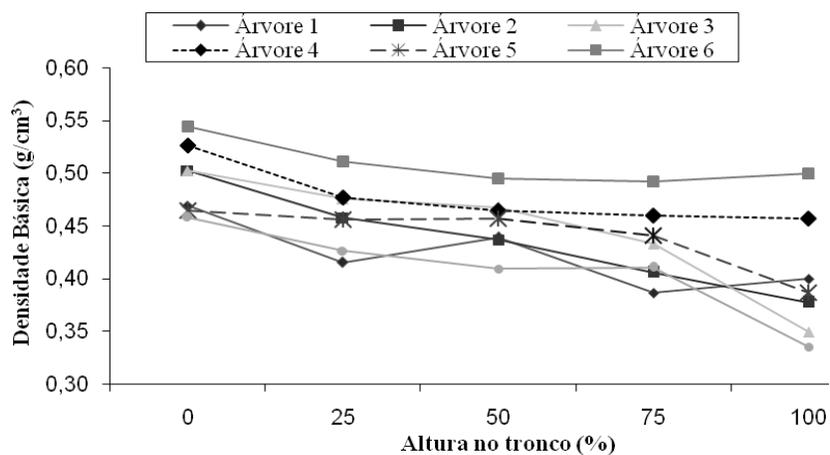


Gráfico 3 Densidade básica ( $\text{g/cm}^3$ ) da madeira nas porcentagens da altura no tronco (sentido longitudinal)

Estatisticamente, de acordo com o Gráfico 4, a densidade básica média da madeira foi superior na altura do tronco de 0%, com valor de  $0,49 \text{ g/cm}^3$  e inferior na altura do tronco de 100%, com valor de  $0,40 \text{ g/cm}^3$ .

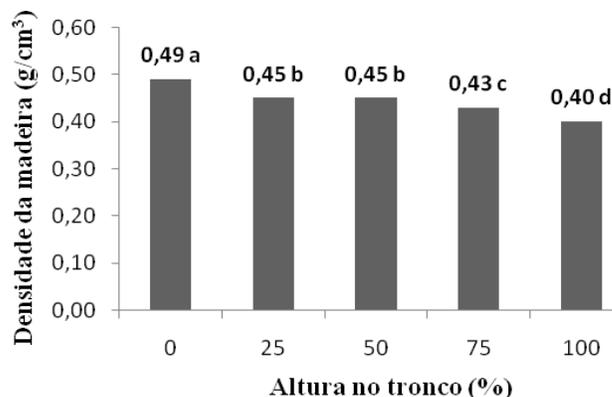


Gráfico 4 Efeito da altura sobre a densidade básica da madeira de *Kielmeyera coriacea*, em  $\text{g/cm}^3$

Panshin e Zeeuw (1970) sintetizaram os padrões de variação longitudinal, como segue: a) a densidade decresce uniformemente no sentido base-topo; b) a densidade decresce até certo ponto e, então, se torna crescente até o topo, podendo, às vezes, decrescer levemente na parte superior e c) a densidade cresce da base para o topo, embora desuniformemente.

A *K. coriacea* apresentou neste estudo, de acordo com o primeiro padrão apresentado por Panshin e Zeeuw (1970), onde a densidade básica decresceu uniformemente no sentido base-topo (à exceção da árvore 1, na altura 50%).

Esse comportamento pode ser explicado de acordo com Malan (1995), que menciona que a proporção de madeira juvenil na direção longitudinal do tronco tende a aumentar; como resultado, a densidade diminui, o que frequentemente ocorre em muitas espécies.

Contudo, Hipólito (1988), estudando a *K. coriacea* na localidade de Luminárias, MG, verificou o acréscimo da densidade básica até a metade da árvores, decrescendo, em seguida, até o topo.

Com relação ao uso múltiplo da madeira, os resultados das avaliações da densidade básica no sentido longitudinal do tronco indicaram que as árvores não apresentaram grandes diferenças entre si. Contudo, o parâmetro de densidade deve ser considerado na definição do uso da madeira, seja na madeira sólida para uso de moirão ou para madeira transformada.

### 3.3 Cubagem da casca

No Gráfico 5 é apresentado o gráfico relativo ao comportamento da idade das árvores em relação à porcentagem volumétrica de casca no fuste da *K. coriacea*. O volume total de casca foi quantificado entre 51% a 78%. Pode-se observar que existe uma tendência de as árvores mais novas apresentarem maior porcentagem de casca ou porcentagens semelhantes às das árvores mais velhas.

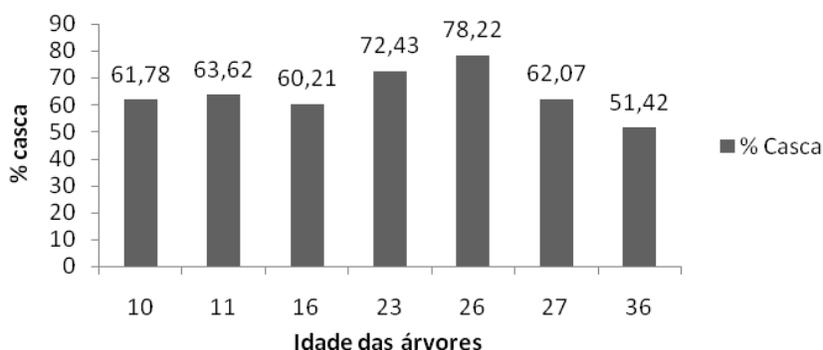


Gráfico 5 Comportamento da idade das árvores em relação à porcentagem volumétrica de casca

Ferreira (1996), avaliando o potencial de material corticoso da *K. coriácea*, verificou que a maior porcentagem de casca ocorre nas menores classes diamétricas e o seu decréscimo, com o aumento da classe. Pode-se considerar, neste trabalho, que as árvores jovens apresentam menores diâmetros quando comparadas com árvores mais velhas.

Diante dessa relação, Scolforo et al. (2008), quantificando o volume de casca, por classe diamétrica, do fuste da *K. coriácea*, constataram valores semelhantes entre 44% a 75%. Ferreira (1974), estudando a mesma espécie, também encontrou valores médios semelhantes de 54%.

Castro, Foelkel e Gomide (1979), estudando a porcentagem de casca da *Gmelina arbora*, encontraram tendência semelhante, verificando diminuição da porcentagem de casca à medida que aumentou o diâmetro das árvores.

No entanto, Scolforo et al. (2008) mencionam que o que se espera é que a porcentagem de casca seja maior nas árvores menores. Entretanto, isso normalmente ocorre em plantios ou em espécies florestais que estão mais adensadas. Para as espécies nativas, que crescem em campo aberto, a proporção do volume aumenta na medida em que as árvores ficam maiores. Com isso, há maior proporção de casca para os indivíduos grandes.

As altas porcentagens de casca (52% a 78%) encontradas neste estudo mostram que a *K. coriácea* tem bom potencial quantitativo para a extração de cortiça.

Contudo, as alterações na porcentagem de casca podem ser também de ordem genética. Diante do exposto, recomenda-se realizar uma pesquisa em melhoramento genético para selecionar as árvores com maior potencial de cortiça.

#### 4 CONCLUSÃO

A idade média estimada das árvores de *K. coriacea* foi de 21 anos, variando de 10 a 36 anos.

A densidade média da árvore no sentido longitudinal variou de 0,40 a 0,50 g/cm<sup>3</sup>. A variação longitudinal da densidade básica da madeira de *K. coriacea* decresceu ligeiramente da base até ao topo. Estatisticamente, a densidade básica média da madeira foi superior na altura do tronco de 0%, com valor de 0,49 g/cm<sup>3</sup> e inferior na altura do tronco de 100%, com valor de 0,40 g/cm<sup>3</sup>.

O volume total de casca foi quantificado entre 51,42% a 78,22% e existe uma tendência de as árvores mais novas possuírem maior percentagem de casca ou percentagens semelhantes às das árvores mais velhas. As árvores cubadas apresentam-se, de maneira geral, com alta percentagem de volume de casca.

## REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, S. P. et al. **Cerrado: espécies vegetais úteis**. Planaltina: EMBRAPA, 1998. 464 p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7190: projeto de estrutura de madeiras**. Rio de Janeiro, 1998. 107 p.
- BARRICHELO, L. E. G.; BRITO, J. O.; MIGLIORINI, A. J. Estudo da variação da densidade básica em *Eucalyptus* spp. In: CONGRESSO FLORESTAL BRASILEIRO, 4., 1982, Belo Horizonte. **Anais...** São Paulo: SBS, 1983. p. 726-731.
- BARROS, M. A. G. Floração sincrônica e sistemas reprodutivos em quatro espécies de *Kielmeyera* Mart. (Guttiferae). **Acta Botanica Brasilica**, São Paulo, v. 16, n. 1, p. 113-120, jan./fev. 2002.
- BENNETT, G. J.; LEE, H. H. Xanthonenes from Guttiferae. **Phytochemistry**, Oxford, v. 28, n. 4, p. 967-998, Mar. 1989.
- CABACINHA, C. D. **Um método para a realização do inventário florestal suprimindo a cubagem rigorosa**. 2003. 116 p. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2003.
- CASTRO, N. S.; FOELKEL, C. E. B.; GOMIDE, J. L. Aproveitamento industrial da madeira de *Gmelia arborea* Roxb. para a produção de celulose. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v. 3, n. 1, p. 24-46, 1979.
- CORTEZ, D. A. G. et al. Xanthonenes triterpenes and a biphenyl from *Kielmeyera coriacea*. **Phytochemistry**, Oxford, v. 47, n. 7, p. 1367-1374, Apr. 1998.
- FERREIRA, M. B. **Flores do planalto: cerrado**. Brasília: UnB, 1974. 23 p.
- FERREIRA, S. O. **Avaliação do potencial de material corticoso do pau-santo (*Kielmeyera coriacea*), em nove regiões do estado de Minas Gerais através de modelos volumétricos**. 1996. 34 f. Monografia (Graduação em Ciências Florestais) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 1996.
- FORTES, M. A.; ROSA, M. E.; PEREIRA, H. **A cortiça**. Lisboa: IST, 2004. 259 p.

GOMES, A. M. A. **Medição dos arboredos**. Lisboa: Sá da Costa, 1957. 413 p.

HIPÓLITO, J. B. **Estudo da variação longitudinal da densidade básica em madeira de pau-santo**. 1988. 17 f. Monografia (Graduação em Ciências Florestais) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 1988.

MALLAN, F. A. *Eucalyptus* improvement for lumber production. In: SEMINÁRIO INTERNACIONAL DE UTILIZAÇÃO DA MADEIRA DE EUCALIPTO PARA SERRARIA, 1., 1995, São Paulo. **Anais...** São Paulo: IPEF/IPT, 1995. p. 1-19.

NATIVIDADE, J. V. **Subericultura**. Lisboa: Ministério da Economia, 1950. 387 p.

PANSHIN, A. J.; ZEEUW, C. **Textbook of wood technology**. New York: McGraw-Hill, 1980. 404 p.

RIZZINI, C. T. A flora do Cerrado, análise florística das savanas centrais. In: SIMPÓSIO SOBRE O CERRADO, 2., 1963, São Paulo. **Anais...** São Paulo: E. Blücher, 1963. p. 125-177.

ROIG, F. A. Dendrocronología en los bosques del Neotrópico: revisión y prospección futura. In: \_\_\_\_\_. **Dendrocronología en América Latina**. Mendoza: EDIUNC, 2000. p. 307-355.

RUFINI, A. L. **Volumetria, peso de matéria seca, teor de tanino e cortiça para o Cerrado *Sensu stricto* em Minas Gerais**. 2008. 264 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2008.

SCOLFORO, J. R. S. **Biometria florestal: medição e volumetria de árvores**. Lavras: UFLA/FAEPE, 1998. 310 p.

SCOLFORO, J. R. S. et al. Equações de volume, peso de matéria seca e produção de cortiça do pau-santo (*Kielmeyera coriacea*), em Minas Gerais. In: SCOLFORO, J. R. S.; OLIVEIRA, A. D.; ACERBI, F. W. J. (Org.). **Inventário florestal de Minas Gerais: equações de volume, peso de matéria seca e carbono para diferentes fitofisionomias da flora nativa**. Lavras: UFLA, 2008. v. 1, p. 149-169.

SOUZA, F. P. **Tecnologia de produtos florestais**. Rio de Janeiro: Nacional, 1974. 409 p.

VALE, A. T.; BRASIL, M. A. M.; LEÃO, A. L. Quantificação e caracterização energética da madeira e casca de espécies do Cerrado. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 12, n. 1, p. 71-80, jan./fev. 2002.

VITAL, B. R. **Métodos de determinação da densidade da madeira**. Viçosa, MG: SIF, 1984. 21 p. (Boletim Técnico, 2).

### CAPÍTULO 3

#### **Análise de imagem da cortiça e anatomia da casca de *Kielmeyera coriacea***

**Mart. (pau-santo)**

#### **RESUMO**

Tendo em vista a importância de se ter, no Cerrado brasileiro, espécies promissoras de cortiça, o trabalho proposto consiste em analisar, por meio de análise de imagem, a cortiça de *Kielmeyera coriacea* (pau-santo), procurando caracterizar possíveis irregularidades e descrever a estrutura anatômica da casca, enfatizando a formação da periderme. As amostras foram coletadas aleatoriamente de árvores provenientes de povoamentos nativos, na região de Luminárias, Minas Gerais, Brasil. Para a análise de imagem, as amostras foram fotografadas em máquina digital e mensuradas utilizando-se o software Leica–Qwin. Os parâmetros mensurados foram: área total da amostra (cm<sup>2</sup>), área total do tecido considerado não suberoso (cm<sup>2</sup>), área total de “poros” (cm<sup>2</sup>) e coeficiente de porosidade (%). Para a análise anatômica microscópica, as amostras foram incluídas em polietileno-glicol (PEG) e seccionadas em micrótomo de deslize e montadas lâminas permanentes. A dissociação dos elementos do floema foi feita por maceração. Todas as estruturas anatômicas foram analisadas por microscopia óptica. Na análise de imagem, as amostras de cortiça apresentaram alguns aspectos macroestruturais que poderão constituir “defeitos”, considerados relevantes para a sua qualidade. Na maioria das amostras, foi possível visualizar linhas acastanhado-escuras ao longo das seções transversais e radiais, nomeadas tecido de floema incluso. Morfologicamente, a casca de *K. coriacea* apresenta, em média, 1,5 cm de espessura, de cor marrom-acastanhada. Anatomicamente, apresenta uma transição gradual entre o floema colapsado e o floema não colapsado. A espécie apresenta células de floema secundário dispostas em faixas tangenciais, alternando células de parênquima axial e fibras. As fibras apresentam-se dispostas em linhas tangenciais, são bifurcadas e/ou denteadas e apresentam pontoações. As esclereídes estão presentes junto com os cristais de oxalato. Amido, taninos e resinas são frequentes no parênquima.

Palavras-chave: Cortiça. Casca. *K. Coriacea*. Análise de imagem. Anatomia

## ABSTRACT

Given the importance of the presence of promising species for cork production in the Brazilian Cerrado, the proposed work consists on the image analysis of the cork from *Kielmeyera coriacea* (pau-santo), aiming to identify possible irregularities and to describe the anatomical structure of the bark, emphasizing the formation of the periderm. The sampled trees were collected randomly from native stands from the region of Luminárias, Minas Gerais State, Brazil. For image analysis, the samples were photographed in digital camera and measured using the software Leica–Qwin. The parameters measured were: total sample area (cm<sup>2</sup>), total area of the tissue not considered suberose (cm<sup>2</sup>), total “pore” area (cm<sup>2</sup>) and coefficient of porosity (%). For microscopic anatomical analysis the samples were embedded in polyethylene glycol (PEG), sectioned in a slide microtome, and mounted on permanent slides. The dissociation of the elements from the phloem was made by maceration. All anatomical structures were analyzed by optical microscopy. The image analysis of samples of cork revealed some defects that are considered relevant to its quality. For most samples it was possible to visualize dark brown stripes along the transverse and radial sections, named as included phloem tissue. Morphologically, the bark of *K. coriacea* presents an average thickness of 1.5 cm and a brownish color. Anatomically presents a gradual transition between the collapsed phloem and the non- collapsed phloem. The species present secondary phloem cells, arranged in alternating tangential bands of axial parenchyma cells and fibers. The fibers are arranged in tangential rows, branched and / or jagged, and with pits. The sclereids are present together with the oxalate crystals. Starch, tannins and resins are frequent in the parenchyma.

Keywords: Cork. Bark. *K. coriacea*. Image analysis. Anatomy.

## 1 INTRODUÇÃO

A *Kielmeyera coriacea* (pau-santo) é uma árvore típica de áreas abertas do Cerrado brasileiro (ARELLO, 1991). Devido às particularidades desse bioma, com duas estações bem definidas, uma chuvosa no verão e outra seca no inverno (BATMANIAN; HARIDASAN, 1985), além da frequência na ocorrência de fogo (MIRANDA; SATO, 2005), as espécies arbóreas tendem a apresentar o tronco com grande quantidade de tecido corticoso.

A espécie *K. coriacea* é da família das Clusiaceae e apresenta altura de 2 a 6 m (ALMEIDA, 1946). O gênero *Kielmeyera* é endêmico da América do Sul, compreendendo cerca de 47 espécies, sendo 45 nativas do Brasil (RIZZINI; HERING, 1962).

Vários autores relatam a importância dessa espécie na produção de cortiça (DIONELLO; BASTA, 1980; RIZZINI; MORS, 1976; SOUZA, 1974), contudo, faltam conhecimentos abrangentes sobre a espécie que lhes deem parâmetros a uma possível exploração viável e sustentável. Em contrapartida, há estudos exaustivos sobre a principal espécie produtora de cortiça mundial, a *Quercus suber* (sobreiro), dando base e sustentação aos estudos com a *K. coriacea*.

De acordo com trabalhos publicados sobre a espécie *Q. suber*, uma ferramenta interessante para designar a qualidade da cortiça produzida é por meio da análise de imagem anatômica. Em estudos realizados por Almeida e Tomé (2008), Ferreira, Lopes e Pereira (1998), Macedo (2001), Macedo, Lopes e Pereira (1998), Pereira, Lopes e Graça (1996) e Pereira, Rosa e Fortes (1987) foram classificados como parâmetros de qualidade tecnológica a porosidade e o calibre da cortiça (espessura determinante para o processo de produção).

A porosidade é representada pela presença de canais lenticulares que atravessam radialmente a cortiça. No interior desses canais lenticulares existe

um tecido de enchimento, de aspecto pulverulento e de cor castanho-avermelhado, também conhecido como “terra”, o que prejudica tecnologicamente a qualidade (PEREIRA, 1998). Já o calibre da cortiça é a espessura determinante para o processo de produção. De acordo com Natividade (1934), uma cortiça de boa qualidade deve ter o mínimo de porosidade e ausência de incrustações, sejam elas causadas por insetos ou pela própria genética da árvore.

Adrados e Pereira (1996) e Natividade (1950) mencionam que outros defeitos, além da excessiva porosidade e diferenças no calibre, podem ter importância similar na qualidade da cortiça. Em terminologia portuguesa, são denominados como “prego”, “enguiado” e “verde”.

O “prego” na cortiça é caracterizado como pequenas porções de tecidos esclerenquimatosos que ficaram incluídos na massa de cortiça e surgem frequentemente junto à costa (parte externa da casca), nas primeiras 2 a 3 camadas de crescimento anuais. Dimensões superiores a  $1\text{mm}^2$  fazem com que a cortiça seja desvalorizada tecnologicamente (NATIVIDADE, 1950). O “enguiado” surge como sulcos pronunciados, orientados longitudinalmente na costa das peças, podendo causar descontinuidades nas primeiras camadas de cortiça que foram produzidas. O “verde” é um defeito ocasionado pelo teor de umidade elevado em algumas regiões da cortiça, originando retração excessiva no processo de secagem (FORTES; ROSA; PEREIRA, 2004).

