



Revista Árvore

ISSN: 0100-6762

r.arvore@ufv.br

Universidade Federal de Viçosa  
Brasil

Lemos de Moraes, Sérgio Antônio; do Nascimento, Evandro Afonso; Carrijo de Melo, Dárley  
Análise da madeira de Pinus oocarpa parte I- estudo dos constituintes macromoleculares e extrativos  
voláteis

Revista Árvore, vol. 29, núm. 3, maio-junho, 2005, pp. 461-470

Universidade Federal de Viçosa  
Viçosa, Brasil

Disponível em: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=48829314>

- Como citar este artigo
- Número completo
- Mais artigos
- Home da revista no Redalyc

redalyc.org

Sistema de Informação Científica  
Rede de Revistas Científicas da América Latina, Caribe, Espanha e Portugal  
Projeto acadêmico sem fins lucrativos desenvolvido no âmbito da iniciativa Acesso Aberto

# ANÁLISE DA MADEIRA DE *Pinus oocarpa* PARTE I – ESTUDO DOS CONSTITUINTES MACROMOLECULARES E EXTRATIVOS VOLÁTEIS<sup>1</sup>

Sérgio Antônio Lemos de Moraes<sup>2</sup>, Evandro Afonso do Nascimento<sup>2</sup> e Dárley Carrijo de Melo<sup>3</sup>

**RESUMO** – Neste estudo foram analisados os principais componentes químicos da madeira de *Pinus oocarpa*, cultivado na região do cerrado. A composição química dessa madeira foi: 59,05% de  $\alpha$ -celulose, 21,22% de hemiceluloses A e B, 25,18% de lignina, 2,78% de extrativos em diclorometano, 4,38% de extrativos em etanol:tolueno, 4,31% de extrativos em água quente e 1,26% de cinzas. O conteúdo de celulose foi relativamente elevado, indicando que essa madeira possui grande potencial para produção de pasta de celulose. Investigou-se, também, a composição dos extrativos. Os principais constituintes do extrato diclorometano dessa madeira foram os ácidos diterpênicos, além dos ácidos palmítico e oléico. No óleo essencial, extraído por aparelho de Clevenger, os principais componentes identificados foram aromadendreno, ledano, hexadecanal e ácido oléico.

Palavras-chave: *Pinus oocarpa*, componentes macromoleculares e extrativos.

## CHEMICAL ANALYSIS OF *Pinus oocarpa* WOOD PART I – QUANTIFICATION OF MACROMOLECULAR COMPONENTS AND VOLATILE EXTRACTIVES

**ABSTRACT** – The chemical composition of *Pinus oocarpa* wood cultivated in the Brazilian cerrado was established. The obtained results were:  $\alpha$ -cellulose (59.05%), hemicelluloses A and B (21.22%), lignin (25.18%), dichloromethane extractives (2.78%), ethanol:toluene extractives (4.38%), hot water extractives (4.31%) and ash (1.26%). The cellulose content was high. This result opens perspectives for using *Pinus oocarpa* wood in pulp and paper industries. Most of the dichloromethane extractives were diterpenic, palmitic and oleic acids. The volatile composition, obtained by means of the Clevenger method followed by GC-MS analysis was constituted mainly by aromadendrene, ledane, hexadecanal and oleic acid.

Key words: *Pinus oocarpa*, macromolecular components and extractives.

### 1. INTRODUÇÃO

O gênero *Pinus*, da família das *Pinaceae*, é composto por plantas lenhosas, em geral arbóreas, de altura que varia de 3 a 50 m. As plantas têm tronco reto, mais ou menos cilíndrico e copa em forma de cone. Possuem folhas em forma de acículas, agrupadas em fascículos. Sua madeira apresenta massa específica que varia de 400 a 520 kg m<sup>-3</sup>, a 15% de umidade. A cor da madeira do cerne varia do amarelo-claro ao alaranjado ou

castanho-avermelhado (LIMA et al., 1988). Algumas espécies de *Pinus* se incluem entre as árvores mais utilizadas no mundo.

As espécies de *Pinus* introduzidas no Brasil são provenientes, principalmente, dos Estados Unidos, embora inicialmente fossem oriundas da Europa. Elas ocorrem naturalmente na América do Norte, na América Central, no norte da Europa e na Ásia (LIMA et al., 1988).

<sup>1</sup> Recebido em 1º.09.2003 e aceito para publicação em 20.04.2005.

<sup>2</sup> Instituto de Química da Universidade Federal de Uberlândia – UFU, 38400-089 Uberlândia-MG. E-mail: <sailemos@ufu.br>.