Técnicas de análise de imagem podem ser utilizadas em superfícies de cortiça, nas seções transversais de amostras, para diferenciar os poros (canais lenticulares) e importantes defeitos, tais como pregos (horizontal e vertical) e galerias de insetos (ADRADOS; PEREIRA, 1996).

Outra ferramenta importante para avaliar o potencial tecnológico da cortiça e entender, assim, toda a sua estrutura e sua característica é a análise anatômica microscópica. Esta análise, além de avaliar tecnologicamente,

permite, de acordo com muitos autores, o conhecimento da espécie para fins taxonômicos e filogenéticos (ANGYALOSSY-ALFONSO, 1983; ANGYALOSSY-ALFONSO; RICHTER, 1991; MARCHIORI, 1980).

Ainda, a importância no estudo da anatomia da casca de espécies que produzem cortiça está diretamente relacionada à qualidade e à análise da formação do felogênio. Este, por ser um tecido meristemático, mantém sua atividade durante toda a vida da árvore, favorece o aumento do diâmetro do tronco e a espessura da cortiça produzida. Além disso, logo após o procedimento de descortiçamento, apresenta-se de fundamental importância para a regeneração da nova cortiça na árvore.

Tendo em vista a relevância de se ter no bioma brasileiro espécies promissoras de cortiça, em destaque a *K. coriacea*, o trabalho proposto consiste em analisar a macroestrutura e a microestrutura da cortiça, por meio de análise de imagem, procurando caracterizar as suas possíveis irregularidades e contribuir, assim, para a avaliação de sua qualidade. Ainda, pretendeu-se descrever a anatomia da casca, enfatizando a formação da periderme.

## 2 MATERIAL E MÉTODOS

Para o desenvolvimento do trabalho foram utilizadas árvores de *K. coriacea* (pau-santo) provenientes de povoamentos nativos, localizados próximos a Luminárias, no estado de Minas Gerais. As árvores foram selecionadas de forma aleatória no campo.

Para a análise de imagem foram selecionadas vinte árvores e classificadas em cinco classes diamétricas diferentes. Posteriormente, foi selecionada uma árvore por classe. Para análise microscópica, realizou-se o mesmo procedimento para outro grupo de vinte árvores. Os intervalos das classes diamétricas estão apresentados na Tabela 1.

Tabela 1 Intervalos das classes diamétricas, amostradas aleatoriamente, para análise de imagem e análise microscópica

Classe diamétrica	Intervalo (cm)	Árvore amostrada
<b>Análise de imagem</b>		
1	(7,60-10,38).....	1
2	(10,39-13,17).....	5
3	(13,18-15,95).....	8
4	(15,96-18,73).....	4
5	(18,74-21,51).....	2
<b>Análise microscópica</b>		
1	(8,02-10,78).....	1
2	(10,78-13,49).....	7
3	(13,49-16,20).....	7
4	(16,20-18,90).....	3
5	(18,90-21,60).....	2

### 2.1 Coleta do material

As amostras foram retiradas dos troncos das árvores a 1,30 m do solo. A cortiça para análise de imagem foi retirada do fuste por meio de corte com facão e seu posterior desprendimento, separando-se, assim, a camada de cortiça do

tronco, por rasgamento das células do felogênio. Para análise microscópica, o outro grupo de árvores selecionadas foi abatido e, então, foi retirada a porção de casca constituída de floema secundário, câmbio vascular e sucessivas peridermes. Assim, as amostras foram fixadas em solução FAA<sub>70</sub> (formaldeído, ácido acético e álcool etílico), por 72 horas (JOHANSEN, 1940) e, posteriormente, foram conservadas em etanol 70% (BERLYN; MIKSCHE, 1976).

As amostras foram analisadas no laboratório de anatomia da madeira, no Centro de Florestas e Produtos Florestais do Instituto de Investigação Científica e Tropical (ICT), em Lisboa, Portugal.

## **2.1 Análise da estrutura macroscópica**

A cortiça para análise macroscópica foi processada em serra de fita, de maneira que as amostras ficassem bem orientadas nos planos transversal, tangencial e radial. As superfícies foram polidas com uma lixadeira de bancada, com fita de lixa P100 e, posteriormente, limpas com ar comprimido.

As superfícies obtidas foram fotografadas utilizando-se uma máquina digital Samsung 10 MP L201. Em cada superfície das amostras foi traçada uma reta com 1 cm de comprimento, objetivando, posteriormente, a calibração das medições. Para as medições, foi utilizado o software de análise de imagem Leica – Qwin.

Para análise de imagem, utilizaram-se o plano tangencial e os planos não-tangenciais (transversal e radial), e foram analisados os seguintes parâmetros:

- a) área total da amostra (cm<sup>2</sup>);
- b) área total do tecido considerado não suberoso (cm<sup>2</sup>);
- c) área total de poros (cm<sup>2</sup>).

Com base nestes parâmetros calculou-se também o coeficiente de porosidade (%), de acordo com a seguinte equação:

$$\text{Coeficiente de Porosidade (\%)} = \frac{\text{Área total dos poros}}{\text{Área total da superfície}} \quad (1)$$

Os parâmetros aqui mensurados foram estabelecidos considerando-se a área total do tecido não suberoso que, aparentemente, eram buracos originados por cupins, formiga, fungos, inclusões de entrecasco (“prego”), etc.

Para a área total de poros, foram considerados aqueles visivelmente rodeados por camadas de tecidos esclerenquimatosos e, também, tecidos pulverulentos, de cor castanho-clara.

As imagens foram analisadas em formato RGB (RedGreenBlue), com a finalidade de separar, por meio das diferenças entre as cores, o tecido suberoso puro e o restante. Para a detecção do tecido não suberoso na imagem, selecionaram-se manualmente esses pontos. Posteriormente, o programa identificou o restante dos pontos que se pretendeu mensurar, definindo um intervalo em cada uma das três bandas de cor RGB, de acordo com a informação contida nos pixels que foram selecionados manualmente.

Desse modo obteve-se uma imagem binária a partir da imagem adquirida originalmente. As imagens binárias foram ainda sujeitas a algumas correções manuais, por comparação visual com a imagem original, para aperfeiçoamento da seleção feita automaticamente (Figura 1).

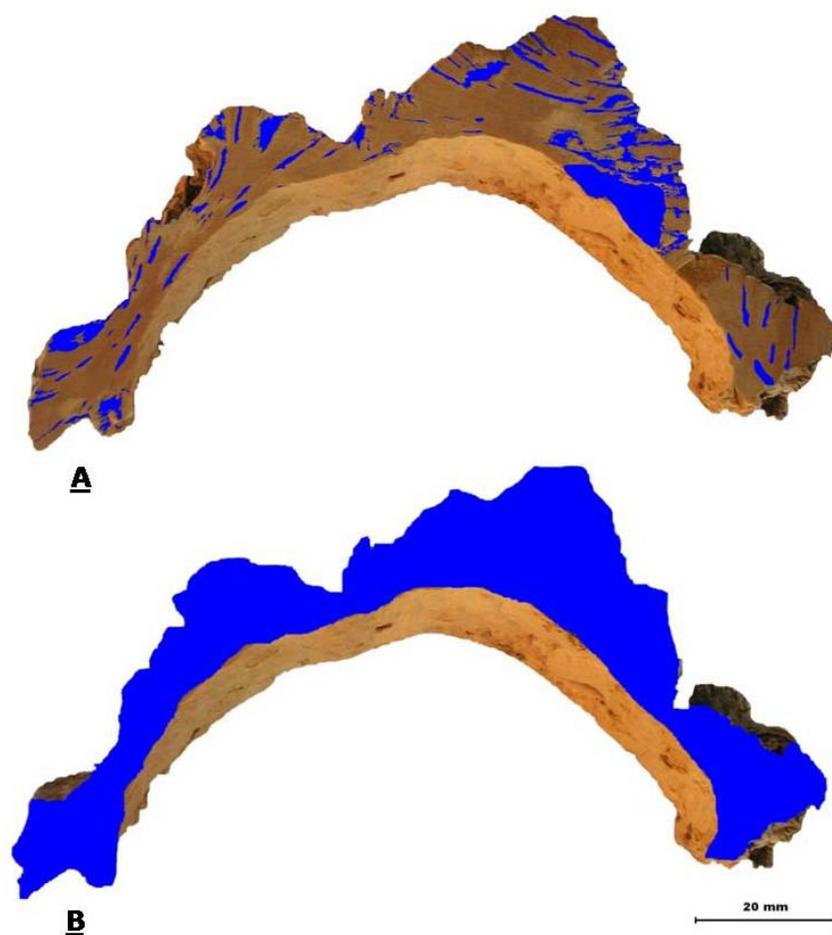


Figura 1 Detalhamento das áreas selecionadas a serem calculadas. Seção transversal com seleção de áreas consideradas como tecido não suberoso (A). Seção transversal com seleção da área total da superfície calculada (B)

Para o parâmetro da área total de poros foi necessário remover manualmente alguns objetos (buracos e demais imperfeições) da imagem binária, que foram selecionados automaticamente como poros, devido à semelhança cromática.

## 2.2 Análise anatômica microscópica

As cascas das árvores são frágeis quando comparadas à madeira, o que dificulta o seu corte e preparo para microscopia. Para tanto, as técnicas utilizadas consistem em um meio de inclusão para o corpo de prova, evitando, assim, o rompimento dos elementos anatômicos. Para tanto, o material utilizado foi incluído em polietileno-glicol (PEG), DP 1500 (RICHTER, 1990).

Para o seccionamento da casca nos planos transversal e longitudinal, utilizou-se o micrótomo de deslize, da marca Leica SM 2400. Com o auxílio do estilete, foi reduzida a área a ser seccionada e os cortes foram obtidos com 16  $\mu\text{m}$  de espessura. Para facilitar o corte, foi utilizada uma fita Tesa Film 106/4106, que foi colada à superfície da amostra incluída em PEG, impedindo a desagregação da estrutura e favorecendo a espessura mais fina de corte (QUILHÓ; PEREIRA; RICHTER, 1999). Foram retirados de cada amostra cinco cortes em cada plano (transversal, tangencial e radial) de orientação da cortiça.

Após o seccionamento, os cortes foram secos ao ar, corados com acridina vermelha-crisoidina, lavados com água destilada, corados com azul de astra, passados novamente por água destilada e deixados secar durante 24 horas. Os cortes secos foram montados em lâminas, em um esfregaço com gelatina kaiser, unidas em blocos de cinco lâminas, nos quais foram prensadas por 24 horas. Após fixação, as lâminas foram colocadas em xilol, por 30 minutos, para a remoção da fita Tesa film e desidratadas em álcool 100%, álcool/acetato de butila 3:1, álcool/acetato de butila 1:1, álcool/acetato de butila 1:3 e montadas com Entellan®.

Foram analisados, nas lâminas, os elementos de tubo crivosos, raios, células expandidas/esclereídes, aspecto da parede celular, células de cortiça (felema), feloderme e felogênio.

Para a dissociação dos elementos celulares do floema, retiraram-se fragmentos de cada amostra e estes foram colocados em frascos com solução de ácido acético ( $\text{CH}_3\text{COOH}$ ) e peróxido de hidrogênio ( $\text{H}_2\text{O}_2$ ) a 1:1. Os frascos com os fragmentos foram levados em estufa a  $60^\circ\text{C}$ , por um período de 48 a 72 horas e corados com azul de astra.

As lâminas confeccionadas foram microfotografadas com diferentes ampliações, em equipamento Nikon Microphot FX – A, e observadas em microscópio de luz LA Leica DM.

A análise dos parâmetros da anatomia da casca foi baseada na terminologia existente para o lenho, segundo as normas da International Association of Wood Anatomists - IAWA (1989) e por meio dos critérios de padronização da casca, segundo Richter et al. (1996).

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

#### 3.1 Estrutura macroscópica da casca exterior: cortiça

As amostras de cortiça apresentaram-se, de maneira geral, com alguns “defeitos” que são considerados relevantes para a sua qualidade.

Na maioria das amostras analisadas foi possível visualizar linhas acastanhado-escuras, ao longo das seções transversais e radiais, nomeadas como tecido de floema incluso (Figura 2) ou ditas como “prego” (terminologia usual para esse tipo de defeito, em cortiça portuguesa). Esse tipo de tecido encontra-se incluído, em pequenas porções, na massa da cortiça por um processo de abscisão, resultante da formação de peridermes parciais em uma fase posterior à atividade do felogênio.

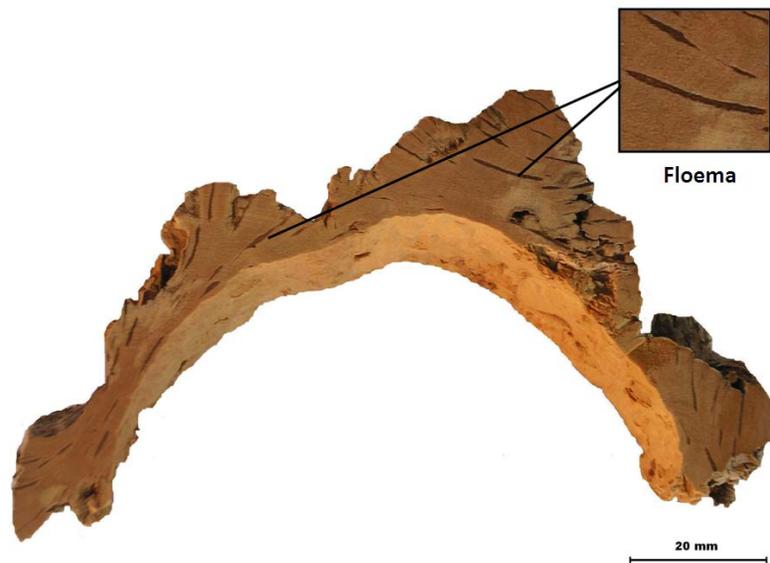


Figura 2 Aspecto geral da seção transversal de uma amostra de cortiça de *Kielmeyera coriacea*, com detalhamento para áreas com presença de tecido de floema incluso

Na cortiça de *Q. suber*, a formação desse tipo de peridermes parciais acontece, principalmente, após o período de descortiçamento, quando ocorre a retomada da atividade do felogênio traumático e a cortiça encontra-se em processo regenerativo. As peridermes parciais ocorrem com maior frequência nas regiões do felogênio lenticular e na continuidade dos raios parenquimáticos existentes no floema. Na cortiça de *K. coriácea*, a formação das peridermes parciais analisadas não pode estar associada ao processo de extração, já que as árvores foram descortçadas pela primeira vez. Contudo, pode estar associada às variações climáticas e à ocorrência de fogo, comuns nas áreas de Cerrado, paralisando periodicamente a atividade meristemática do felogênio em alguns pontos.

Outro aspecto que foi possível analisar com as imagens foi a presença de canais lenticulares ou lenticelas, nas seções transversais e radiais (Figura 3). Em sua maioria, estes se apresentaram, no seu interior, preenchidos por um tecido pulverulento, de cor acastanhada, ditos como “terrentos”, que são prejudiciais à qualidade da cortiça. Segundo Natividade (1950), do ponto de vista fisiológico, os canais lenticulares são fundamentais para permitir a comunicação dos tecidos vivos da árvore com o ambiente externo, porém, do ponto de vista tecnológico, são um fator desvalorizante para a cortiça.

Esse tipo de canais lenticulares, os terrentos, na perspectiva de utilização industrial, é resultante de uma anomalia na função do felogênio lenticular. Com isso, ao contrário de produzir células suberosas típicas, unidas entre si, produz um tecido frouxo, de células arredondadas, que deixam espaços vazios entre si e as paredes nem sempre suberificam, preenchendo os canais lenticulares (MOREIRA, 1980; VIEIRA, 2009).

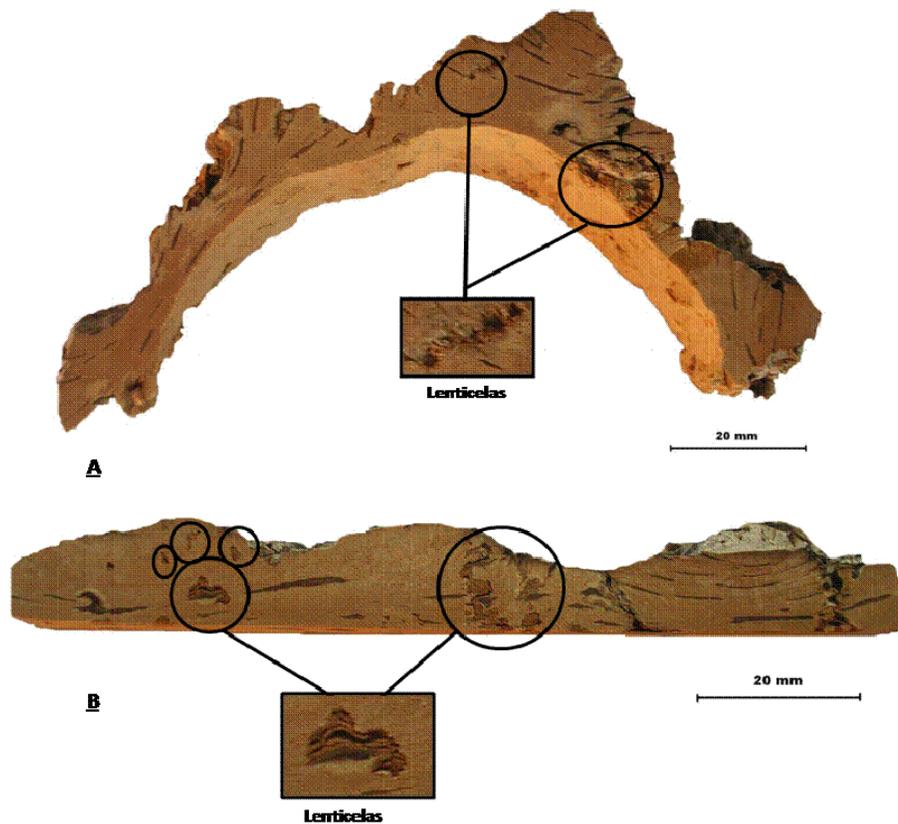


Figura 3 Aspecto geral da seção transversal (A) e da seção radial (B) de uma amostra de cortiça, com detalhamento para áreas com presença de canais lenticulares ou lenticelas

Por meio da Figura 4, pode-se observar a presença de imperfeições ao longo das seções, como buracos extensos e sinuosos no tecido suberoso, provocados por insetos, como cupins e formigas típicos da região de coleta. Também se pode perceber que o tecido suberoso não se desenvolve de forma contínua nas primeiras camadas produzida, surgindo fendas pronunciadas. Essa característica também é notada nas espécies de *Quercus* (HOWARD, 1977; ŞEN; QUILHÓ; PEREIRA, 2010; WITHMORE, 1962) e é denominada de

“enguiado”. Ocorre, principalmente, na primeira e na segunda cortiça produzida da árvore, comprometendo a sua qualidade.

Essas fendas na cortiça são originadas durante o crescimento radial do xilema, do floema e do próprio felema, criando tensões tangenciais que levam ao aparecimento das mesmas, nas camadas periféricas suberosas (FORTES; ROSA; PEREIRA, 2004; NATIVIDADE, 1950). É notada a redução dessas fendas em árvores descortiçadas a partir da terceira vez (ciclo de nove anos de descortiçamento).

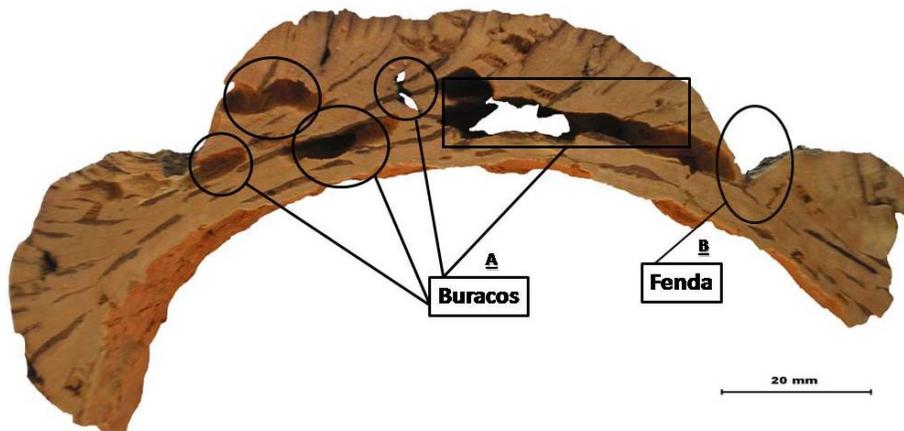


Figura 4 Seção transversal de uma amostra de cortiça com imperfeições evidentes, causadas provavelmente por insetos (A) e fenda originada devido às tensões de crescimento (B)

De acordo com todas as imagens analisadas, não foi possível visualizar as camadas de crescimento anuais na cortiça de *K. coriácea*. Contudo, essas camadas, muitas vezes, são evidentes na cortiça da *Q. suber*, que se apresentam distintas no período de crescimento primaveril, de coloração mais clara e no período de crescimento outonal, de coloração mais escura. A falta de identificação dessas camadas na cortiça de *K. coriácea* deve ser associada às

condições de clima tropical da região, onde as estações climáticas não são bem definidas, como as do clima temperado. Para tanto, a dificuldade para a visualização dessas camadas é maior.

### 3.2 Análise quantitativa de imagem

Diante de alguns defeitos encontrados nas amostras de cortiça foram analisadas a quantidade de tecido suberoso considerado como “puro” e a quantidade de tecido dito como “não suberoso”.

Os resultados para área total da amostra, área total do tecido não suberoso, área total de poros e coeficiente de porosidade para as seis árvores estudadas são apresentados na Tabela 2. A percentagem média para a área total em relação à área total de tecido não suberoso, considerada fundamental para a utilização da cortiça maciça, foi de, aproximadamente, 80% para todas as amostras analisadas, em todas as seções.

O valor da área total de tecido não suberoso seria considerado baixo (20%), caso fosse possível a sua separação no processo de utilização. Contudo, todas as imperfeições, como buracos e tecido de floema incluso, encontram-se distribuídos de forma aleatória na massa de cortiça, comprometendo, assim, sua qualidade. Porém, sempre ressaltando que toda a cortiça analisada neste trabalho foi obtida com a primeira extração na árvore. Cortiças desse tipo na espécie *Q. suber* geralmente apresentam qualidade inferior quando comparadas às cortiças com extrações subsequentes.

Considerando a percentagem do coeficiente de porosidade encontrada na cortiça de *K. coriacea*, esta variou de 0,06% a 15%. Em geral, para a cortiça de *Q. suber*, estes valores variam de 0,3% a 6%, podendo atingir valores até 30%. As cortiças que normalmente excedem 10% de porosidade são excluídas para a produção de rolhas, sendo estas cortiças destinadas à produção de aglomerado

(FORTES; ROSA; PEREIRA, 2004; LIESE; GUNZERODT; PARAMESWARAN, 1983).

Tabela 2 Área total da amostra (cm<sup>2</sup>), área total do tecido não suberoso (cm<sup>2</sup>), área total de poros (cm<sup>2</sup>) e coeficiente de porosidade (%) na seção transversal, radial e tangencial da cortiça para diferentes árvores

Árvore	Seção	Área total do tecido não suberoso (cm <sup>2</sup> )	Área total da amostra (cm <sup>2</sup> )	Área total de poros (cm <sup>2</sup> )	Coeficiente de porosidade (%)
1	Transversal	6,419	29,464	0,032	0,11
	Radial	4,567	25,315	1,953	7,71
	Tangencial	3,364	16,236	1,618	9,96
2	Transversal	6,083	24,289	0,014	0,06
	Radial	5,216	14,431	2,119	14,68
	Tangencial	6,123	23,837	3,302	13,85
3	Transversal	1,907	19,234	2,694	14,01
	Radial	1,448	12,508	1,038	8,30
	Tangencial	2,683	17,216	2,254	13,09
4	Transversal	4,621	24,437	0,423	1,73
	Radial	1,923	12,515	0,408	3,26
	Tangencial	3,719	16,423	0,094	0,57
5	Transversal	7,484	22,610	1,805	7,98
	Radial	5,560	25,638	3,156	12,31
	Tangencial	4,956	18,172	2,613	14,38
6	Transversal	2,236	19,638	0,071	0,36
	Radial	3,547	17,077	1,215	7,11
	Tangencial	3,051	19,366	2,926	15,11

Também referente à porosidade, a presença de lenticelas é um fator determinante. Sua interferência é representativa de acordo com suas dimensões, e não exclusivamente por sua ocorrência em número. Assim, a porosidade expressa dessa forma não traduz, em absoluto, a qualidade da cortiça, uma vez que uma cortiça pode ter numerosos canais lenticulares, mas de diâmetro reduzido e, por isso, pouco prejudiciais, tecnologicamente, embora possam ter

também poucos canais lenticulares, mas de grandes dimensões, situação ainda mais desvalorizante que a anterior e, no entanto, o valor da porosidade pode ser igual em ambos os casos.

Toda essa disposição e abundância dos canais lenticulares são predominantemente de origem genética (NATIVIDADE, 1934). Portanto, recomenda-se, em trabalhos futuros, uma amostragem mais ampla para o percentual do coeficiente de porosidade.

De acordo com os resultados apresentados na Tabela 3, a espessura média da cortiça foi de 1,55 cm para as árvores analisadas. O valor médio mínimo medido, ao longo das peças de cortiça, foi de 0,38 cm e o valor médio máximo de 2,74 cm, ambos para a seção radial. Os valores mínimos podem ser atribuídos às porções das fendas originadas do crescimento radial, acabando por subestimar os valores em espessura.

Essa variação em espessura é decorrente da taxa de crescimento proveniente da atividade meristemática do felogênio que, por sua vez, depende de fatores externos, relacionados com as condições climáticas (temperatura e precipitação) e com fatores internos à própria árvore, relacionados com a estrutura celular.

Para que a cortiça seja processada industrialmente é necessário que se tenha uma considerada espessura. Para tanto, quanto o objetivo é a produção de rolhas, a espécie deve apresentar espessura mínima de 2,7 cm (FORTES; ROSA; PEREIRA, 2004).

Tabela 3 Espessura média da amostra (cm), comprimento médio do tecido não suberoso (mm) e espessura média do tecido não suberoso (cm) na seção transversal e radial da cortiça para diferentes árvores

Árvore	Seção	Espessura média da amostra (cm) *	Comprimento médio do tecido não suberoso (cm)**	Espessura média do tecido não suberoso (cm)
1	Transversal	1,84 (0,68-2,43)	1,24	0,14
	Radial	1,90 (1,78-2,34)	1,10	0,12
2	Transversal	1,63 (0,72-2,32)	1,10	0,11
	Radial	1,18 (0,38-1,69)	1,53	0,14
3	Transversal	1,07 (0,39-2,21)	1,16	0,13
	Radial	1,08 (0,79-1,41)	1,35	0,16
4	Transversal	1,71 (0,78-2,25)	1,41	0,15
	Radial	1,03 (0,70-1,27)	0,99	0,12
5	Transversal	1,66 (0,59-2,43)	0,99	0,10
	Radial	2,22 (1,88-2,74)	1,19	0,15
6	Transversal	1,57 (0,94-2,46)	0,81	0,12
	Radial	1,50 (1,13-1,88)	0,94	0,11
Total médio		1,55	1,15	0,13

\* Entre parênteses: mínimo e máximo, respectivamente

\*\* Relativo às lâminas de floema

Vale ressaltar que, diante de todos esses resultados, as amostras não sofreram nenhum tratamento para aumento de espessura, como é característico para a cortiça das árvores de *Q. suber*, em que se processa o aquecimento industrialmente (cozimento) da cortiça amadia e se obtém ganho em espessura em torno de 15% (FORTES; ROSA; PEREIRA, 2004). O aquecimento melhora as características mecânicas, bem como a forma das peças de cortiça, liberando assim as tensões tangenciais e, ainda, permitindo eliminar fungos, insetos e sujeiras.

A partir do exposto, pode-se dizer que a qualidade da cortiça depende, em grande parte, dos defeitos nela existentes (ROSA et al., 1991) e constitui um dos fatores determinantes para a sua utilização e para definição do seu valor

comercial (BARROS; PEREIRA, 1987). Segundo os mesmos autores, as cortiças de má qualidade não podem ser utilizadas para a fabricação de rolhas e a matéria-prima é destinada à trituração e ao processamento, para posterior produção de aglomerados de cortiça (BARROS; PEREIRA, 1987).

### 3.3 Estrutura macroscópica da casca total

A casca de *K. coriacea* é grossa, com aproximadamente 1,5 cm de espessura, sendo persistente da base até o ápice, levemente macia ao toque e de cor acastanhado-claro. Apresenta-se composta por ritidoma (casca externa-cortiça) e floema (casca interna), claramente distintos na Figura 5.

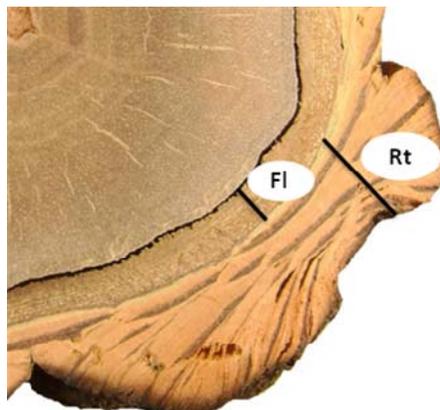


Figura 5 Seção transversal de um disco de *Kilmeyera coriacea*, com destaque para as áreas de floema (Fl) e de ritidoma (Rt)

### 3.4 Análise microscópica

Microscopicamente, é possível destacar o floema não colapsado, o floema colapsado e o ritidoma (Figura 6a).

### 3.4.1 Casca externa

O ritidoma da casca de *K. coriacea* apresenta-se com várias camadas de periderme sequências ramificadas (padrão reticulado) e de percurso irregular, com áreas intercaladas por floema incluso.

As células da periderme são constituídas por felema, felogênio e feloderme. O felema apresenta-se com paredes intensamente lignificadas, com espessamento em U (Figura 6b) e com células alongadas radialmente e sem espaços vazios entre si. Por vezes, apresentam-se preenchidas com compostos fenólicos. Também é possível verificar intensas áreas de floema incluídas entre as células de periderme (Figura 6c).

De acordo com Alonso e Machado (2008), espécies tropicais apresentam espessamento das células de felema com intensa lignificação. Entretanto, na espécie de *Q. suber*, essa característica não é observada (PEREIRA; ROSA; FORTES, 1987).

Microscopicamente, foi possível detectar, na camada de felema, anéis de crescimento com delimitação para as células de início de estação, com oito a doze camadas e, para as células de fim de estação, com cinco a seis camadas. (Figura 6d). As células de início de estação são maiores e têm paredes mais finas, quando comparadas com as células de fim de estação, em que apresentam paredes mais espessas. Essa característica foi verificada também para outras espécies, como na periderme de *Q. suber* (PEREIRA; ROSA; FORTES, 1987) e de *Q. cerris* (ŞEN; QUILHÓ; PEREIRA, 2010).

Em análise, o felogênio da *K. coriacea* é formado por células irregulares, achatadas radialmente e alongadas na seção transversal, com paredes delgadas e de difícil distinção da periderme. A maioria das divisões das células do felogênio é de origem periclinal, mas algumas divisões anticlinais também

podem ser observadas. Assim, aumenta o número de células nas linhas radiais e contribui para manter o crescimento em diâmetro (Figura 6e).

Para a espécie de *Q. suber*, o felogênio é constituído por uma única camada de células do mesmo tipo e que, também por divisões periclinais sucessivas, origina para o interior o tecido denominado feloderme e, para o exterior, o felema, vulgarmente designado por cortiça (GRAÇA; PEREIRA, 1993; NATIVIDADE, 1950).

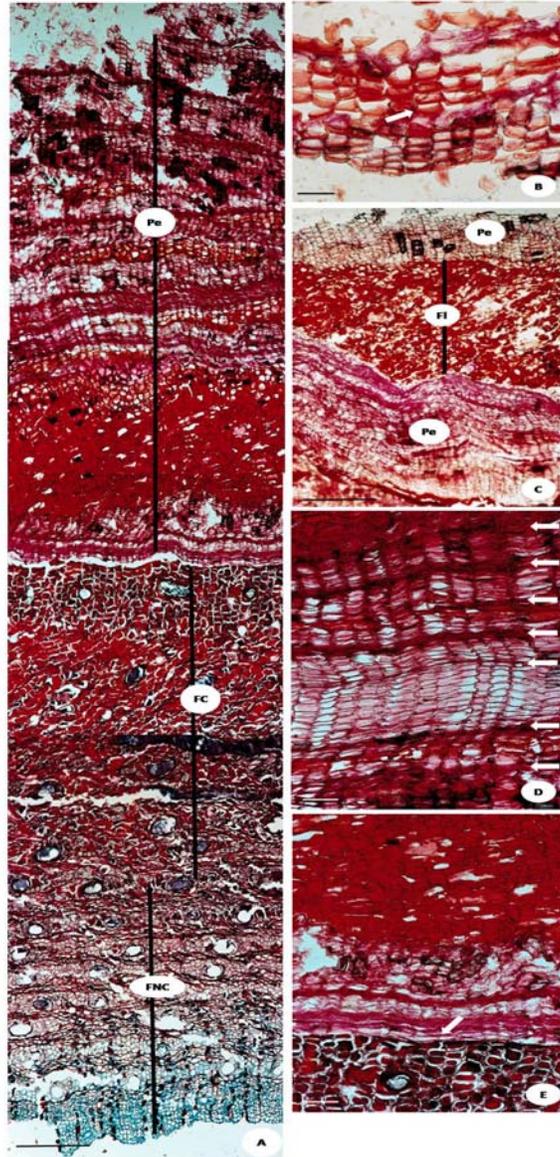


Figura 6 Seção transversal da casca de *Kielmeyera coriacea*. A. Destaque para as áreas de floema não colapsado (FNC), floema colapsado (FC) e de peridermes sequenciais (Pe); B. Camadas de felema com paredes lignificadas e espessamento em U (seta); C. Alternância de áreas de floema incluído (FI) e células de periderme (Pe); D. Felema com anéis de crescimento (setas); E. Diferenciação das células de felogênio. Escalas: A, C, D, E = 200  $\mu$ m; B = 100  $\mu$ m

A feloderme da *K. coriacea* é composta por duas ou três camadas de células dispostas radialmente na mesma fileira das células do felema.

Em todas as amostras analisadas microscopicamente, não foi possível observar a presença de canais lenticulares. Uma vez que, em análise macroscópica de imagem, foi possível a visualização destes canais, pode-se deduzir que estes não são numerosos, contudo, são grandes em dimensões.

A rara ocorrência dos canais lenticulares na periderme de *Q. cerris* foi observada por Şen, Quilhó e Pereira (2010), que afirmaram que as camadas de cortiça dessa espécie não constituem um cilindro uniforme em volta do tronco da árvore, explicando a inexistência de um sistema complexo de canais lenticulares para as trocas gasosas. Tais considerações podem explicar os resultados encontrados neste trabalho para a cortiça da espécie *K. coriacea*.

Entretanto, tais resultados diferem do que normalmente é encontrado para a espécie *Q. suber*, em que há ocorrência de um maior número de canais lenticulares e em menores dimensões (VIEIRA, 2009).

### **3.4.2 Casca interna**

#### **3.4.2.1 Floema não colapsado**

O floema não colapsado, ou floema interno, apresenta-se com organização uniforme com alternância tangencial em faixas entre as células de parênquima, elementos de tubo crivado, células companheiras e por feixes fibrosos (Figura 7a).

As fibras floemáticas estão dispostas paralelamente ao câmbio vascular e formadas por feixes de poucas células ou, mais tipicamente, em grupos tangenciais estreitos, formando curtas faixas tangenciais contínuas. Esses feixes

aparecem entre as células de parênquima axial e elementos de tubo crivados e, por vezes, são interrompidos por um grupo de esclereídes.

De acordo com Şen, Quilhó e Pereira (2010), características similares também são observadas no floema não colapsado da casca de *Q. Cerris*. Quilhó e Sardinha (1995), analisando o floema de *Eucalyptus globulus*, descreveram que os feixes de fibras são dispostos alternadamente entre camadas de células de parênquima axial e elementos de tubos crivados, similar à descrição realizada neste trabalho para a *K. coriacea*. Para Barlow e Luck (2006), a organização em faixas tangenciais nos diferentes tipos de células no interior do floema demonstra a sincronia do desenvolvimento celular.

O tecido condutor é formado por tubos crivados, compostos por elementos de tubos crivados solitários, dispostos em faixas tangenciais mais ou menos contínuas. Em seção transversal, apresentam forma circular ovalada. Os elementos de tubos crivados, em seção tangencial, apresentam placas crivadas compostas do tipo escalariforme

O parênquima axial também é disposto em faixas tangenciais mais ou menos contínuas, envolvendo, em parte, os tubos crivados e os feixes fibrosos. Apresentam-se abundantes e com grande quantidade de conteúdo orgânico (amido), bem como cristais prismáticos de oxalato de cálcio (Figura 7b).

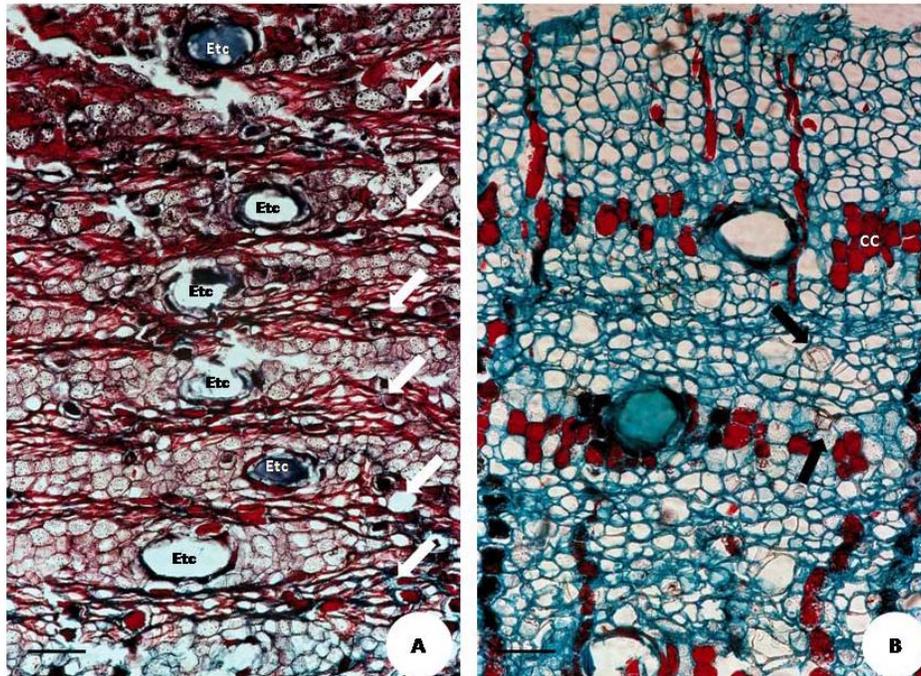


Figura 7 Seção transversal do floema de *Kielmeyera coriacea*. A. Elementos de tubos crivosos (Etc) e faixas tangenciais de fibra (setas); B. Cristais prismáticos (setas) e presença de células com conteúdo (cc). Escalas: A e B = 200  $\mu$ m

A presença de cristais de oxalato de cálcio na casca de algumas espécies é justificada por Franceschi e Horner (1980) e apresentada por Fabrowski (2003), em trabalho publicado sobre a casca de *Eucalyptus smithii*. Esses autores consideram os cristais como um subproduto do metabolismo. Além de estarem associados à defesa da planta contra a herbivoria, servem como reserva de nutrientes de cálcio para a planta.