<sup>3</sup> Faculdade de Engenharia Química da UFU.



O termo hemiceluloses se refere a polissacarídeos de massas moleculares relativamente baixas, os quais estão intimamente associados à celulose nos tecidos das plantas. Enquanto a celulose, como substância química, contém como unidade fundamental exclusivamente a  $\beta$ -D-glucose, as hemiceluloses são polímeros em cuja composição podem aparecer, condensadas em proporções variadas, diversas unidades de açúcar como apresentado na Figura 2 (FENGEL e WEGENER, 1989).

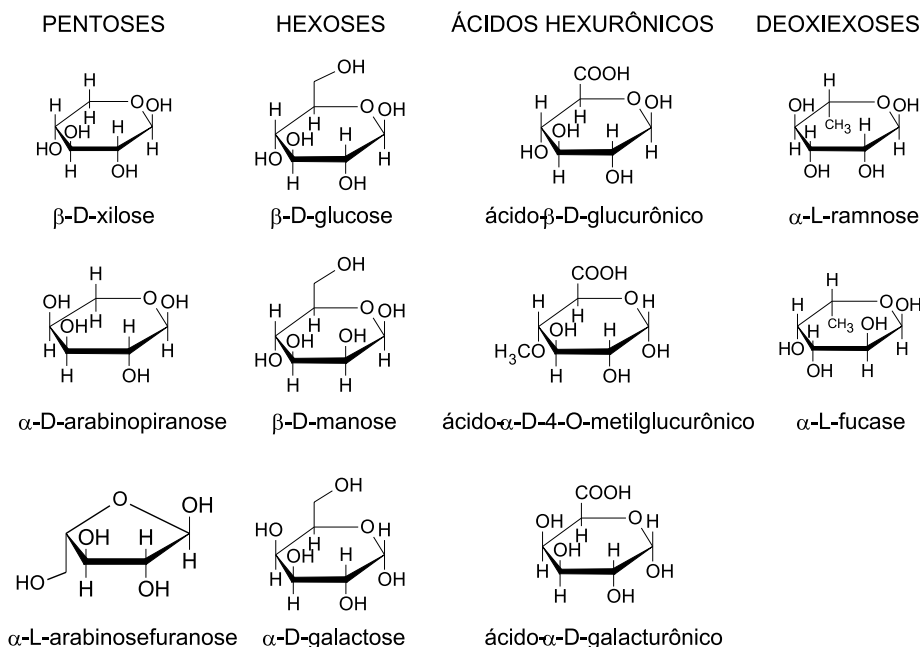
Observa-se, na Figura 2, que algumas unidades monoméricas possuem apenas cinco átomos de carbono, sendo denominadas pentoses, enquanto outras contam com seis deles, sendo, então, denominadas hexoses, gerando, assim, pentosanas (polímeros formados pela condensação de pentoses) e hexosanas (polímeros formados pela condensação de hexoses), respectivamente.

Isoladas das madeiras, as hemiceluloses apresentam-se como misturas complexas de polissacarídeos, sendo os mais importantes as glucxilanas, arabinoglucxilanas, glucomanas, arabinogalactanas e galactoglucomanas. Portanto, o termo hemiceluloses não designa

um composto químico, mas sim uma classe de componentes poliméricos presentes em vegetais fibrosos, possuindo cada componente propriedades peculiares. O teor e a proporção dos diferentes componentes encontrados nas hemiceluloses de madeira variam com a espécie e, provavelmente, também de árvore para árvore (PHILIPP e D'ALMEIDA, 1988). Na Figura 3, apresenta-se a estrutura representativa de uma galactoglucomanana, uma das principais hemiceluloses encontradas em madeiras de coníferas (SJÖSTRÖM, 1993).

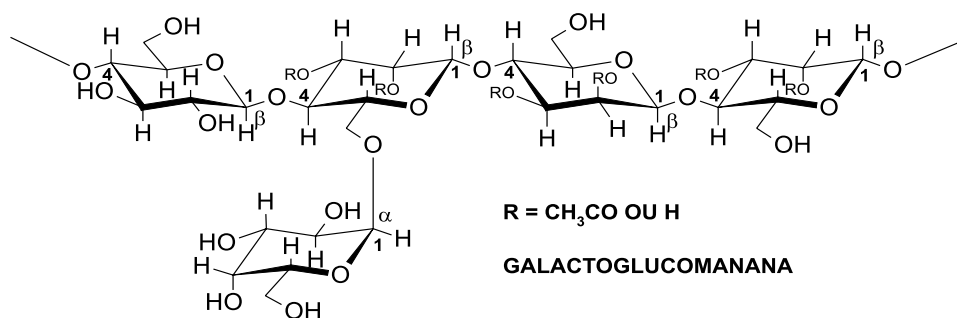
Os extrativos, considerados constituintes secundários, são compostos químicos que não fazem parte da estrutura da parede celular. São solúveis em água ou em solventes orgânicos neutros e estão presentes principalmente na casca. De baixa massa molecular e somando pequenas quantidades, eles englobam óleos essenciais, resinas, taninos, graxas e pigmentos.