De acordo com Marcati e Angyalossy (2005), a ocorrência desses cristais de oxalato de cálcio está associada à intensidade da atividade cambial, que é dependente do ambiente e da forma de desenvolvimento da planta.

### 3.4.2.2 Floema colapsado

Na parte interna da periderme inicia-se o floema colapsado (Figura 8a) ou floema externo, composto por células parenquimáticas, elementos de tubo crivado, fibras e esclereídes. O floema colapsado é caracterizado pelo colapso de tubos crivados, a expansão das células do parênquima e a presença de células esclerificadas e que apresentam um arranjo de tecidos desorganizados. Essas características são similares às descritas para várias espécies de *Quercus* spp., conforme trabalhos de Howard (1977), Şen, Quilhó e Pereira (2010) e Trockenbrodt (1991).

As células parenquimáticas apresentam contornos irregulares por causa de expansões em várias direções, com dimensões maiores quando comparadas com as células adjacentes (Figura 8c). Algumas de suas células são preenchidas com conteúdo, provavelmente compostos fenólicos e amido (Figura 8b). As fibras ainda estão presentes, no entanto, com paredes mais grossas e lignificadas.

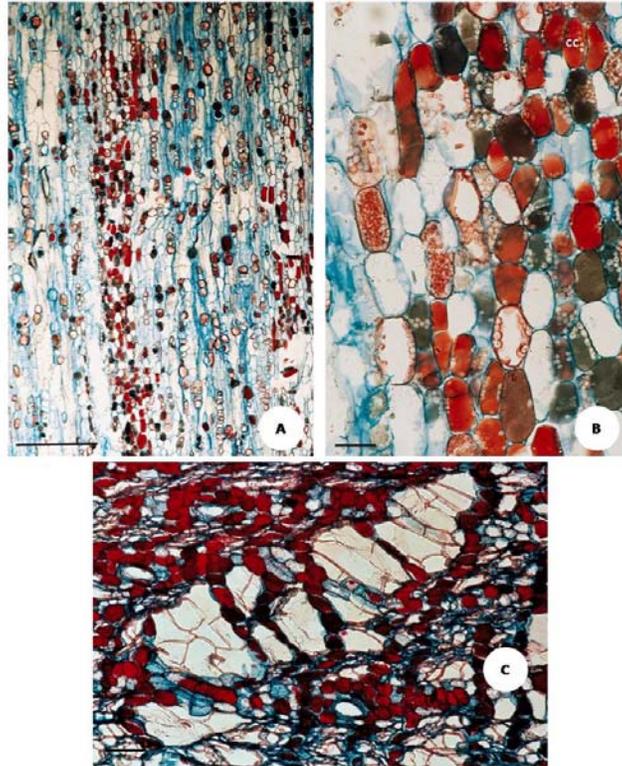


Figura 8 Seção tangencial (A e B) e seção transversal (C) do floema de *Kielmeyera coriacea*. A. Início do floema colapsado; B. Células preenchidas com conteúdo; C. Expansões de células de parênquima. Escalas: A e C = 200  $\mu\text{m}$ , B = 100  $\mu\text{m}$

As células dos raios sofrem dilatação e apresentam um desvio no trajeto, nas regiões onde aparecem as células parenquimáticas expandidas. Angyalossy-Alfonso (1987) também verificou desvios semelhantes no parênquima radial, estudando as diversas espécies de *Eucalyptus*. Uma leve alteração no trajeto dos raios também foi observada por Şen, Quilhó e Pereira (2010). Esses autores relatam que essa alteração é acompanhada por tecidos de dilatação com expansão axial e radial, e por células de parênquima esclerenquificadas. Todas

essas modificações podem ser atribuídas, conforme Quilhó, Pereira e Richter (1999), ao crescimento radial do tronco.

As esclereídes dispõem-se isoladamente ou em grupos entre as células floemáticas e são distribuídas de forma difusa do início do floema colapsado até a região próxima à periderme. Em seção transversal, apresentam considerável dimensão e parede espessa polilamelada (Figura 9). A presença de esclereídes no floema de *Q. suber* foi mencionada como uma barreira mecânica contra o colapso das células (QUILHÓ; LOPES; PEREIRA, 2003). Machado et al. (2005) também fizeram a mesma correlação, estudando a casca da *Styrax Camporum*, espécie tipicamente tropical.

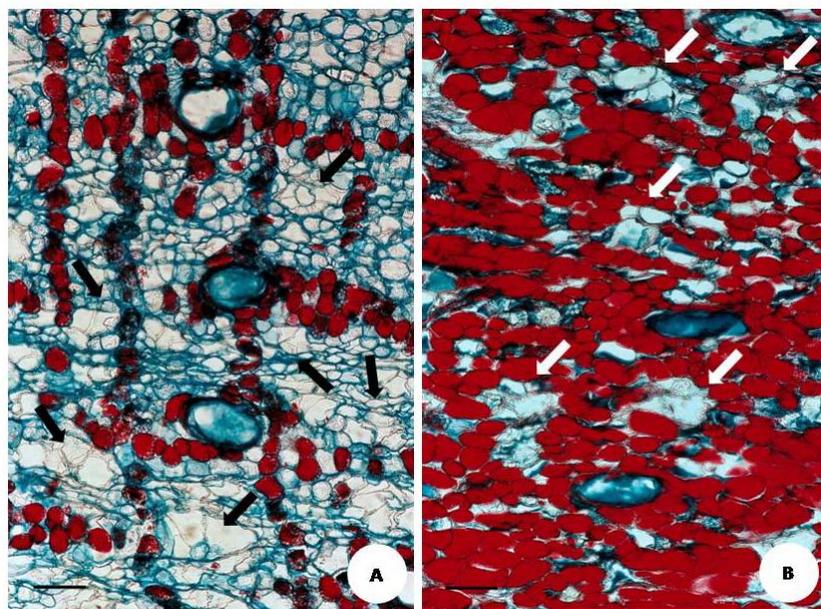


Figura 9 Seção transversal do floema de *Kielmeyera coriacea*. A e B Esclereídes isoladas e em grupos, entre as células com conteúdo (setas). Escalas: A e B = 200  $\mu$ m

De acordo com vários autores (ANGYALOSSY-ALFONSO, 1987; QUILHÓ; PEREIRA; RICHTER, 1999; QUILHÓ; SARDINHA, 1995) as modificações (aumento ou proliferação), das dimensões das células parenquimáticas axiais e/ou radiais ocorrem devido à necessidade que a casca apresenta de acompanhar o aumento da circunferência do tronco.

Tecnologicamente, as esclereídes apresentam característica friável, podendo causar problemas quando se processa a casca industrialmente (ROTH, 1981).

#### **3.4.2.3 Elementos dissociados**

As fibras do floema apresentam, em sua maioria, apêndices (Figura 10a); ocasionalmente aparecem com aspecto denteado e/ou bifurcadas (Figura 10b), com abundantes pontuações. Ainda, nos elementos dissociados, podem-se observar os detalhes dos elementos de tubo crivoso com placas de perfuração e células de parênquima começando a sua formação (Figura 10c).

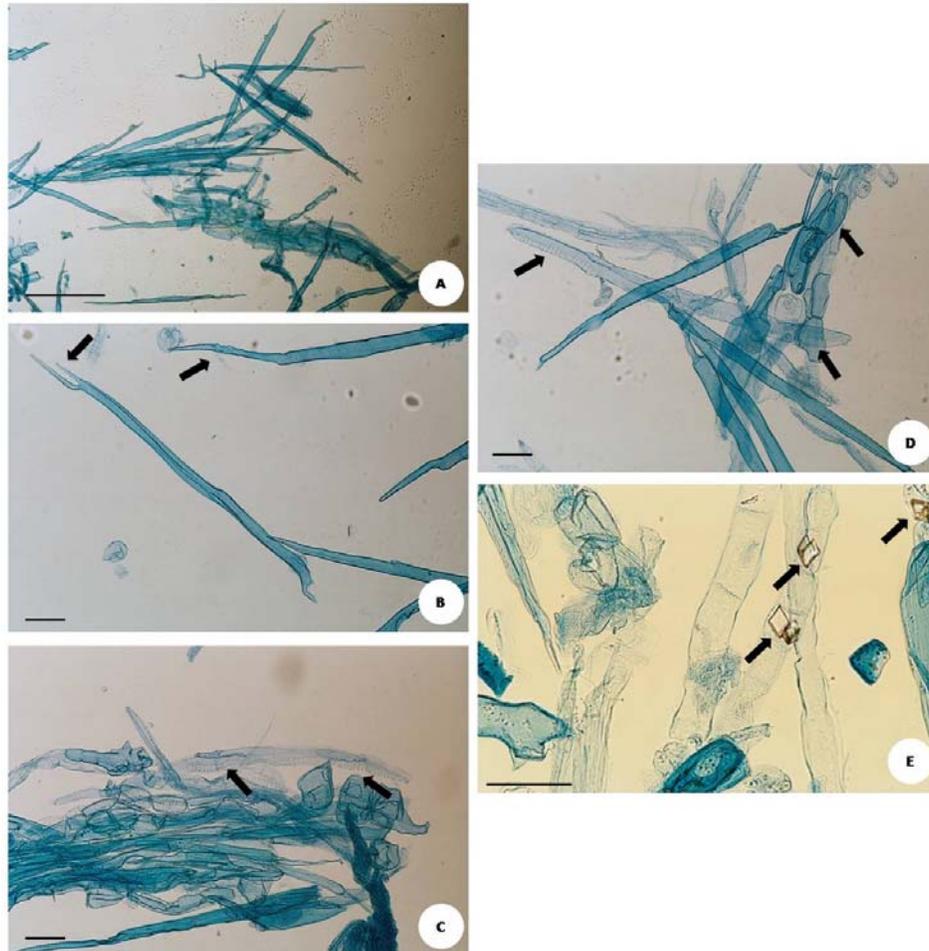


Figura 10 Elementos dissociados da casca de *Kielmeyera coriacea*. Aspecto geral das fibras, em sua maioria com a presença de apêndices. B. Fibra bifurcada com abundantes pontuações. C. Elementos de tubo crivado com placas crivadas; C. Células de parênquima começando a sua formação; D. Parênquima axial com extremidades mais arredondadas, elementos de tubo crivado com placas terminais e fibras do floema; E. Cristais prismáticos. Escalas: A, B, C, D e E = 200  $\mu\text{m}$

Na Figura 10d, observa-se a forma retangular do parênquima axial com extremidades mais arredondadas. É possível observar também os contornos das células dilatadas, elementos de tubo crivado com placas terminais e fibras do floema.

A presença de cristais prismáticos foi verificada no macerado (Figura 10e) e ocorrem em câmaras de células de parênquima, também encontrado em células de floema de *Q. cerris* (ŞEN; QUILHÓ; PEREIRA, 2010) e de *Q. suber* (HOWARD, 1977; TROCKENBRODT, 1991).

#### 4 CONCLUSÃO

De acordo com a análise de imagem para a cortiça da *K. coriacea*, foi possível verificar que a estrutura da cortiça não é muito uniforme, apresentando grandes áreas de tecido incluído de floema. Na análise de imagem, as amostras de cortiça apresentaram alguns defeitos que são considerados relevantes para a sua qualidade.

Na maioria das amostras foi possível visualizar linhas acastanhado-escuras ao longo das seções transversais e radiais, nomeadas como tecido de floema incluso. Morfologicamente, a casca de *K. coriacea* apresenta, em média, 1,5 cm de espessura, de cor marrom-acastanhada. Anatomicamente, apresenta uma transição gradual entre o floema colapsado e o floema não colapsado. A espécie apresenta células de floema secundário, dispostas em faixas tangenciais, alternando células de parênquima axial e fibras. As fibras apresentam-se dispostas em linhas tangenciais, são bifurcadas e/ou denteadas e apresentam pontoações. As esclereídes estão presentes, junto com os cristais de oxalato. Amido e taninos e resinas são frequentes no parênquima.

Com as análises anatômicas da casca, foi possível perceber que essas áreas são intensamente lignificadas, o que, em parte, compromete o processamento da cortiça para fins industriais.

Contudo, a estrutura apresenta grandes áreas de cortiça com qualidade e que pode ser ressaltada com um estudo genético aprofundado, selecionando árvores que apresentem maior quantidade de tecido suberoso.

Além disso, os estudos também permitiram contribuir com informações acerca das características anatômicas da *K. coriacea*, uma vez que os estudos ainda são escassos.

## REFERÊNCIAS

ADRADOS, J. R. G.; PEREIRA, H. Classification of defects in cork planks using image analysis. **Wood Science and Technology**, New York, v. 30, n. 3, p. 207-215, June 1996.

ALMEIDA, A.; TOMÉ, M. Sistema para a predição do crescimento da cortiça. **Silva Lusitana**, Lisboa, v. 16, n. 1, p. 83-95, 2008.

ALMEIDA, G. Cortiças. **Revista Florestal**, Rio de Janeiro, v. 8, p. 10-24, 1946.

ALONSO, A. A.; MACHADO, S. R. Stem protective tissue in *Erythroxylum tortuosum* (Erythroxylaceae): a fire tolerant species from Cerrado. **IAWA Journal**, Leiden, v. 29, n. 1, p. 69-77, Jan. 2008.

ANGYALOSSY-ALFONSO, V. Caracterização anatômica da madeira e casca das principais espécies de *Eucalyptus* do estado de São Paulo. **Silvicultura**, Rio de Janeiro, v. 28, p. 720-725, fev. 1983.

\_\_\_\_\_. **Caracterização anatômica do lenho e da casca das principais espécies de *Eucalyptus* L'Hérit, cultivadas no Brasil**. 1987. 188 f. Tese (Doutorado em Botânica) - Universidade de São Paulo, São Paulo, 1987.

ANGYALOSSY-ALFONSO, V.; RICHTER, H. G. Wood and bark anatomy of *Buchenavia* Eichl. (Combretaceae). **IAWA Bulletin**, Leiden, v. 12, n. 2, p. 123-141, Jan. 1991.

ARELLO, E. F. **Aspectos gerais do comportamento “in vitro” de *Kielmeyera coriacea* Martius (Guttiferae): produção e enraizamento de brotações**. 1991. 148 f. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 1991.

BARLOW, P. W.; LUCK, J. Patterned cell development in the secondary phloem of dicotyledonous trees: a review and Hypothesis. **Journal of Plant Research**, Tokyo, v. 119, n. 4, p. 271-291, July 2006.

BARROS, L.; PEREIRA, H. Influência do operador na classificação manual da cortiça por classes de qualidade. **Boletim do Instituto dos Produtos Florestais - Cortiça**, Lisboa, n. 582, p. 103-105, 1987.

BERLYN, G. P.; MIKSCHE, J. P. **Botanical microtechnique and cytochemistry**. Iowa: State University, 1976. 326 p.

BATMANIAN, G. J.; HARIDASAN, M. Primary production and accumulation of nutrients by the ground layer community of Cerrado vegetation of central Brazil. **Plant and Soil**, The Hague, v. 88, n. 3, p. 437-440, Oct. 1985.

DIONELLO, S. B.; BASTA, F. Informações sobre os caracteres quantitativos e qualitativos dos frutos e sementes de *Kielmeyera coriacea* Mart. **Brasil Florestal**, Rio de Janeiro, v. 10, n. 44, p. 75-84, out. 1980.

FABROWSKII, 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./fev. 2003.

FERREIRA, A.; LOPES, F.; PEREIRA, H. Variabilidade da produção e qualidade da cortiça na região de Alcácer do Sal. In: PEREIRA, H. (Ed.). **Cork oak and cork**. Lisboa: Centro de Estudos Florestais, 1998. p. 70-78.

FORTES, M. A.; ROSA, M. E.; PEREIRA, H. **A cortiça**. Lisboa: Instituto Superior de Agronomia, 2004. 259 p.

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

GRAÇA, J.; PEREIRA, H. **Formação e desenvolvimento da primeira periderme no Sobreiro**. Lisboa: Instituto Superior de Agronomia, 1993. 28 p.

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

INTERNATIONAL ASSOCIATION OF WOOD ANATOMISTS. 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.

LIESE, W.; GUNZERODT, H.; PARAMESWARAN, N. **Alterações biológicas da qualidade da cortiça que afectam a sua utilização**. Lisboa: Instituto dos Produtos Florestais, 1983. 299 p.

MACEDO, J. **Estudo sobre a metodologia de amostragem na árvore e a classificação de cortiça**. 2001. 145 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia dos Materiais Lenhocelulósicos) - Universidade Técnica de Lisboa, Lisboa, 2001.

MACEDO, J.; LOPES, F.; PEREIRA, H. Influência do método de amostragem na avaliação da qualidade da cortiça no mato. In: PEREIRA, H. et al. (Ed.). **Cork oak and cork**. Lisboa: Centro de Estudos Florestais, 1998. p. 93-98.

MACHADO, S. R. et al. Comparative bark anatomy of root and stem in *Styrax camporum* (Styracaceae). **IAWA Journal**, Leiden, v. 26, n. 4, p. 477-487, 2005.

MARCATI, C. R.; ANGYALOSSY, V. Seasonal presence of acicular crystals in the cambial zone of *Citharexylum myrianthum* (Verbenaceae). **IAWA Journal**, Leiden, v. 26, n. 1, p. 93-98, 2005.

MARCHIORI, J. N. C. **Estudo anatômico do xilema secundário de algumas espécies dos gêneros *Acacia* e *Mimosa* no Estado do Rio Grande do Sul**. 1980. 186 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 1980.

MIRANDA, H. S. M.; SATO, M. N. Efeitos do fogo na vegetação lenhosa do Cerrado. In: SCASRIOT, A.; SOUSA-SILVA, J. C.; FELFILI, J. M. (Org.). **Cerrado: ecologia, biodiversidade e conservação**. Brasília: Ministério do Meio Ambiente, 2005. p. 93-105.

MOREIRA, I. **Histologia vegetal**. Lisboa: Didáctica, 1980. 152 p.

NATIVIDADE, J. V. **Cortiças: contribuição para o estudo do melhoramento da qualidade**. Lisboa: Serviços Florestais e Aquícolas, 1934. 246 p.

\_\_\_\_\_. **Subericultura**. Lisboa: Ministério da Economia, 1950. 387 p.

PEREIRA, H. O calibre e a porosidade como parâmetros da qualidade tecnológica da cortiça em prancha. **Brasil Florestal**, Rio de Janeiro, v. 2, n. 2, p. 46-50, jun. 1998.

PEREIRA, H.; LOPES, F.; GRAÇA, J. The evaluation of the quality of cork planks by image analysis. **Holzforschung**, Berlin, v. 50, n. 2, p. 111-115, Feb. 1996.