Para a produção de celulose, os extrativos são compostos indesejáveis, pois reduzem o rendimento e qualidade da polpa. No entanto, na produção de energia alguns contribuem para aumentar o poder calorífico da madeira (PHILIPP e D'ALMEIDA, 1988).



**Figura 2** – Açúcares que compõem as unidades de hemiceluloses.

**Figure 2** – Schematic illustration of sugar units of hemicelluloses.



**Figura 3** – Estrutura representativa da galactoglucomanana.  
**Figure 3** – Schematic illustration of galactoglucomannans.

Os extrativos representam entre 4 e 10% da massa total da madeira seca, e o seu conteúdo varia muito entre as espécies de madeiras. Os extrativos de coníferas contêm, geralmente, todas as classes de terpenos, exceto os sesterpenos, que são raros. A terebintina, óleo volátil das coníferas, consiste, sobretudo de monoterpenos, sendo os mais importantes o  $\alpha$ -pineno, o  $\beta$ -pineno e o limoneno (Onayade et al., 1998).

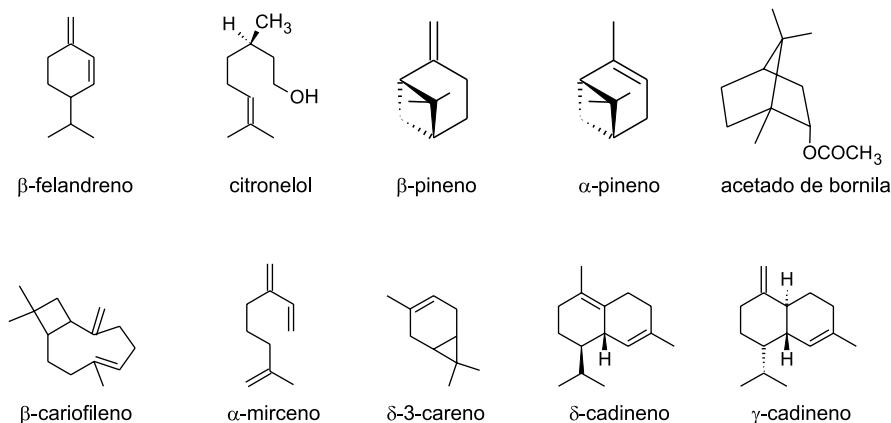
Na Figura 4, apresentam-se alguns exemplos de extrativos voláteis encontrados no óleo essencial de *Pinus peuce* Grisebach (KOUKOS et al., 2000).

As graxas são definidas como ésteres de ácidos carboxílicos de cadeias longas (ácidos graxos) com glicerol, enquanto as ceras são ésteres de ácidos graxos com álcoois de alta massa molecular. Graxas e ceras

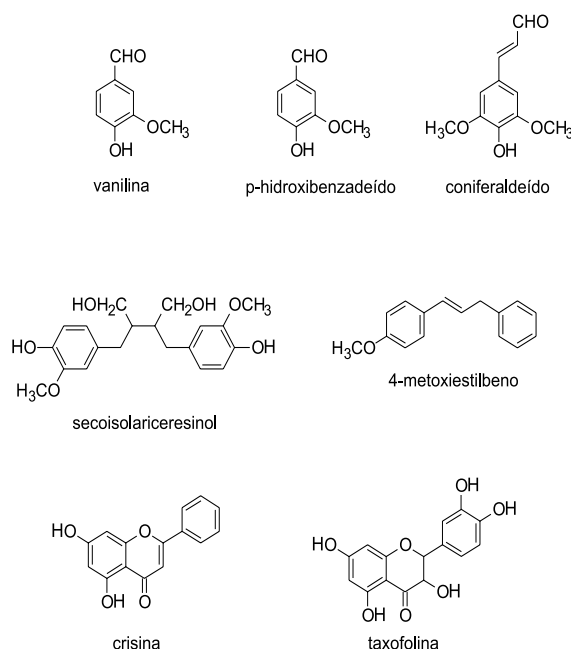
são extraíveis da madeira com solventes orgânicos como éter de petróleo, acetona, éter etílico etc. (SJÖSTRÖM, 1993). Vários ácidos graxos e ceras são encontrados em madeiras de *Pinus* sp.