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. 213-217, 1987.

QUILHÓ, T.; LOPES, F.; PEREIRA, H. The effect of tree shelter on the stem anatomy of cork oak (*Quercus suber*) plants. **IAWA Journal**, Leiden, v. 24, n. 4, p. 385-395, 2003.

QUILHÓ, T.; PEREIRA, H.; RICHTER, H. G. Variability of bark structure in plantation-grown *Eucalyptus globulus*. **IAWA Journal**, Leiden, v. 20, n. 2, p. 171-180, 1999.

QUILHÓ, T.; SARDINHA, R. A. Bark anatomy of *Eucalyptus globulus* Labill. (Myrtaceae). **Silva Lusitana**, Lisboa, v. 3, n. 2, p. 173-189, 1995.

RICHTER, H. G. Wood and bark anatomy of Lauraceae III: apidostemon Rohwer & Richter. **IAWA Bulletin**, Leiden, v. 11, n. 1, p. 47-56, Feb. 1990.

RICHTER, H. G. et al. **Padronização de critérios para a descrição anatômica da casca**: lista de características e glossário de termos. São Paulo: Instituto Florestal, 1996. 25 p. (Série Registros, 16).

RIZZINI, C. T.; HERING, E. P. **Preliminares acerca das formações vegetais e reflorestamento no Brasil Central**. Rio de Janeiro: Secretaria de Agricultura, 1962. 40 p.

RIZZINI, C. T.; MORS, W. B. **Botânica econômica brasileira**. São Paulo: EPU, 1976. 207 p.

ROSA, M. E. et al. Algumas características da cortiça “verde”. **Actas dos Materiais**, Lisboa, v. 91, n. 2, p. 737-746, 1991.

ROTH, I. **Structural patterns of tropical barks**. Berlin: G. Borntraeger, 1981. 609 p.

ŞEN, A.; QUILHÓ, T.; PEREIRA, H. Bark anatomy of *Quercus cerris* L. var. *cerris* from Turkey. **Turkish Journal of Botany**, Ankara, v. 35, n. 1, p. 45-55, June 2010.

SOUZA, F. P. **Tecnologia de produtos florestais**. Rio de Janeiro: Nacional, 1974. 409 p.

TROCKENBROD, M. Qualitative structural changes during bark development in *Quercus robur*, *Ulmus glabra*, *Populus tremula* and *Betula pendula*. **IAWA Bulletin**, Leiden, v. 12, n. 1, p. 5-22, Feb. 1991.

VIEIRA, H. D. **Análise de características da cortiça amadia relevantes para a sua qualidade industrial.** 2009. 51 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal e dos Recursos Naturais) - Universidade Técnica de Lisboa, Lisboa, 2009.

WITHMORE, T. C. Studies in systematic bark morphology: IV., the bark of beech, oak and sweet chestnut. **New Phytologist**, Cambridge, v. 62, p. 161-169, 1962.

## CAPÍTULO 4

### Caracterização química da cortiça de *Kielmeyera coriacea* Mart.

(pau-santo)

#### RESUMO

Este trabalho foi realizado com o objetivo de determinar a composição química quantitativa total da cortiça de *Kielmeyera coriacea* em relação a extrativos, suberina, lignina, polissacarídeos e cinzas. Analisaram-se também qualitativamente os monômeros da suberina e a composição dos extrativos em diclorometano e etanol. As amostras para análise quantitativa foram coletadas de árvores de *K. coriacea*, provenientes de povoamentos nativos, localizados em Luminárias, no estado de Minas Gerais, Brasil. Foram selecionadas duas árvores no campo, com idades aproximadas de 16 e 26 anos, e estas foram seccionadas no sentido longitudinal a 0%, 25%, 50%, 75% e 100% de altura. Somente para análise qualitativa dos extrativos e da suberina foram utilizados pedaços de cortiça pura, provenientes de outras duas árvores da mesma região, com idades indeterminadas. A cortiça de *K. coriacea* apresentou-se com 15,3% a 23,0% de extrativos, 18,4% a 24,7% de suberina, 43,5% a 55,2% de lignina, 10,5% a 16,6% de polissacarídeos e de 1,2% a 3,5% de cinzas. A composição dos monossacarídeos apresenta, em maioria, a predominância de glucose (58,9% a 64,0%). O monômero não celulósico encontrado em maior proporção foi a xilose, de 21,0% a 26,0%. A arabinose e a galactose apresentam-se com 6,0% a 9,5%. Os extrativos em diclorometano do tecido suberoso da cortiça apresentam-se com predominância de compostos como álcoois e ácidos graxos de cadeia longa. Em sua minoria, apresentam compostos fenólicos. Os extratos solúveis em etanol do tecido suberoso são, em sua maioria, identificados como glicerol e açúcares, este último constituindo mais de 50% dos compostos detectados. A composição monomérica da suberina permite a identificação dos monômeros de glicerol, compostos fenólicos, álcoois graxos e ácidos de cadeia longa. A suberina é composta, principalmente, por hidroxiácidos, que compõem cerca de 54,0% de todos os monômeros de cadeia longa. O padrão base de composição da suberina da cortiça de *K. coriacea* é similar aos das suberinas estudadas em outras plantas, sobretudo a de *Q. suber*.

Palavras-chave: Suberina. Extrativos. Polissacarídeos. Cinzas. Cortiça.

## ABSTRACT

The aim of this study was to determine the total quantitative chemical composition of cork from *Kielmeyera coriacea* regarding extractives, suberin, lignin, polysaccharides and ash. And qualitatively analyze the monomers of suberin and the composition of extractives in dichloromethane and ethanol. The samples for quantitative analysis were collected from *K. coriacea* trees, from native stands located in Luminárias, Minas Gerais State, Brazil. Two trees were selected randomly in the field, with approximate ages of 16 and 26 years, and were sectioned longitudinally (bottom-up) at 0%, 25%, 50%, 75% and 100% of total height. For the qualitative analysis of the extractives and suberin, fragments of pure cork from two other trees from the same region and with unknown age were used. The cork of *K. coriacea* presents 15.3 to 23.0% of extractives, 18.4 to 24.7% of suberin, 43.5 to 55.2% of lignin, 10.5 to 16.6% of polysaccharide, and 1.2 to 3.5% of ash. The monosaccharides composition presented primarily glucose (58.9 to 64%). The non-cellulosic monomer mainly found was the xylose, ranging from 21 to 26%. The arabinose and galactose ratios ranged from 6.0 to 9.5%. The dichloromethane extractives of the cork tissue show a predominance of compounds such as alcohols and long chain fatty acids. In its minority presents phenolic compounds. The ethanol-soluble extracts of cork tissue are mostly identified as glycerol and sugars, the latter comprising more than 50% of the compounds detected. The monomeric composition of the suberin allows the recognition of monomers of glycerol, phenolic compounds, alcohols, and long chain fatty acids. The suberin is composed primarily of hydroxy acids that comprise nearly 54% of all long-chain monomers. The basic pattern of the composition of suberin from *K. coriacea* cork is similar to the suberin studied in other plants, especially of *Q. suber*.

Keywords: Suberin. Extractives. Polysaccharides. Ash. Cork.

## 1 INTRODUÇÃO

A *Kielmeyera coriacea* Mart., espécie do Cerrado brasileiro, com o nome popular de pau-santo, apresenta potencial para a produção de cortiça (RIZZINI; MORS, 1995), mas é pouco explorada, cientificamente.

A espécie já foi investigada pelos pesquisadores norte-americanos Williams e Erlanson (1959), quando, durante a II Guerra Mundial, ocorreu a escassez de inúmeros produtos importados, sobretudo da cortiça, e a cortiça de *Quercus suber* (sobreiro) foi substituída, nesse período, no Brasil, pela de *K. coriacea*. Mais tarde, Guillemonat e Triaca (1967), pesquisadores franceses, realizaram estudos preliminares sobre a constituição química da cortiça de *K. coriacea* e, até então, as pesquisas não seguiram adiante.

Atualmente, grande parte da cortiça utilizada no Brasil é originada da espécie *Q. suber*, sendo importada de países como Espanha e Portugal, sendo este último o maior produtor mundial (FORTES; ROSA; PEREIRA, 2004).

A cortiça é um tecido vegetal designado por felema ou súber e faz parte da periderme que se desenvolve na planta como tecido de proteção e de cicatrização (FORTES; ROSA; PEREIRA, 2004; GLÓRIA; GUERREIRO, 2003; GRAÇA; PEREIRA, 1990). A estrutura da parede das células suberificadas da cortiça apresenta sua constituição química diferente da madeira, devido à presença de suberina e extrativos cerosos (MIRANDA et al., 1998). Quimicamente, o tecido suberoso é constituído por componentes estruturais (suberina, lignina e polissacarídeos), em média de 85% da sua massa seca, e os 15% restantes são constituintes não-estruturais (extrativos) da parede celular (GRAÇA; PEREIRA, 2000a).

A suberina é um biopolímero e tem a função de proteção, atuando como isolante (ESAU, 1977), podendo representar até 50% na composição química da parede das células da cortiça (PEREIRA, 1988a). Apresenta ligação éster entre

um grupo ácido carboxílico e um grupo álcool, ligando os monômeros entre si (GRAÇA; PEREIRA, 2000a). A composição monomérica da suberina varia conforme a espécie, contudo, em sua maioria, é representada pelos monômeros alifáticos  $\alpha,\omega$ -diácidos de cadeia longa, os  $\omega$ -hidroxiácidos de cadeia longa e o glicerol (GRAÇA; PEREIRA, 1998). Inclui também o ácido ferúlico e, eventualmente, outros compostos fenólicos (GRAÇA; PEREIRA, 1997, 1998, 2000a).

A presença de suberina foi identificada em várias espécies, como *Quercus suber* (PEREIRA, 1981, 1988a), *Pseudotsuga menziessi* (GRAÇA; PEREIRA, 1999; HERGERT; KURTH, 1952; KRAHMER; WELLONS, 1973; LITVAY; KHAHMER, 1977), *Betula pendula* (EKMAN, 1983; PINTO et al., 2009), *Solanum tuberosum* (GRAÇA; PEREIRA, 2000b), *Calotropis procera* (PEREIRA, 1988b) e *Quercus cerris* (□EN et al., 2010), dentre outras.

Os polissacarídeos (celulose e hemicelulose) e a lignina da cortiça são quimicamente similares às fibras da madeira (SJÖSTRÖM, 1991). Para Fortes, Rosa e Pereira (2004), o estudo detalhado da lignina da cortiça, ao contrário do que acontece com a madeira, é bastante recente.

Já os compostos orgânicos não-estruturais da parede celular são os chamados extrativos e são representados, principalmente, por taninos, óleos voláteis (em pequena quantidade na cortiça), ceras, graxas, proteínas, amido, ácidos e álcoois de elevado peso molecular (PEREIRA, 1981). A cortiça apresenta também teores de compostos minerais, expressos como cinzas ou constituintes inorgânicos (FORTES; ROSA; PEREIRA, 2004).

Sabe-se que a caracterização química das espécies produtoras de cortiça é importante, considerando que ela afeta diretamente as propriedades físicas e mecânicas da estrutura celular (GRAÇA, 2000). Assim, o estudo da composição química da *K. coriacea* pode esclarecer o potencial de utilização e possíveis

adequações, como a produção de rolhas comerciais aglomeradas e painéis aglomerados.

Portanto, este trabalho foi realizado com o objetivo de determinar a composição química quantitativa total da cortiça de *K. coriacea* em relação a suberina, extrativos, lignina, polissacarídeos e cinzas. Analisaram-se também, qualitativamente, os monômeros da suberina e a composição dos extrativos em diclorometano e etanol.

## **2 MATERIAL E MÉTODOS**

A caracterização química da cortiça de *K. coriacea* (Figura 1) foi realizada no Laboratório de Tecnologia dos Produtos Florestais, do Instituto Superior de Agronomia (ISA), da Universidade Técnica de Lisboa, em Lisboa, Portugal.

### **2.2 Caracterização e amostragem**

#### **2.2.1 Análise química quantitativa total**

As amostras para análise quantitativa dos extrativos, suberina, lignina, polissacarídeos e cinzas foram coletadas de árvores de *K. coriacea* (pau-santo), provenientes de povoamentos nativos, localizados em Luminárias, no estado de Minas Gerais, Brasil. Foram selecionadas duas árvores, de forma aleatória, no campo, com idades aproximadas de 16 e 26 anos, e estas foram seccionadas no sentido longitudinal (base-topo) a 0%, 25%, 50%, 75% e 100% de altura.

A cortiça foi separada do disco de madeira com o auxílio de um formão e, então, triturada em moinho ultracentrífugo Retsch ZM 100, com malhas de saída de 2 mm e, posteriormente, repassadas em malhas de saída de 1 mm. O material triturado obtido após passagem em cada uma das malhas foi separado na fração de 40-60 mesh, utilizando uma peneira vibratória Retsch.

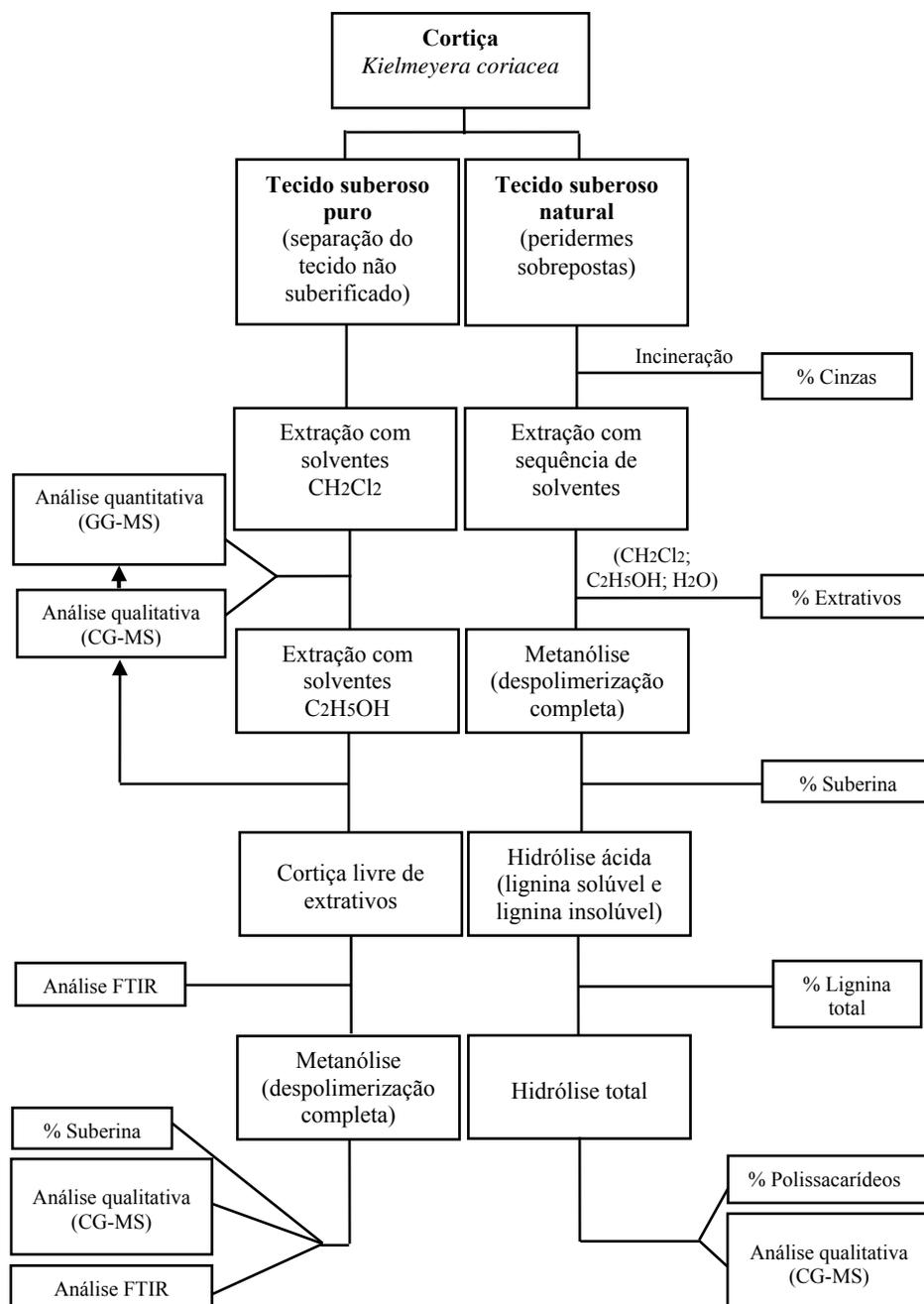


Figura 1 Esquema de análise da cortiça de árvores de *Kiemeyera coriacea* (pausanto) para a obtenção da composição química global

### **2.1.2 Análise da composição química dos extrativos e da suberina**

Somente para análise qualitativa dos extrativos (em diclorometano e etanol) e da suberina foram utilizados pedaços de cortiça pura, com poucos milímetros, que foi separada, com o auxílio de um estilete, das áreas que apresentavam presença de floema incluso e de tecido desagregado.

Apenas o que consistiu em tecido suberizado puro foi utilizado para trituração e posterior análise. A trituração foi realizada conforme descrito no item 2.1.1.

## **2.2 Análise química**

### **2.2.1 Quantificação dos extrativos**

O teor de extrativos foi determinado por extrações sucessivas com solventes de polaridade crescente, em extrator do tipo Soxhlet, com diclorometano (12 horas), etanol (12 horas) e água (24 horas). Os solventes foram recuperados e o conteúdo de extrativos determinados a partir da massa do resíduo, após secagem em estufa, a 45°C e, posteriormente, a 105°C.

### **2.2.2 Análise dos extrativos**

Foram utilizadas alíquotas dos extratos em diclorometano (5 ml) e estas foram filtradas por meio de membranas Anatóp 10 (dimensões dos poros 0,2 µm, Merck). O filtrado foi evaporado sob fluxo de N<sub>2</sub> e seco sob vácuo, à temperatura ambiente. Os resíduos foram dissolvidos em 250 µm de piridina por mg de massa seca e os compostos contendo grupos hidroxila e carboxílicos foram trimetilsilados em trimetilsilil (TMS), éteres e ésteres, respectivamente,

pela adição de 250  $\mu\text{m}$  de bis (trimetilsilil) trifluoroacetamida (BSTFA). A mistura foi aquecida a 60°C, durante 30 minutos, em estufa. Os extratos derivatizados foram imediatamente analisados por cromatografia gasosa acoplada à espectrometria de massa (CG-MS).

A solução derivatizada foi injetada no CG-MS (Agilent 5973 MSD) com as seguintes condições cromatográficas: coluna DB5-MS (60 m; 0,25 mm; ID, com espessura de filme de 0,25  $\mu\text{m}$ ), injetor a 320°C, programa de temperatura do forno a 100°C (5min), taxa de 8°C/min até 250°C, taxa de 2,5°C/min até 320°C (20 min). A fonte MS foi mantida em 220°C e os espectros de massa obtidos por impacto de elétron (EIMS), a 70 eV de energia.

Os compostos foram identificados como derivados TMS, comparando seus espectros de massa com uma biblioteca de CG-MS espectral (Wiley, NIST) e comparando seus perfis de fragmentação com dados publicados (EGLINTON; HUNNEMAN; MCCORMICK, 1968; KOLATTUKUDY; AGRAWAL, 1974).

Para a análise semiquantitativa, a área dos picos dos íons totais dos cromatogramas da análise de CG-MS foi integrada e suas proporções relativas expressas em porcentagem.

### **2.2.3 Quantificação da suberina**

O teor de suberina foi determinado por metanólise. Foram utilizados 1,5 g de cortiça seca, que foi refluxada em solução de metóxido de sódio, durante 3 horas, com leve agitação.

A solução de metóxido de sódio foi preparada dissolvendo sódio metálico seco em metanol; a quantidade de metóxido de sódio foi calculado para cada reação em uma proporção de 0,1 mmol de sódio por 100 mg de cortiça, originando concentrações de metóxido de sódio de 22-31 mM.

Após refluxo, as amostras foram filtradas e lavadas com metanol. O filtrado e o resíduo foram refluxados com mais 100 mL de metanol, por 15 minutos e filtrados novamente. Os filtrados foram acidificados, aproximadamente, a pH 6, com ácido sulfúrico a 2M e evaporado à secura. Do resíduo, foram adicionados 50 mL de água e realizaram-se três extrações sucessivas com 50 mL de diclorometano cada. Os extratos foram secos com sulfato de sódio anidro e o solvente foi evaporado à secura.

O rendimento (em porcentagem) da extração de metanólise foi calculado com base na massa inicial da cortiça livre de extrativos.

Da solução resultante do filtrado da reação metanólica foram concentrados sob pressão reduzida e alíquotas separadas para análise de cromatografia gasosa (CG). Quantidades conhecidas de 1,12-dodecanodiol (Aldrich, Madrid, Espanha; 4,5-6 mg) e ácido 12-hidroxiocetadecanoico éster metílico (3,5-5 mg) em metanol foram adicionados como padrões internos.

#### **2.2.4 Análise da suberina**

Para análise de CG-MS, as alíquotas do filtrado da reação de metanólise foram secas sob nitrogênio e pentóxido de fósforo, sob vácuo, à temperatura ambiente. O resíduo foi dissolvido em derivados de trimetilsilil (TMS) com uma mistura 1:1 de piridina e bis (trimetilsilil) trifluoroacetamida (BSTFA), por 15 minutos, a 60°C. Utilizou-se, para a análise, o aparelho da Masslab (Finnigan Masslab, Manchester, Reino Unido) 1000 TRIO, nas seguintes condições cromatográficas: coluna DB5-MS (J & W, Folsom, CA, EUA.; 60 m x 0,25 mm ID e espessura de filme de 0,25 µm) injetor de temperatura a 300°C; forno com programa de temperatura a 100°C por 5 minutos, aumentando de 10°C/min até 240°C e, em seguida, por 2° C/min até 300°C, e mantendo-se a esta temperatura durante 15 minutos.

A identificação dos compostos foi baseada em espectros de massa por impacto de elétrons (EIMS), em comparação com alguns resultados publicados (EGLINTON; HUNNEMAN, 1968; EGLINTON; HUNNEMAN; MCCORMICK, 1968; GRAÇA; PEREIRA, 1997), ou no MS, obtidas a partir de padrões conhecidos.

#### **2.2.4.1 Calibração de glicerol utilizando 1,12-dodecanediol como padrão interno**

Foi preparada uma mistura de 1,12-dodecanediol e glicerol (Merck, Darmstadt (Alemanha), em metanol, nas proporções de 10:1, 5:1, 2:1, 1:1, 1:2, 1:5 e 1:10 e os solventes foram evaporados em nitrogênio. Após secagem, as misturas foram tratadas com piridina:BSTFA reagente, para produzir os derivados correspondente ao TMS-éter. As soluções derivadas foram injetadas no CG-FID, nas mesmas condições utilizadas para análise dos produtos da metanólise.

#### **2.2.4.2 Calibração para monômeros ácidos utilizando 12-hidroxiocetadecanoico ácido metil éster como padrão interno**

Ácido ferúlico metil éster (Extrasynthese, Genay, França), octadecanol (Sigma, St Louis, MO, E.U.A.), ácido docosanoico metil éster (Sigma), ácido dimetil eicosanedioico éster (Kasei Tokyo, Tóquio, Japão) e ácido 16-hidroxihexadecanoico ácido metil éster, obtido após metilação diazometano do ácido 16-hidroxihexadecanoico (Tóquio Kasei), foram calibrados com relação ao ácido 12-hidroxiocetadecanoico metil éster.

Quatro conjuntos de misturas foram pesadas (1-3 mg de cada um), e os compostos e o padrão interno foram preparados em proporções variando entre

1:1 e 1:10. O TMS foram derivatizados, conforme descrito acima e injetados no CG-FID, nas condições utilizadas para a análise dos produtos da metanólise.

Os valores médios dos fatores resposta utilizados em cálculos quantitativos foram: ácido ferúlico metil éster, 0,90 (usado para fenólicos); octadecanol, 0,76 (utilizado para 1-alcanol); docosanoico ácido metil éster, 1,14 (utilizado para ésteres metílicos de ácidos 1-alcanoico); 16-hidroxihexadecanoico ácido metil éster, 1,13 (usado para  $\omega$  - hidroxiácidos ésteres metílicos) e ácido eicosanedioico dimetil éster, 1,60 (usado para  $\alpha,\omega$ -diácidos dimetilésteres). A pureza de todos os padrões foi previamente controlada por CG.

### **2.2.5 Espectro de infravermelho com transformada de Fourier (FTIR)**

Os espectros de infravermelho com transformada de Fourier (FTIR) foram realizados para certificar que ocorreu o processo de metanólise nas amostras de cortiça analisadas anteriormente. Para tanto, foram utilizados resíduos da cortiça livre de extrativos e após a reação de metanólise.

Os resíduos foram secos e triturados em moinho vibratório do tipo bola. Amostras de 20 mg do material foram moídas e misturadas em brometo de potássio, utilizando-se a técnica das pastilhas. Os espectros FTIR foram obtidos em aparelho BioRad FTS 156, com resolução de  $4\text{ cm}^{-1}$ , equipado com um detector DTGS, conforme técnicas espectrométricas descritas por Rodrigues, Faix e Pereira (1998).

### **2.2.6 Quantificação da lignina**

A quantificação da lignina insolúvel e da lignina solúvel foi realizada nas amostras livre de extrativos e dessuberizadas.

A lignina insolúvel foi quantificada pelo método Klason, segundo a norma TAPP I 222 om-88, que se baseia na hidrólise ácida dos polissacarídeos com ácido sulfúrico ( $H_2SO_4$ ) concentrado a 72%, em banho-maria, a 30°C, durante 1 hora, seguido de diluição a 3%. Posteriormente, procedeu-se a uma segunda hidrólise em autoclave a 120°C, durante 1 hora. O resíduo sólido obtido após filtragem e secagem a 105°C correspondeu à lignina insolúvel.

A lignina solúvel foi quantificada na solução diluída após filtragem para quantificação da lignina insolúvel, por ultravioleta, medindo a sua absorvância a 205 nm, em um espectrofotômetro de marca Shimadzu UV-160 A, segundo a norma UM 250 (TECHNICAL ASSOCIATION OF PULP AND PAPER INDUSTRY - TAPPI, 1994).

A lignina total foi obtida como a soma da quantificação da lignina solúvel e da lignina insolúvel.

### **2.2.7 Quantificação dos polissacarídeos**

Os polissacarídeos foram calculados, de acordo com método adaptado da norma TAPPI 249 cm, com base na quantidade de monômeros neutros de açúcar por hidrólise total, após derivatização e separação por cromatografia em fase gasosa. Foi utilizado o CG HP 5890A equipado com detector FID, com gás de arraste, o hélio (1ml/min) e uma coluna capilar de sílica SP-2330 (30m x 0,32 mm ID; e espessura de filme de 0,20 $\mu$ m). O programa de temperatura da coluna foi de 225-250°C, com gradiente de aquecimento de 5°C/min, e a temperatura do injetor e detector foi de 250°C. Para análise quantitativa no CG, foram calibrados, como referência, os compostos puros e o inositol foi utilizado como padrão interno para cada corrida.

### **2.2.8 Quantificação das cinzas**

O teor de cinzas foi determinado de acordo com a norma TAPPI 15 OS-58, utilizando 2,0 g de cortiça. O material foi incinerado a 450-500°C, por 12 horas e os resíduos quantificados por diferença de massa.

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

#### 3.1 Análise química quantitativa total

Nas Tabelas 1 e 2 são apresentados os rendimentos, em massa, da análise química da cortiça, de acordo com o sentido longitudinal no fuste de diferentes árvores de *K. coriacea*.

De acordo com os dados das Tabelas 1 e 2, os resultados para extrativos totais apresentados com extrações sucessivas em diclorometano, etanol e água variaram de 15,3% a 23,0%. Os resultados foram superiores para a árvore 2 (15,3% a 23%), quando comparada com a árvore 1 (14,2% a 19,3%), em todas as alturas estudadas, exceto para a altura de 100%, que apresentou rendimento de 16,1%, em contrapartida aos 15,3% encontrados para a árvore 2.

Os compostos solúveis em diclorometano e etanol apresentaram alto percentual nas duas árvores estudadas, correspondendo a 49%-35%, ou seja, 9,3% a 6% da cortiça. Consequentemente, os compostos solúveis em água, ou seja, os compostos polares representaram, em menor quantidade, o restante dos extrativos.

Os percentuais de extrativos totais encontrados para a cortiça de *K. coriacea* são similares aos encontrados na literatura para a cortiça de várias espécies, como a de *Q. suber*, que apresenta, em média, 19,3% de extrativos (PEREIRA, 1988a), *Q. cerris* com 16,7% (□EN et al., 2010) e, para a *Calotropis procera*, com 18,0% (PEREIRA, 1988b).

A variação dos resultados encontrados para as duas árvores amostradas conduzem a considerações sobre a variabilidade existente na composição química ocasionada dentro e entre árvores. Essa variabilidade mencionada pode ser de origem genética do material vegetal, bem como diferenças nas condições de crescimento e idade da árvore. Essas citações podem ser correlacionadas com

as árvores estudadas neste trabalho. Ainda, as árvores analisadas apresentaram-se com idades diferentes. A árvore de maior idade apresentou valores mais elevados na percentagem de extrativos, quando comparada às mais novas. Esse comportamento também foi verificado em trabalho realizado por Pereira (1981, 1988a) para o rendimento de extrativos da cortiça de *Q. suber*. Para a variabilidade existente dentre árvores, os resultados mostraram que não existe diferença considerável em relação ao sentido longitudinal base-topo, contudo, as alturas de 0% e de 25% indicam uma leve tendência no aumento dos extrativos, decrescendo nas alturas subsequentes.

A suberina presente na constituição química da cortiça de *K. coriacea* apresenta média de 24,7% e de 18,4%, para as duas árvores amostradas. Este teor de suberina da cortiça, quantificado na fase orgânica da metanólise, é menor do que quando comparado com as determinações da suberina da cortiça de *Q. suber*, com teores de 33% a 40% (PEREIRA, 1988a; PINTO et al., 2009). Şen et al. (2010), analisando a casca de *Q. cerris*, encontraram valores mais elevados (28,4%), porém, mais próximos aos encontrados para a cortiça de *K. coriacea*.

O teor de suberina da cortiça da árvore 1 apresentou-se maior quando comparado com o da árvore 2. Os resultados indicaram que a árvore com menor idade apresenta maior teor de suberina comparada à árvore de maior idade.

De acordo com Pereira (1981), o teor de suberina varia com o tipo de cortiça: virgem (a primeira cortiça a ser extraída, produzida pelo felogênio original da árvore) ou de reprodução (extrações subsequentes a primeira, produzida pela regeneração do felogênio), além das variações entre e dentre árvores. Portanto, de acordo com Pereira (1988a, 1988b), a cortiça de árvores diferentes da mesma espécie e dentro da mesma árvore pode apresentar teores de suberina que podem diferir em mais de 10% (PEREIRA, 1988a, 1988b). A variabilidade existente também pode ser verificada entre espécies, com teor de suberina de 40% para a *Q. suber* (PEREIRA, 1988a), 33% para *P. menziesii*

(GRAÇA; PEREIRA, 2000), de 5% para *Calotropis procera* (PEREIRA, 1988b) e de 45% para *B. pendula* (PINTO et al., 2009).

Tabela 1 Valores de composição química quantitativa média e de desvio padrão da cortiça de *Kielmeyera coriacea* no sentido longitudinal (base/topo) da árvore 1

<b>Composição</b>	<b>Sentido longitudinal (base-topo)</b>				
	<b>% em massa seca</b>	<b>0%</b>	<b>25%</b>	<b>50%</b>	<b>75%</b>
<b>Extrativos</b>					
Diclorometano	8,82 (1,91)	9,26 (1,24)	7,67 (0,43)	6,57 (1,20)	5,99 (0,63)
Etanol	6,42 (1,05)	7,68 (0,36)	6,58 (1,58)	6,04 (1,75)	8,13 (1,26)
Água	1,85 (0,98)	2,36 (1,22)	2,37 (0,18)	1,61 (0,21)	2,03 (0,56)
<b>Total</b>	<b>17,11(1,98)</b>	<b>19,30 (0,39)</b>	<b>16,62 (1,85)</b>	<b>14,23 (2,76)</b>	<b>16,16 (2,45)</b>
<b>Suberina</b>					
	21,65 (3,37)	25,48 (0,47)	25,35 (4,67)	30,30 (10,78)	20,69 (3,99)
<b>Lignina</b>					
Lignina insolúvel	53,46 (0,82)	52,78 (0,83)	45,49 (2,23)	51,04 (0,86)	47,60 (2,14)
Lignina solúvel	1,78 (0,18)	1,97 (0,30)	1,92 (0,01)	1,54 (0,14)	1,60 (0,13)
<b>Total</b>	<b>55,24 (0,64)</b>	<b>54,75 (0,86)</b>	<b>47,4 (2,21)</b>	<b>52,58 (0,71)</b>	<b>49,2(2,01)</b>
<b>Polissacarídeos</b>					
	12,58 (0,86)	13,24 (1,75)	13,94 (0,91)	10,52 (0,45)	14,22 (3,54)
<b>Cinzas</b>					
	1,24 (0,12)	0,74 (0,14)	0,84 (0,05)	0,82 (0,07)	0,89 (0,08)
<b>Total</b>	<b>107,82</b>	<b>113,51</b>	<b>104,15</b>	<b>108,45</b>	<b>101,06</b>

Idade estimada: 16 anos/diâmetro a 1,30 m: 15,5 cm/altura: 4,47 m/densidade básica da madeira: 0,44 g/cm<sup>3</sup> – Desvio padrão entre parênteses

Para lignina, ou seja, uma macromolécula que mantém as células em “posição”, unindo-as e fornecendo rigidez, o teor médio presente após a extração da cortiça com solventes (metanólise da suberina e hidrólise dos polissacarídeos) foi elevado, considerando a composição química global da cortiça. O teor de lignina encontrado para a cortiça da árvore 1 foi de 47,4% a 55,24% e, para a árvore 2, de 43,5% a 46,02%. Pereira (1988a) encontrou valores médios mais baixos, de 21% a 23% de lignina para a cortiça de *Q. suber*. □en et al. (2010) encontraram valores similares, de 28%, para a cortiça de *Q. cerris*. Os altos valores encontrados para a cortiça de *K. coriacea* mostram que as células de cortiça são bem lignificadas e que o grau de lignificação é mais alto do que os encontrados em outras cortiças e, até mesmo, ns madeira de folhosas e coníferas.

Esses altos valores encontrados para a lignina podem ser atribuídos ao fato de a cortiça apresentar, em sua estrutura, porções de entrecasco, ou seja, floema incluso, talvez formado este, pela descontinuidade da atividade do felogênio, ocasionada por fatores genéticos ou climáticos. Assim, esse elevado conteúdo de lignina nas células de cortiça pode comprometer a sua elasticidade, flexibilidade e compressibilidade, ocasionando, no entanto, maior rigidez e dureza nas peças de cortiça.

Tabela 2 Valores de composição química quantitativa média e de desvio padrão da cortiça de *Kielmeyera coriacea* no sentido longitudinal (base/topo) da árvore 2

<b>Composição</b>	<b>Sentido longitudinal base-topo</b>					
	<b>% em massa seca</b>	<b>0%</b>	<b>25%</b>	<b>50%</b>	<b>75%</b>	<b>100%</b>
<b>Extrativos</b>						
Diclorometano		10,67(0,08)	7,22 (0,61)	6,47 (0,01)	6,47(0,29)	5,29 (0,03)
Etanol		9,58 (0,45)	13,42 (0,14)	8,77(1,04)	7,16 (0,81)	8,23 (0,09)
Água		1,40 (0,85)	2,37 (0,16)	1,87 (0,25)	2,37(0,16)	1,74 (0,52)
Total		21,65 (1,21)	23,01(0,64)	17,12 (0,81)	16,01(0,94)	15,27(0,59)
<b>Suberina</b>						
		16,13 (3,03)	16,73 (4,29)	19,35 (1,69)	20,29 (3,74)	19,61(2,82)
<b>Lignina</b>						
Lignina insolúvel		42,11 (0,48)	44,50 (0,10)	44,64 (0,11)	42,64 (0,38)	44,71(1,77)
Lignina solúvel		1,46 (0,10)	1,53 (0,11)	1,53 (0,20)	1,79 (0,23)	1,56 (0,15)
Total		43,57(0,38)	46,03 (0,01)	46,17 (0,30)	44,43 (0,16)	46,27(1,62)
<b>Polissacarídeos</b>						
		16,23 (1,41)	14,57 (0,35)	14,53 (2,07)	16,62 (0,11)	15,79(0,28)
<b>Cinzas</b>						
		2,03 (0,08)	1,53 (0,03)	3,31 (0,03)	3,58 (0,03)	2,92 (0,07)
<b>Total</b>		99,61	101,87	100,48	100,93	99,86

Idade estimada: 26 anos/diâmetro a 1,30m: 13,4 cm/altura: 2,90 m/densidade básica da madeira: 0,40 g/cm<sup>3</sup> – Desvio padrão entre parênteses

Os polissacarídeos são componentes estruturais da parede celular que estão presentes em menor quantidade, em média, 18,2% para a cortiça virgem, quando comparada às madeiras e outras cascas (PEREIRA, 1988a). De acordo com os dados da Tabela 1, os polissacarídeos apresentaram variação de 10,52% a 16,62%, para as árvores analisadas. A árvore 2 apresentou maiores teores em todas as alturas.

Os teores de cinzas encontrados para a cortiça de *K. coriacea* para a árvore 1, no sentido longitudinal base topo, variaram de 1,24% a 0,75%. Já para a árvore 2, os valores encontrados foram superiores, variando de 2,03% a 3,58%. Considerando os valores da árvore 2, estes foram superiores aos encontrados para a cortiça de *Q. suber* (1%) (PEREIRA, 1988a) e semelhantes ao encontrado para a cortiça de *Q. cerris* (2,59%) (□EN et al., 2010).

A presença de elementos que formam as cinzas é o resultado de processos bioquímicos da absorção dos minerais do solo (KOZLOWSKI; PALLARDY, 1996). As diferenças encontradas para as árvores 1 e 2 podem, também, ser resultantes da localização das árvores na região de coleta. A árvore 2 localizava-se próximo à beira da estrada de terra, contudo, esse tipo de árvore tende a apresentar maior quantidade de compostos minerais pelo excesso de exposição à poeira, que lhe é lançada frequentemente, com a passagem de veículos.

O elevado teor de cinzas deve ser levado em conta quando se considera o processamento da cortiça, dado o desgaste que um elevado conteúdo mineral induz no equipamento de corte (PEREIRA, 2007).

Nas Tabelas 3 e 4 são apresentados os principais monossacarídeos encontrados na cortiça de *K. coriacea*. Pode-se perceber que a glucose, para as árvores 1 e 2, representa mais da metade (64% e 58,9%, respectivamente) do total de monômeros de açúcares neutros da cortiça, enquanto a xilose foi o segundo monômero nao-celulósico encontrado em maior proporção, tanto para a

árvore 1 quanto para a árvore 2 (21% e 26,2% do total de monossacarídeos, respectivamente).