Nos extrativos de coníferas também se encontram vários compostos fenólicos, dos quais alguns são resíduos e subprodutos da biossíntese da lignina (PHILIPPE D'ALMEIDA, 1988; FRADINHO et al., 2002). Alguns desses compostos são apresentados na Figura 5.

Lignina é uma macromolécula de estrutura complexa constituída de um polímero formado por ligações cruzadas. A lignina é responsável, em parte, pela resistência mecânica das madeiras e funciona também como suporte para dispersão dos metabólitos excretados pelas células (WARDROP, 1971).



**Figuras 4** – Constituintes voláteis encontrados em óleos essenciais de *Pinus peuce*.  
**Figure 4** – Volatile constituents of essential oils from *Pinus peuce*.



**Figura 5** – Estruturas representativas de alguns extrativos encontrados em coníferas.

*Figure 5* – Schematic illustration of extractives from conifers.

Em função da ausência de um estudo químico da madeira de *Pinus oocarpa*, estabeleceu-se o presente trabalho, com o objetivo de analisar os constituintes macromoleculares e extrativos voláteis dessa madeira.

## 2. MATERIAL E MÉTODOS

### 2.1. Procedência da madeira utilizada

Foi selecionada uma árvore de *Pinus oocarpa* de oito anos de idade, com diâmetro à altura do peito (DAP) de 15,0 cm, de um reflorestamento da região de Sacramento, MG. Nas análises, usou-se a madeira de um tronco de aproximadamente 20,0 cm de comprimento e 15,0 cm de diâmetro cortado na altura do DAP.

### 2.2. Obtenção dos extrativos, cinzas e diazotação do extrato diclorometano

Para a obtenção dos extrativos foram executados os procedimentos discutidos nas normas da Associação Brasileira de Celulose e Papel, ABCP M3/69 e ABCP M4/88 (ABCP, 1974). Assim, a madeira foi moída, e utilizou-se a fração que passou pela peneira de 40 mesh e que

ficou retida pela de 60 mesh. A serragem foi transferida para um aparelho “Soxhlet” e extraída com os solventes: etanol:tolueno (1:2, v/v), etanol, diclorometano e água quente.

A obtenção dos voláteis (óleo essencial) foi por arraste de vapor em um aparelho de Clevenger. O óleo obtido foi submetido à análise por cromatografia gasosa acoplada à espectrometria de massas (CG-EM).

A análise de CG-EM foi realizada em um aparelho da Shimadzu, modelo QP 5000, com energia de impacto de 70 eV, coluna DB1 de 30 m, 0,25 mm de d.i., 0,25 µm de espessura de filme e com o seguinte programa de aquecimento: 50 °C (5 min) até 250 °C (16 °C min<sup>-1</sup>); 250 °C (30 min). As temperaturas do injetor e detetor foram de 220 e 250 °C, respectivamente. A identificação dos compostos foi feita com base nos dados da biblioteca de espectros de massas (WILEY, 139) e em índices de Kovat (ADAMS, 1995). Picos com área menor do que 1% da área total não foram considerados.

Para a obtenção do teor de cinzas da madeira de *Pinus oocarpa* foi empregada a norma ABCP M11/77 (ABCP, 1974). Na reação de diazotação, o solvente do extrato diclorometano foi evaporado por meio de um evaporador rotativo a vácuo, à temperatura ambiente, até um volume de 20,00 mL. Desse volume, 10,00 mL foram evaporados até que restasse somente o óleo, para cálculo do rendimento da extração. Os outros 10,00 mL foram metilados com diazometano (ALDRICH TECHNICAL INFORMATION, 1999), sendo o produto metilado submetido à análise por CG-EM.

### 2.3. Determinação do teor de polissacarídeos

A celulose distingue-se analiticamente dos extrativos pela sua insolubilidade em água e solventes orgânicos, das hemiceluloses pela sua insolubilidade em soluções alcalinas aquosas e da lignina pela sua relativa resistência a agentes oxidantes e suscetibilidade à hidrólise por ácidos. A extração sucessiva da holocelulose (preparada pelo método do clorito ácido) com hidróxido de potássio 5 e 24% resulta em valores que, somados, representam verdadeiramente a fração de hemiceluloses da madeira. Assim, a fração de hemiceluloses solubilizada pelo hidróxido de potássio 5% é designada hemicelulose A, a fração solubilizada pelo hidróxido de potássio 24% é designada hemicelulose B e o resíduo fibroso após as duas extrações é designado α-celulose. As glucuronoxilanas são facilmente dissolvidas pelas

soluções de hidróxido de potássio diluídas, enquanto as glucomananas são dissolvidas em pequena extensão (BROWNING, 1967).

Os teores de holocelulose, hemiceluloses A e B e  $\alpha$ -celulose foram determinados pelo método descrito por Browning (1967).

#### 2.4. Determinação do teor de lignina

Para a obtenção da lignina Klason (lignina insolúvel em ácido) foi seguido o procedimento da Technical Association of the Pulp and Paper Industry, TAPPI T222 om-88 (TAPPI, 1999).

O conteúdo de lignina insolúvel foi determinado pela equação 2.

$$\%L_i = \frac{m_1}{m_2} \cdot 100 \quad (2)$$

em que:

$\%L_i$  = lignina insolúvel na amostra (%);

$m_1$  = massa de resíduo (g), base seca; e

$m_2$  = massa da amostra (g), base seca.

A lignina solúvel é aquela que permanece no filtrado obtido no procedimento para a determinação da lignina Klason. O filtrado foi analisado por espectroscopia na região do ultravioleta, conforme o método descrito por Goldschimid (1971). A concentração de lignina solúvel foi calculada pela equação 3.

$$C_{LS} = \frac{4,53A_{215} - A_{280}}{300} \quad (3)$$

em que:

$C_{LS}$  = concentração em g L<sup>-1</sup> de lignina na amostra;

$A_{215}$  = absorvância da solução a 215 nm; e

$A_{280}$  = absorvância da solução a 280 nm.

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

#### 3.1. Teor de extrativos da madeira de *Pinus oocarpa*

Os extrativos da madeira solubilizados pelo diclorometano são as ceras, gorduras, resinas, fitosteróis e hidrocarbonetos não-voláteis. Já a mistura etanol:tolueno (1:2, v/v) extrai da madeira, além dos compostos solúveis em diclorometano, outros compostos

insolúveis, como carboidratos de baixa massa molecular, sais e outras substâncias solúveis em água. Os componentes da madeira solúveis em água incluem sais orgânicos, açúcares, polissacarídeos e algumas substâncias fenólicas. Os valores apresentados no Quadro 2 estão de acordo com os resultados encontrados para outras espécies de *Pinus* (UÇAR e FENGEL, 1995; SENELVA; SIMS, 1999).

Na Figura 6, apresenta-se o cromatograma do óleo essencial obtido da madeira de *Pinus oocarpa*. Os compostos que foram passíveis de identificação são mostrados no Quadro 3, em que os números se referem aos picos da Figura 6.

Observando o cromatograma da Figura 6 e o Quadro 3, nota-se uma concentração relativamente baixa da fração de componentes mais voláteis (monoterpenos), destacando-se a ausência de  $\alpha$ - e  $\beta$ -pinenos, normalmente presentes em grandes quantidades em óleos essenciais. Da fração sesquiterpênica, destacam-se o ledano e outro componente que possivelmente seja o junipineno. A fração diterpênica é a mais abundante e está constituída fundamentalmente por hidrocarbonetos seco-diterpênicos ( $M^+$  258) e diterpênicos ( $M^+$  272 e  $M^+$  274) e pelos ácidos pimárico, deidroabiético e abiético.

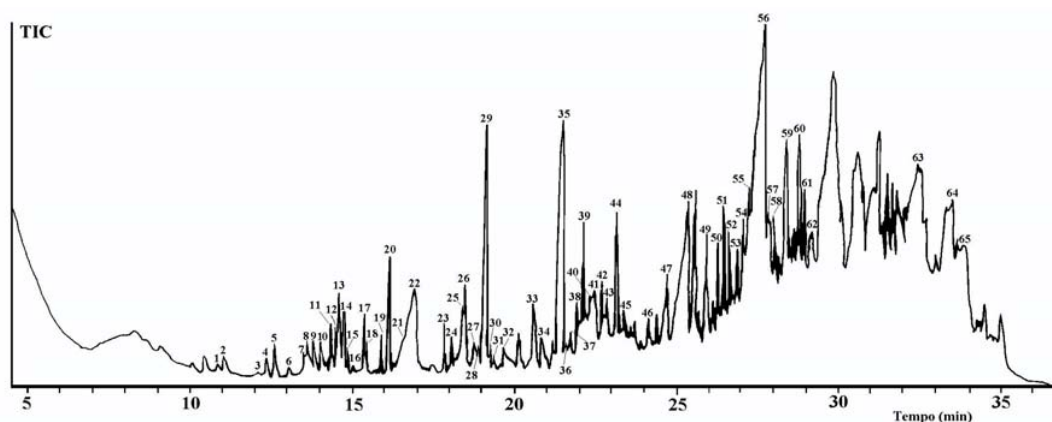
Quando comparado com o óleo essencial do *Pinus caribaea* cultivado na mesma região, nota-se que no óleo de *Pinus oocarpa* a fração de monoterpenos é menos abundante, mas a de sesquiterpenos é mais abundante. Em ambos os casos, a fração de diterpenos apresenta a maior porcentagem de voláteis (NASCIMENTO et al., 1994).