A arabinose e a galactose apresentaram teores semelhantes entre si (6,0% a 8,9% e de 5,5% a 9,5%, respectivamente) para as árvores analisadas.

A composição monossacarídica da cortiça de *K. coriacea* foi relativamente semelhante à descrita para cortiça de *Q. suber*, com valores de 41% a 51% de glicose, 32% a 34% de xilose, 6% a 13% de arabinose, 4% a 5% de galactose, 3% a 4% de manose e 1% a 2% de ramnose (PEREIRA, 1988a) e, para a cortiça de *Q. cerris*, com valores de 49,7% de glicose, 27,8% de xilose, 18,8% de arabinose, 10,2% de galactose, 2,4% de manose e 1,2% de ramnose (ŞEN et al., 2010).

Contudo, essas semelhanças sugerem que a principal hemicelulose da cortiça de *K. coriacea* pode ser estruturalmente do tipo 4-O-metilglucuronoxilana, arabino-4-O-metilglucuronoxilana e 4-O-metilglucuronoarabinogalactoglucoxilana, determinada para a cortiça de *Q. suber* por Asencio (1987a, 1987b, 1988a, 1988b).

Assim, pode-se inferir que as celuloses compreendem a metade do total de polissacarídeos da cortiça, representando, no máximo, 8% e 9% do material da parede celular da cortiça. Esses resultados mostram que a celulose não irá desempenhar liderança na definição química da parede celular e nas propriedades da cortiça, como acontece com outras madeiras e cascas em que as quantidades de celulose são de 40% a 50% de material da parede celular.

Tabela 3 Composição dos monossacarídeos da cortiça de *Kielmeyera coriacea* no sentido longitudinal (base/topo) para a árvore 1

<b>% total de monossacarídeos (massa seca)</b>					
<b>Monossacarídeos</b>	<b>0%</b>	<b>25%</b>	<b>50%</b>	<b>75%</b>	<b>100%</b>
Arabinose	6,3 (0,06)	7,6 (0,00)	7,8 (0,12)	6,0 (0,01)	6,1 (0,09)
Xilose	21,0 (0,11)	22,6 (0,30)	23,7 (0,35)	19,7 (0,17)	20,0 (0,25)
Mannose	1,8 (0,33)	3,3 (0,03)	3,4 (0,02)	4,7 (0,02)	4,2 (0,05)
Galactose	6,3 (0,03)	7,1 (0,10)	6,6 (0,03)	6,9 (0,05)	6,8 (0,01)
Glucose	64,5 (0,34)	59,4 (1,33)	58,5 (0,38)	62,7 (0,26)	62,8 (0,46)
Total	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0

Tabela 4 Composição dos monossacarídeos da cortiça de *Kielmeyera coriacea* no sentido longitudinal (base/topo) para a árvore 2

<b>% total de monossacarídeos (massa seca)</b>					
<b>Monossacarídeos</b>	<b>0%</b>	<b>25%</b>	<b>50%</b>	<b>75%</b>	<b>100%</b>
Ramnose	0,0	0,6 (0,12)	0,9 (0,19)	1,7 (0,03)	0,0
Arabinose	6,4 (0,02)	8,0 (0,12)	8,0 (0,20)	6,8 (0,04)	7,0 (0,04)
Xilose	26,2 (0,26)	22,6 (0,04)	21,0 (0,71)	21,6 (0,01)	20,2 (0,12)
Mannose	3,0 (0,06)	3,5 (0,05)	5,3 (0,04)	5,6 (0,03)	5,7 (0,01)
Galactose	5,5 (0,10)	6,4 (0,00)	7,3 (0,10)	8,8 (0,04)	9,5 (0,02)
Glucose	58,9 (0,97)	58,9 (0,25)	57,4 (0,83)	55,4 (0,25)	57,5 (0,46)
Total	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0

Diante do exposto, é válido destacar que, apesar das variações observadas na composição química da cortiça, bem como entre árvores e dentre árvores, a lignina é o principal constituinte químico da cortiça de *K. coriacea*, sugerindo que a parede secundária é fortemente lignificada e constituída por ceras e suberina, sendo o papel da celulose o menos decisivo na estrutura da parede celular. Como consequência, as propriedades mecânicas da cortiça de *K. coriacea* podem ser diferenciadas, dado que, na cortiça da espécie de *Q. suber*, as propriedades relevantes são atribuídas ao principal constituinte químico, a suberina.

### **3.2 Análise química da composição dos extrativos**

Os resultados da análise dos extrativos em diclorometano e em etanol da cortiça de *K. coriacea* são apresentados nas Tabelas 5 e 6, respectivamente.

Tabela 5 Composição dos extrativos em diclorometano da cortiça de *Kielmeyera coriacea* (pau-santo). Análise direta por CG-MS; compostos na forma de ésteres e éteres trimetilsilílicos

Compostos	%
<b>Glicerol</b>	0,5
<b>Fenólicos</b>	
Ácido ferúlico	1,0
Ácido 3-metoxibenzoico	0,2
<b>n -Alcanos</b>	
Nonadecano (C <sub>19</sub> )	0,6
Heneicosano (C <sub>21</sub> )	0,7
Docosano (C <sub>22</sub> )	0,5
Tricosano (C <sub>23</sub> )	0,6
Tetracosano (C <sub>24</sub> )	1,1
Pentacosano (C <sub>25</sub> )	1,1
Hexacosano (C <sub>26</sub> )	0,9
Heptacosano (C <sub>27</sub> )	0,7
Octacosano (C <sub>28</sub> )	0,7
<b>Álcoois graxos</b>	
1-Octacosanol (C <sub>28</sub> )	7,8
1-Triacontanol (C <sub>30</sub> )	20,0
<b>Ácidos graxos</b>	
Ácido tetradecanoico (C <sub>14</sub> )	0,4
Ácido hexadecanoico (C <sub>16</sub> )	3,0
Ácido octadec-9-enoico (C <sub>18:1</sub> )	0,4
Ácido octadecanoico (C <sub>18</sub> )	3,6
Ácido hexacosanoico (C <sub>26</sub> )	2,8
Ácido octacosanoico (C <sub>28</sub> )	16,4
Ácido triacontanoico (C <sub>30</sub> )	6,6
<b><math>\omega</math>-Hidroxiácidos</b>	
Ácido 18-hidroxi octadec-9-enoico	2,1
Ácido 9,10,18-trihidroxi octadecanoico	1,0
<b><math>\alpha,\omega</math> -Diácidos</b>	
Ácido octadec-9-ene-1,18-dioico	3,4
Ácido 9,10-dihidroxi octadecano-1,18-dioico	1,4
1-Mono(octadec-9-ene-1,18-dioil)glicerol	0,5
<b><math>\beta</math>-sitosterol</b>	2,9
<b>Outros<sup>1</sup></b>	4,9
<b>Não-identificados</b>	14,2
<b>Total</b>	100

<sup>1</sup> Inclui ácidos orgânicos e cicloalcanos pequenos

Tabela 6 Composição dos extrativos em etanol do tecido suberoso da cortiça de *Kielmeyera coriacea* (pau-santo), após extração em diclorometano. Análise direta por CG-MS; compostos na forma de ésteres e/ou éteres trimetilsilílicos

Compostos	%
<b>Propanoídes</b>	
Glicerol	15,6
Ácido propano-1,2,3-trioico	0,9
<b>Fenólicos</b>	
Ácido ferúlico	0,6
Ácido 3,4-dihidroxibenzoico	3,3
<b>Acúcares e derivados</b>	
Pentoses cíclicas: furanoses <sup>1</sup>	6,4
Pentoses acíclicas reduzidas (alditóis) <sup>2</sup>	26,8
Hexoses cíclicas: piranoses <sup>3</sup>	8,0
Hexoses acíclicas reduzidas (alditóis) <sup>4</sup>	5,7
Sacarose	2,4
Ciclitol <sup>5</sup>	0,4
Outros açúcares <sup>6</sup>	3,0
<b>n-Alcanos</b>	
Tricosano (C <sub>23</sub> )	0,5
Tetracosano (C <sub>24</sub> )	0,9
Pentacosano (C <sub>25</sub> )	1,0
Hexacosano (C <sub>26</sub> )	1,1
Heptacosano (C <sub>27</sub> )	0,6
Octacosano (C <sub>28</sub> )	0,6
<b>Ácidos graxos</b>	
Ácido hexadecanoico	2,5
Ácido octadec-9-enoico	0,3
Ácido octadecanoico	3,3
Ácido docosanoico	0,7
<b>Ácidos suberínicos</b>	
Ácido 18-hidroxiocetadec-9-enoico	3,2
Ácido 9,10,18-triidroxiocetadecanoico	1,0
Ácido 9,10-diidroxiocetadecano-1,18-dioico	1,3
<b>Outros<sup>7</sup></b>	8,2
<b>Não-identificados</b>	1,3
<b>Total</b>	100

<sup>1</sup> Tipicamente incluem D-xilose, D-arabinose, D-ribose

<sup>2</sup> Tipicamente incluem xilitol, arabitol, ribitol

<sup>3</sup> Tipicamente incluem D-glucose, D-manose, D-galactose

<sup>4</sup> Tipicamente incluem glucitol (sorbitol), manitol

<sup>5</sup> Estrutura tipo inositol

<sup>6</sup> Derivados de hexopiranoses

<sup>7</sup> Inclui pequenas quantidades de ácidos e álcoois orgânicos, esteróis e poliálcoois pequenos

Os extrativos em diclorometano e etanol, analisados diretamente por CG-MS, como foi feito neste trabalho, não permitem detectar todos os compostos presentes nestes extratos, mas somente aqueles de peso molecular mais baixo. Só os compostos voláteis após derivatização, nas condições de temperatura utilizadas no injetor do cromatógrafo, são analisados nessas circunstâncias. Caracteristicamente, estas análises por CG-MS excluem, no caso dos extrativos em diclorometano, compostos éster e, no caso dos extrativos em etanol, excluem os oligômeros fenólicos tipo “taninos”. As análises feitas aos extrativos têm, portanto, essa limitação. Alguns dos compostos presentes nos extratos podem não ter sido detectados. Contudo, a análise dos resultados é exposta a seguir.

Os extrativos em diclorometano do tecido suberosos da cortiça de *K. coriacea* são representados, em sua maioria, por álcoois e ácidos graxos de cadeia longa ou muito longa (Tabela 5). Os álcoois graxos (*n*-alcanóis) representam cerca de 28% do extrato analisado, enquanto os ácidos graxos (monoácidos), cerca de 33%. Dois grupos de ácidos graxos estão presentes neste extrato. Um primeiro grupo é constituído por ácidos graxos de cadeia longa, de C<sub>14</sub> a C<sub>18</sub>, que são comuns a praticamente todos os extratos vegetais. Estes últimos incluem o ácido palmítico (C<sub>16</sub>), o ácido esteárico (C<sub>18</sub>) e o ácido oleico (C<sub>18</sub>:1). Um segundo grupo de ácidos graxos apresenta cadeias saturadas muito longas (C<sub>26</sub>-C<sub>30</sub>) e é muito menos comum nas ceras vegetais conhecidas (GUNSTONE, 1996). Estes últimos são, aliás, dominantes entre os ácidos graxos detectados, representado mais de 25% de todos os compostos analisados neste extrato em diclorometano da cortiça de *K. coriacea*. Os álcoois graxos presentes têm também comprimentos de cadeia muito longos, C<sub>28</sub> e C<sub>30</sub>, e estão presentes também em quantidades muito significativas, representando mais de 25% do total do extrato.

Os extrativos em diclorometano do tecido suberoso da cortiça de *K. coriacea* incluem também pequenas quantidades de compostos fenólicos, nomeadamente ácido ferúlico, assim como alguns dos principais  $\omega$ -hidroxiácidos encontrados como constituintes da suberina. Estes ácidos suberínicos poderão ser resíduos metabólicos do processo de sínteses da suberina e estão comumente presentes nos extrativos dos tecidos suberosos, como na cortiça de *Q. suber* (sobreiro) ou *Quercus cerris* (GRAÇA, 2007; ŞEN et al., 2010). Um composto interessante, o 1-monoacilglicerol do  $\alpha,\omega$ -diácido 9-insaturado [1-Mono(octadec-9-ene-1,18-dioil)glicerol], foi detectado neste extrato e é também, muito provavelmente, um precursor da suberina, conforme abaixo discutido.

Uma diferença significativa nestes extrativos de baixa-polaridade em diclorometano entre as cortiças de *K. coriacea* e de *Q. suber* é a ausência de triterpenos na primeira, os quais são dominantes na segunda. Na cortiça de *Q. suber*, os triterpenos e, nomeadamente, a friedelina, representam mais de 60% de todos os extrativos em diclorometano (GRAÇA, 2007; SOUSA et al., 2006). Na cortiça de *K. coriacea* há uma pequena quantidade (cerca de 3%) de um esteroide triterpenoide, o  $\beta$ -sitosterol, que é comum à maior parte dos extratos vegetais.

Os extratos em diclorometano incluem também uma série de compostos que não foram positivamente identificados (cerca de 14% do total), mas cuja análise dos espectros de massa mostrou que são relacionados entre si e com estruturas aromáticas na sua composição. Uma das possibilidades é a de tratar-se de xantonas, conhecidas como extrativos em outras partes da planta de *K. coriacea* (GARCIA-CORTEZ et al., 1998).

Os compostos solúveis em etanol do tecido suberosos da cortiça da *K. coriacea*, após a extração com diclorometano, analisados diretamente por CG-MS, são majoritariamente resíduos metabólicos, nomeados glicerol e açúcares e seus derivados (Tabela 6). O glicerol constitui cerca de 15% do notável

analisado e é um precursor dos acilgliceróis, ésteres genericamente conhecidos como óleos e gorduras. O glicerol é também um dos monômeros da suberina e tem um peso significativo na sua estrutura.

Os açúcares e compostos relacionados, como os alditóis e a sacarose, constituíam, no seu conjunto, mais de 50% dos compostos detectados. Os açúcares dominantes são as pentoses e as hexoses, na forma cíclica de anel furano e pirano, respectivamente, ou na forma aberta reduzida de alditóis. A sacarose é um dissacarídeo (de frutose e glucose) e é o principal oligossacarídeo encontrado no floema de todas as árvores. Todos estes açúcares são hidratos de carbono que estão envolvidos ou no fornecimento de energia ou na síntese dos polissacarídeos da parede celular.

### **3.3 Análise química da composição da suberina**

A suberina é o composto que define as células e os tecidos suberosos, nos quais representa uma parte significativa da composição das respectivas paredes celulares. As células suberosas ricas em suberina desempenham funções de proteção e isolamento nas plantas com crescimento secundário, como são as árvores e os arbustos. Células suberosas são encontradas em tecidos internos e externos dessas plantas e formam-se também no tecido cicatricial. A maioria das células suberosas encontra-se, contudo, nas cascas das árvores e arbustos, constituindo as peridermes.

A suberina é, quimicamente, um poliéster baseado em  $\omega$ -hidroxiácidos e  $\alpha,\omega$ -diácidos de cadeia longa, ligados entre si e ligados ao glicerol, construindo uma rede tridimensional parcialmente ordenada (GRAÇA; SANTOS, 2007). As proporções entre os três principais grupos de constituintes, assim como o tipo de  $\omega$ -hidroxiácidos e  $\alpha,\omega$ -diácidos, variam entre as suberinas até agora analisadas

(GRAÇA; PEREIRA, 2000a). A análise da composição monomérica da suberina do tecido suberoso da cortiça de *K. coriacea* está apresentada na Tabela 7.

Tabela 7 Composição da suberina da cortiça de *Kielmeyera coriacea* (pausante). Fase orgânica do metanolisado analisada por CG-MS; compostos na forma de ésteres metílicos, éteres trimetilsilílicos

<b>Compostos</b>	<b>%</b>
<b>Glicerol</b>	0,3
<b>Fenólicos</b>	
Ácido ferúlico	1,7
<b>Álcoois graxos</b>	
1-Hexacosanol	0,4
1-Octacosanol	1,2
1-Triacontanol	1,2
<b>Monoácidos</b>	
Ácido 9-epoxioctadecanoico	1,4
<b><math>\omega</math>-Hidroxiácidos</b>	
Ácido 18-hidroxióctadec-9-enoico	23,5
Ácido 9-Epoxi-18-hidroxióctadecanoico	9,7
Ácido 9,10,18-trihidroxióctadecanoico	20,8
<b><math>\alpha,\omega</math>-Diácidos</b>	
Ácido octadec-9-ene-1,18-dioico	5,8
Ácido 9,10-dihidroxióctadecano-1,18-dioico	13,7
<b>Outros<sup>1</sup></b>	11,1
<b>Não-identificados</b>	9,6

<sup>1</sup> Majoritariamente outros ácidos alifáticos de cadeia longa oxigenados a meio da cadeia

Os valores apresentados correspondem às áreas integradas nos cromatogramas de massa e são, portanto, não corrigidos aos diferentes fatores de resposta de cada um dos compostos. O padrão base de composição da suberina da cortiça da *K. coriacea* é similar ao das suberinas estudadas em outras plantas, incluindo glicerol,  $\omega$ -hidroxiácidos e  $\alpha,\omega$ -diácidos (GRAÇA; PEREIRA, 2000a, 2000b; ŞEN et al., 2010). Identicamente às outras suberinas conhecidas, inclui também pequenas quantidades de ácido ferúlico, monoácidos e álcoois graxos. Os  $\omega$ -hidroxiácidos são os compostos dominantes, representando cerca de 54% da mistura de monômeros, os  $\alpha,\omega$ -diácidos, constituindo cerca de 20% e o

glicerol 3%. A estrutura dos principais monômeros da suberina da cortiça da *K. coriacea* está apresentada na Figura 2.

Uma característica distintiva da suberina da cortiça da *K. coriacea* é a ausência completa de compostos com cadeia saturada, sejam monoácidos, sejam  $\omega$ -hidroxiácidos ou  $\alpha,\omega$ -diácidos. Estes compostos são muito importantes em outras suberinas, como nos casos da casca da batata, *Solanum tuberosum* (GRAÇA; PEREIRA, 2000a) ou da casca da *Pseudotsuga menziesii* (GRAÇA; PEREIRA, 2000b). Também na suberina da cortiça de *Q. suber* existem monômeros de cadeia saturada, sendo o  $\omega$ -hidroxiácido C<sub>22</sub> (ácido 22-hidroxidocosanoico) um dos seus principais constituintes (GRAÇA; PEREIRA, 2000a).

A maior parte dos monômeros de cadeia longa da suberina da *K. coriacea* é de compostos em C<sub>18</sub> com modificações a meio da cadeia, seja uma insaturação, um grupo epóxido, ou um grupo *vic*-diol. A suberina da cortiça de *Q. suber* é também rica em todos esses compostos modificados no meio da cadeia, mas há suberinas nas quais a ocorrência de compostos epóxido e *vic*-diol é reduzida, como é o caso da suberina da casca da batata (GRAÇA; PEREIRA, 2000a) e da casca da *Pseudotsuga menziesii* (GRAÇA; PEREIRA, 2000b).