Na Figura 7, apresenta-se o cromatograma do extrato de diclorometano metilado da madeira de *Pinus oocarpa*, enquanto no Quadro 4 são mostrados os componentes mais significativos.

**Quadro 2** – Teores dos extrativos na madeira do *Pinus oocarpa* (madeira absolutamente seca)

**Table 2** – Yield of extractives of *Pinus oocarpa* wood (oven dried wood)

Solvente Utilizado	Conteúdo de Extrativos (%)
Etanol:tolueno (1:2, v/v)	4,38
Etanol	3,01
Diclorometano	2,78
Água quente	4,31



**Figura 6** – Cromatograma gasoso do óleo essencial da madeira de *Pinus oocarpa*.

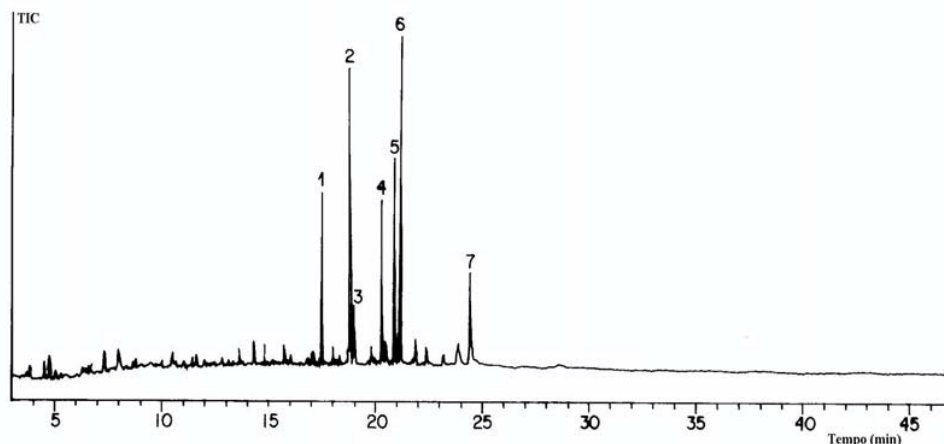
**Figure 6** – Gas chromatogram of the essential oil of *Pinus oocarpa* wood.

**Quadro 3** – Componentes presentes no óleo essencial de *Pinus oocarpa*

**Table 3** – Chemical composition of the essential oil of *Pinus oocarpa* wood

Picos da Figura 6	Compostos Identificados	Picos da Figura 6	Compostos Identificados
1	<i>p</i> -cimeno	31	Não identificado
2	$\beta$ -felandreno	32	$\beta$ -farneseno
3	óxido de $\alpha$ -pineno	33	himalacheno
4	linalol	34	sesquiterpeno oxigenado ( $M^+$ 218)
5	<i>n</i> -nonanal	35	ledano
6	$\alpha$ -canfolenal	36	cariofileno
7	<i>trans</i> -pinocarveol	37	espatulenol
8	<i>p</i> -menten-1,5-dien-8-ol	38	globulol
9	cânfora	39	longiborneol
10	isômero de 8	40	sesquiterpeno oxigenado ( $M^+$ 218)
11	terpinen-4-ol	41	sesquiterpeno oxigenado ( $M^+$ 220)
12	mirtenal	42	sesquiterpeno oxigenado ( $M^+$ 218)
13	$\alpha$ -terpineol	43	hexadecano
14	verbenona	44	longifolenal
15	<i>n</i> -decanal	45	tetradecanal
16	cuminaldeído	46	heptadecano
17	<i>trans</i> -2-decenal	47	ácido mirístico
18	carvona	48	hexadecanal
19	<i>cis</i> -2-decenal	49	ácido palmítico + diterpeno ( $M^+$ 258)
20	felandral	50,51,52 e 53	hidrocarboneto seco-diterpênico ( $M^+$ 258)
21	2-careen-10-ol	54 e 55	hidrocarboneto diterpênico ( $M^+$ 272)
22	ácido decanoico	56	ácido oleico + hid. diterpênico ( $M^+$ 272)
23	<i>trans</i> -2-undecenal	57	aldeído seco-diterpênico ( $M^+$ 272)
24	$\alpha$ -longipineno	58,59 e 60	hidrocarboneto diterpênico ( $M^+$ 274)
25 e 26	sesquiterpeno ( $M^+$ 204)	61 e 62	hidrocarboneto diterpênico ( $M^+$ 272)
27	sativeno	63	ácido pimárico
28	tetradecano	64	ácido deidroabiético
29	aromadendreno	65	ácido abiético
30	sesquiterpeno ( $M^+$ 204)		





**Figura 7** – Cromatograma do extrato de diclorometano metilado de *Pinus oocarpa*.  
**Figure 7** – Chromatogram of the methylated dichloromethane extract of *Pinus oocarpa* wood.

**Quadro 4** – Componentes principais do extrato diclorometano metilado de *Pinus oocarpa*

**Table 4** – Chemical composition of the methylated dichloromethane extract of *Pinus oocarpa* wood

Picos da Figura 7	Compostos Identificados
1	Palmitato de metila
2	Oleato de metila
3	Nonadecanoato de metila
4	Pimarato de metila
5	Isopimarato de metila
6	Deidroabietato de metila
7	4-(4'-hidroxifenil)-2,2,4-trimetilcromano

Os ácidos diterpênicos e graxos são responsáveis pela quase totalidade da massa dos extrativos de *Pinus oocarpa* obtidos com diclorometano. Entretanto, a porcentagem de ácidos diterpênicos é somente ligeiramente maior do que a dos ácidos graxos, diferindo, assim, da composição do *Pinus caribaea* proveniente da mesma região na qual a fração de ácidos diterpênicos é aproximadamente sete vezes mais abundante que aquela correspondente aos ácidos graxos (NASCIMENTO et al., 1994).

### 3.2. Teor de cinzas da madeira de *Pinus oocarpa*

O valor médio de 1,26% encontrado na madeira de *Pinus oocarpa* indica que esta possui um teor de

compostos inorgânicos mais elevado quando comparado com o de outras madeiras. A literatura apresenta um teor de cinzas em torno de 0,5% nas madeiras em geral (FENGEL e WEGENER, 1989).

### 3.3. Teor de polissacarídeos da madeira de *Pinus oocarpa*

A madeira de *Pinus oocarpa* é constituída por 80,27% de holocelulose, ou seja,  $\alpha$ -celulose mais hemiceluloses A e B. No Quadro 5, apresenta-se a composição porcentual mais detalhada dos polissacarídeos na madeira de *Pinus oocarpa*. Esses valores são relacionados à madeira livre de extrativos.

Fengel e Wegener (1989) apresentaram para a madeira de *Pinus sylvestris* um teor de holocelulose de 74,3%, sendo 21,7% de hemiceluloses A e B e 52,2% de  $\alpha$ -celulose. Comparando os valores de holocelulose na madeira do *Pinus oocarpa* e na do *Pinus sylvestris*, observou-se que a primeira apresenta valores superiores nos polissacarídeos totais e na  $\alpha$ -celulose, enquanto nos polissacarídeos de fácil hidrólise (hemiceluloses) a madeira do *Pinus sylvestris* exibe um valor ligeiramente superior. Di Blasi et al. (2001) e Spencer (2001) publicaram dados sobre a composição de várias espécies de *Pinus*, tendo o *Pinus brutia* apresentado 84,05% de holocelulose (SPENCER, 2001). Porém, nenhum dos trabalhos analisados fez menção ao conteúdo de  $\alpha$ -celulose.

**Quadro 5** – Composição porcentual de polissacarídeos na madeira de *Pinus oocarpa*

**Table 5** – Composition of cellulosic material of *Pinus oocarpa* wood

Classe de polissacarídeos	Composição (%)
Hemicelulose A	9,08
Hemicelulose B	12,14
$\alpha$ -celulose	59,05

A madeira de *Pinus oocarpa* se destaca pelo seu alto conteúdo de  $\alpha$ -celulose, sendo, portanto, de grande potencial para produção de celulose. Isso explica por que madeiras dessa espécie, juntamente com as das espécies de *Eucalyptus*, vêm sendo largamente usadas no Brasil. O *Pinus oocarpa* é uma conífera constituída por fibras longas e é utilizada fundamentalmente para a produção de papéis que requerem maior resistência mecânica, como o papel-cartão e de embalagem. Madeiras de folhosas são de fibras curtas e produzem um papel com menor resistência mecânica, sendo sobretudo utilizada para a produção de papel para usos gráficos, uma vez que lhes confere uma boa capacidade de impressão, lisura, brilho e opacidade.