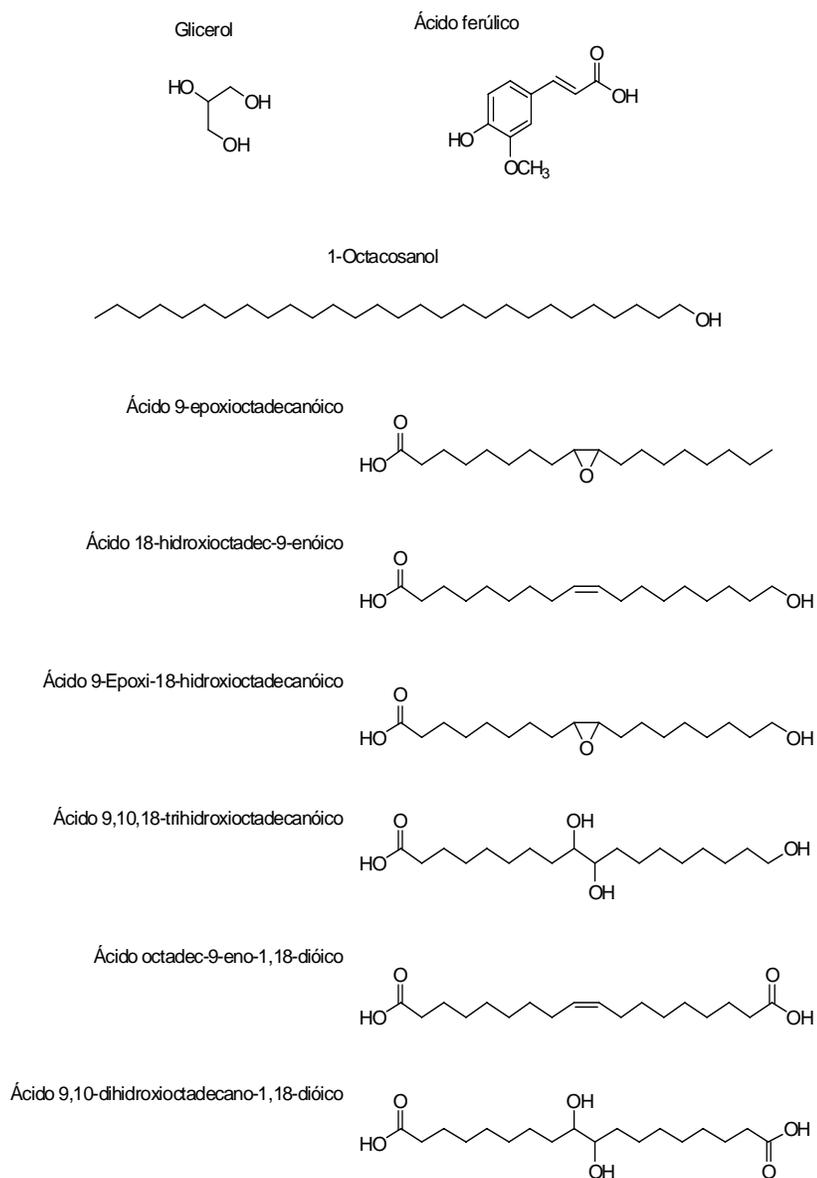


Figura 2 Fórmula estrutural dos principais monômeros da suberina da cortiça de *Kiemeyera coriacea* (pau-santo)

A suberina da cortiça da *K. coriacea* inclui também ácido ferúlico, um composto aromático encontrado em pequenas quantidades em todas as suberinas estudadas. Acredita-se que o ácido ferúlico desempenhe um papel importante na ligação entre a suberina e os outros compostos presentes nas paredes celulares suberosas, nomeadamente a lignina (GRAÇA; SANTOS, 2007).

### **3.4 Espectroscopia de infravermelho com transformada de Fourier (FTIR)**

No Gráfico 1 estão representados os espectros de FTIR para a cortiça de *K. coriacea* livre de extrativos (linha em vermelho) e o espectro do resíduo após a despolimerização e a remoção da suberina por metanólise (linha em negrito). O espectro da cortiça é caracterizado por uma banda dominante com dois picos máximos a  $2.925\text{ cm}^{-1}$  e a  $2.853\text{ cm}^{-1}$ , devido às ligações C-H das cadeias hidrocarbonadas da suberina e uma banda intensa de  $1.740\text{ cm}^{-1}$  das ligações C=O dos ácidos alifáticos e dos seus ésteres na suberina.

As bandas utilizadas para definir a presença de lignina nas amostras são as bandas a  $1.600\text{ cm}^{-1}$ , a  $1.510\text{ cm}^{-1}$ , a  $1.465\text{ cm}^{-1}$  e a  $1.425\text{ cm}^{-1}$ , devido ao fato de esta zona do espectro ser relativamente pobre em bandas correspondentes aos hidratos de carbono (FAIX, 1991).

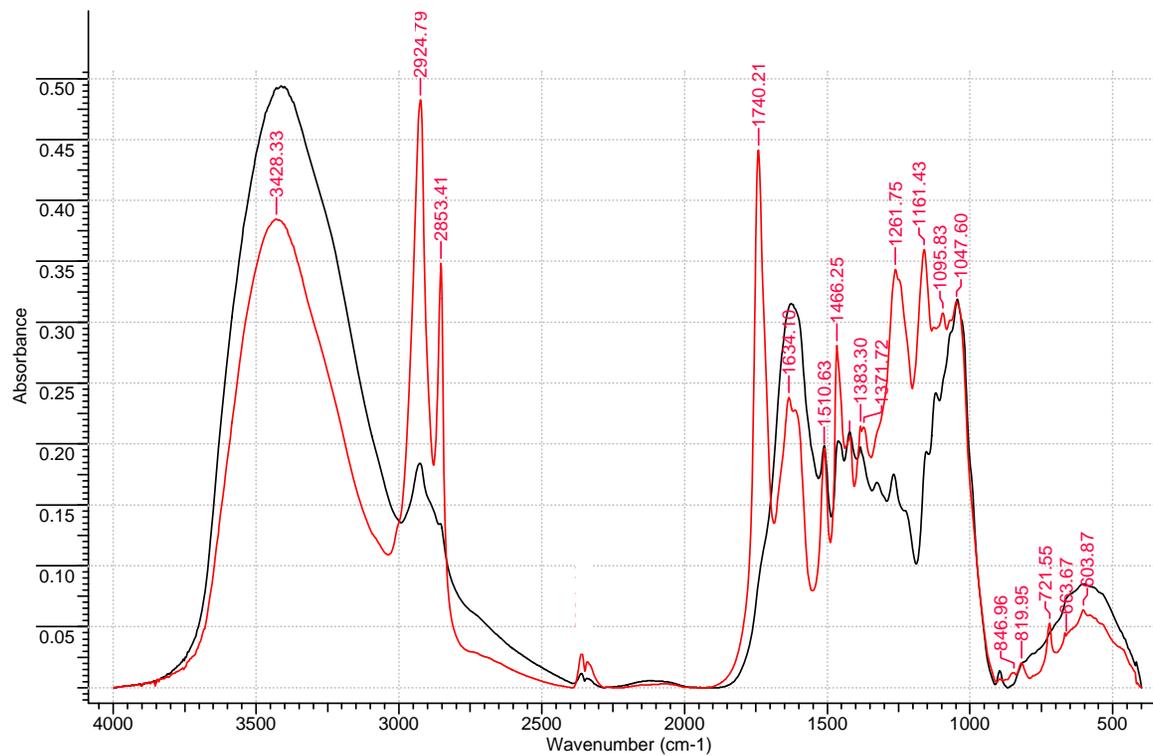


Gráfico 1 Espectro de infravermelho da cortiça de *Kiehmeyera coriacea* livre de extrativos antes (— linha vermelha) e após (— linha preta) a remoção da suberina

Comparando-se os espectros da cortiça livre de extrativos e do resíduo após despolimerização da suberina (Figura 2), verifica-se que, no espectro dos resíduos, são mantidas algumas bandas no espectro da cortiça livre de extrativos. As variações na intensidade das várias bandas evidenciam, portanto, a remoção da suberina que apenas se mantém como caráter residual e mostra que o processo de despolimerização provocou algumas alterações nos polímeros remanescentes. O espectro do resíduo após metanólise mostra o desaparecimento das ligações C=O ( $1.740\text{ cm}^{-1}$ ) e das ligações C-O-C ( $1.162\text{ cm}^{-1}$ ), ou seja, bandas de absorção éster. No espectro, o importante pico a  $1.261\text{ cm}^{-1}$  não está presente no resíduo, provavelmente devido à remoção de monômeros epóxidos.

#### 4 CONCLUSÃO

A cortiça de *K. coriacea* é quimicamente similar à cortiça de *Q. suber*, embora com proporções diferentes dos seus constituintes químicos. A principal diferença está no elevado teor de lignina, correspondendo à, praticamente, metade da sua constituição química global. O teor de extrativos também se apresentou semelhante quando comparado ao de outras espécies. Os extrativos em diclorometano do tecido suberoso da cortiça de *K. coriacea* apresentam predominância de compostos como álcoois e ácidos graxos de cadeia longa. Em sua minoria, apresenta compostos fenólicos. Os extratos solúveis em etanol do tecido suberoso são, em sua maioria, identificados como glicerol e açúcares, este último constituindo mais de 50% dos compostos detectados.

A composição monomérica da suberina da cortiça de *K. coriacea* pode ser quantificada por despolimerização após metanólise, permitindo a identificação dos monômeros de glicerol, compostos fenólicos, álcoois graxos e ácidos de cadeia longa. A suberina da cortiça de *K. coriacea* é composta principalmente por hidroxiácidos, que compõem cerca de 54% de todos os monômeros de cadeia longa. O padrão base de composição da suberina da cortiça de *K. coriacea* é similar ao das suberinas estudadas em outras plantas.

Os polissacarídeos apresentaram-se com baixo teor, ao contrário do teor de cinzas, que se apresentaram elevados, principalmente quando comparados à cortiça de *Q. suber*.

## 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS E SUGESTÕES

Os estudos apresentados nesse trabalho demonstram que a cortiça de *K. coriacea* apresenta potencial para a sua utilização, principalmente por se tratar da primeira cortiça extraída das árvores. Sua estrutura anatômica e química é bastante similar à da cortiça da maior espécie produtora de cortiça mundial, a *Q. suber*.

Estudos em áreas complementares devem ser intensificados, sobretudo no conhecimento silvicultural, no melhoramento genético e no manejo da espécie. A silvicultura pode esclarecer a germinação de sementes e a adaptação da espécie em plantios experimentais e verificar, principalmente, a formação da casca externa dessas árvores, fora do seu hábitat, o Cerrado. Na genética, o melhoramento pode favorecer a seleção de genótipos com maiores espessuras de casca e com menor quantidade de lâminas de floema incluso. Um adequado manejo poderia proporcionar maiores diâmetros das árvores, contribuindo assim para aumentar o volume de casca.

A qualidade da cortiça regenerada após extrações sucessivas também é de significativa importância, principalmente quando se trata da forma como o felogênio traumático se regenera. Deve-se verificar, em trabalhos futuros, se no processo regenerativo das células, ocorre a formação de lâminas de floema incluso, o que, via de regra, compromete a qualidade do tecido suberoso.

Ainda deve-se analisar a fabricação de produtos à base de cortiça de *K. coriacea*, como as rolhas aglomeradas para vinhos e espumantes, além dos aglomerados puros para utilização de pisos, revestimento de paredes e vedantes de forma geral.

Torna-se importante ressaltar que há inúmeras espécies do Cerrado promissoras de cortiça e, talvez, essas espécies possam demonstrar um potencial ainda maior que as já apresentadas neste trabalho.

## REFERÊNCIAS

ASENCIO, A. Structural studies of the hemicellulose A fraction (A-2) from the cork of *Quercus suber*. **Canadian Journal of Chemistry**, Ottawa, v. 62, n. 1, p. 484-488, Feb. 1988a.

\_\_\_\_\_. Structural studies of the hemicellulose A fraction from the cork of *Quercus suber*. **Carbohydrate Research**, Amsterdam, v. 161, n. 2, p. 167-170, Feb. 1987a.

\_\_\_\_\_. Structural studies of the hemicellulose B fraction (B-2) from the cork of *Quercus suber*. **Canadian Journal of Chemistry**, Ottawa, v. 66, n. 1, p. 449-453, Feb. 1988b.

\_\_\_\_\_. Structural studies of the hemicellulose B fraction from the cork of *Quercus suber*. **Carbohydrate Research**, Amsterdam, v. 165, n. 2, p. 134-138, Feb. 1987b.

EGLINTON, G.; HUNNEMAN, D. Gas chromatographic mass spectrometric studies of long chain hydroxy acids: the constituent cutin acids of apple cuticle. **Phytochemistry**, Oxford, v. 7, p. 313-322, 1968.

EGLINTON, G.; HUNNEMAN, D.; MCCORMICK, A. Gas chromatographic ± mass spectrometric studies of long chain hydroxy acids: the mass spectra of the methyl esters trimethylsilyl ethers of aliphatic hydroxy acids: a facile method of double bond location. **Organic Mass Spectrometry**, London, v. 1, n. 6, p. 593-611, 1968.

EKMAN, R. The suberin monomers and triterpenoids from the outer bark of *Betula verrucosa* Ehrh. **Holzforschung**, Berlin, v. 37, n. 4, p. 205-211, 1983.

ESAU, K. **Anatomy of seed plants**. New York: J. Wiley, 1977. 550 p.

FAIX, O. Classification of lignins from different botanical origins by FT-IR spectroscopy. **Holzforschung**, Berlin, v. 45, n. 1, p. 21-27, Jan. 1991.

FORTES, M. A.; ROSA, M. E.; PEREIRA, H. **A cortiça**. Lisboa: IST, 2004. 259 p.

GARCIA-CORTEZ, D. A. et al. Xanthones, triterpenes and biphenyl from *Kielmeyera coriacea*. **Phytochemistry**, Oxford, v. 47, n. 7, p. 1367-1374, Apr. 1998.

GLÓRIA, B. A.; GUERREIRO, S. M. **Anatomia vegetal**. Viçosa, MG: UFV, 2003. 437 p.

GRAÇA, J. **Caracterização dos pós de cortiça com vista a sua utilização como fonte de produtos químicos**: projecto FCT POCTI/AGR/46419/2002: relatório de execução material. Lisboa: Instituto Superior de Agronomia, 2007. 185 p.

GRAÇA, J.; SANTOS, S. C. Suberin: a biopolyester of plants' skin. **Macromolecular Bioscience**, Weinheim, v. 7, n. 2, p. 128-135, Feb. 2007.

GRAÇA, J. A. R. **A estrutura da suberina e as suas relações com as propriedades da cortiça**. Lisboa: Instituto Superior de Agronomia, 2000. 40 p.

GRAÇA, J. A. R.; PEREIRA, H. M. N. Cork suberin: a glyceryl based polyester. **Holzforschung**, Berlin, v. 51, n. 3, p. 225-234, May 1997.

\_\_\_\_\_. Feruloyl esters of  $\omega$ -hydroxyacids in cork suberin. **Wood Science Technology**, New York, v. 18, n. 2, p. 207-217, Apr. 1998.

\_\_\_\_\_. Formação da primeira felogene no sobreiro. In: CONGRESSO FLORESTAL NACIONAL, 2., 1990, Lisboa. **Actas...** Lisboa: SPCF, 1990. p. 5.

\_\_\_\_\_. Glyceryl-acyl and aryl-acyl dimers in *Pseudotsuga menziesii* bark suberin. **Holzforschung**, Berlin, v. 54, n. 4, p. 397-402, Aug. 1999.

\_\_\_\_\_. Methanolysis of bark suberins: analysis of glycerol and acid monomers. **Phytochemical Analysis**, Chichester, v. 11, n. 1, p. 45-51, Feb. 2000a.

\_\_\_\_\_. Suberin structure in potato periderm: glycerol, longchain monomers and glyceryl and feruloyl dimers. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, Easton, v. 48, n. 11, p. 5476-5483, Nov. 2000b.

GUILLEMONAT, A.; TRIACA, M. M. Sur la constitution chimique du liège (Ve mémoire): étude préliminaire du liège de *Kielmeyera coriacea*. **Bulletin de La Société Chimeque de France**, Paris, n. 3, p. 950-952, 1967.

GUNSTONE, F. D. **Fatty acid and lipid chemistry**. London: Blackie Academic & Professional, 1996. 252 p.

HERGER, H.; KURTH, E. The chemical nature of cork from Douglas fir bark. **Tappi**, Atlanta, v. 35, p. 59-66, 1952.

KOLATTUKUDY, P.; AGRAWAL, V. Structure and composition of aliphatic constituents of potato tuber skin (suberin). **Lipids**, Champaign, v. 9, p. 682-691, 1974.

KOZLOWSKI, T. T.; PALLARDY, S. G. **Physiology of woody plants**. San Diego: Academic, 1996. 411 p.

KRAHMER, R.; WELLONS, J. Some anatomical and chemical characteristics of Douglas-fir cork. **Journal of Wood Science**, London, v. 6, p. 97-105, 1973.

LITVAY, J.; KRAHMER, R. Wall layering in Douglas-fir cork cells. **Journal of Wood Science**, London, v. 9, p. 167-173, 1977.

MIRANDA, A. M. et al. Extracções de cortiça com 1,4-dioxano em alta pressão. In: PEREIRA, H. (Ed.). **Sobreiro e cortiça**. Lisboa: Centro de Estudos Florestais, 1998. p. 419-426.

PEREIRA, H. Chemical composition and variability of cork from *Quercus suber* L. **Wood Science and Technology**, New York, v. 22, n. 3, p. 211-218, Sept. 1988a.

\_\_\_\_\_. **Cork: biology, production and uses**. *Amsterdam: Elsevier*, 2007. 336 p.

\_\_\_\_\_. Structure and chemical composition of cork from *Calotropis procera* Ail. R. Br. **IAWA Bulletin**, Leiden, v. 9, n. 1, p. 53-58, Feb. 1988b.

\_\_\_\_\_. **Studies on the chemical composition of virgin and reproduction cork of *Quercus suber* L.** Lisboa: Centro de Estudos Florestais, 1981. 25 p.

PINTO, P. C. R. O. et al. *Quercus suber* and *Betula pendula* outer barks as renewable sources of oleochemicals: a comparative study. **Industrial Crops and Products**, London, v. 29, n. 1, p. 126-132, Jan. 2009.

RIZZINI, C. T.; MORS, W. B. **Botânica econômica brasileira**. 2. ed. Rio de Janeiro: Âmbito, 1995. 248 p.

RODRIGUES, J.; FAIX, O.; PEREIRA, H. Determination of lignin content of *Eucalyptus globulus* wood using FTIR spectroscopy. **Holzforschung**, Berlin, v. 52, n. 1, p. 46-50, Sept. 1998.

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. 1, p. 417-422, June 2010.

SJÖSTROM, E. **Wood chemistry: fundamentals and applications**. New York: Academic, 1991. 113 p.

SOUSA, A. F. et al. Triterpenic and other lipophilic components from industrial cork byproducts. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, Easton, v. 54, n. 18, p. 6888-6893, Aug. 2006.

TECHNICAL ASSOCIATION OF PULP AND PAPER INDUSTRY. **Testing and methods**. Atlanta, 1994. 6 p.

WILLIAMS, L. O.; ERLANSON, C. O. Brazilian cork. **Journal of Plant Foods For Human Nutrition**, Netherlands, v. 6, n. 2, p. 114-120, 1959.

## ANEXO

Tabela 1A Análise de variância da densidade básica da madeira de *Kielmeyera coriacea* Mart. (pau-santo)

FV	GL	QM	Fc
Árvore	6	0,046574	33,920*
Posição	4	0,067162	48,914*
Erro	268	0,001373	
Total corrigido	268		
CV (%) =	8,27		
Média geral	0,4479		

\*Significativo, de acordo com teste de Tukey ( $p < 0,05$ )  
 Número de observações: 279