### 3.4. Teor de lignina da madeira de *Pinus oocarpa*

Para a lignina Klason (lignina insolúvel em ácido), encontrou-se um valor de 25,18% na madeira do *Pinus oocarpa*. Somando esse valor àqueles encontrados nos teores de polissacarídeos, extrativos e cinzas da madeira, obtém-se um valor um pouco superior a 100%, o que é perfeitamente aceitável, pois os métodos de isolamento tanto da lignina quanto dos polissacarídeos e extrativos não são rigorosos a ponto de se evitar que exista pequena porcentagem de lignina quando se isolam os polissacarídeos e vice-versa; e os extrativos dependem dos solventes utilizados.

Quanto ao teor de lignina solúvel em ácido, verificou-se que, com os valores de absorvância nos comprimentos de onda de 215 e 280 nm registrados no espectro de ultravioleta (UV) e aplicados à equação 3, foi calculado um valor negativo. Conclui-se que não se obteve lignina solúvel pelo procedimento de Klason. Ligninas de madeiras coníferas têm normalmente baixa solubilidade em solução ácida, ao contrário de ligninas de madeiras de folhosas.

## 4. CONCLUSÕES

A composição química da madeira do *Pinus oocarpa* foi de 59,05% de  $\alpha$ -celulose, 21,22% de hemiceluloses

A e B, 25,18% de lignina Klason, 2,78% de extrativos em diclorometano, 4,38% em etanol:tolueno (1:2, v/v), 4,31% em água quente e 1,26% de cinzas.

O conteúdo em celulose encontrado indicou que a madeira de *Pinus oocarpa* possui grande potencial para produção de celulose.

Os constituintes principais do extrato diclorometano da madeira de *Pinus oocarpa* são ácidos diterpênicos, além dos ácidos palmítico e oléico. No óleo essencial da madeira, os componentes principais identificados foram aromadendreno, ledano, hexadecanal e ácido oléico.

## 5. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Instituto de Química da Universidade Federal de Uberlândia (IQUFU), o suporte durante as experiências e à Fundação de Apoio à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG) a bolsa de Iniciação Científica.

## 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ADAMS, R. P. **Identification of essential oil components by gas chromatography-mass spectroscopy**. Illinois: Allured Publishing Corporation, 1995. 469 p.

ALDRICH TECHNICAL INFORMATION. **Diazald, MNNG, and diazomethane generators**. Milwaukee: 1999. 6 p. (Bulletin Number AL-180).

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA TÉCNICA DE CELULOSE E PAPEL - ABTCP. **Normas técnicas ABCP**. São Paulo: ABTCP, 1974.

BROWNING, B. L. **Methods of wood chemistry**. New York: Interscience Publishers, 1967. v.2. p. 561-587.

DI BLASI, C. et al. Weight loss dynamics of wood chips under fast radioactive heating. **Journal Annual Applied Pyrolysis**, v. 57, p. 77-90, 2001.

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

- FRADINHO, D. M. et al. Chemical characterization of bark and of alkaline bark extracts from maritime pine grown in Portugal. **Industrial Crops and Products**, v. 16, p. 23-32, 2002.
- GOLDSCHMID, O. Ultraviolet spectra. In: SARKANEN, K. V.; LUDWIG, C. H. **Lignins: occurrence, formation, structure and reactions**. New York: John Wiley Interprice, 1971. p. 241-298.
- IRANMAHBOOB, J.; NADIM, F.; MONEMI, S. Optimizing acid-hydrolysis: a critical step for production of ethanol from mixed wood chips. **Biomass and Bioenergy**, v. 22, p. 401-404, 2002.
- KOUKOS, P. K. et al. Chemical composition of essential oils from needles and twigs of balkan pine (*Pinus peuce* Grisebach) grown in northern Greece. **Journal Agriculture Food Chemistry**, v. 48, n. 4, p. 1266-1268, 2000.
- LIMA, A.F.; JARÁ, E. R. P.; ALFONSO, V. A. Madeira como matéria-prima para fabricação de pasta celulósica. In: PHILIPP, P.; D'ALMEIDA, M. L.O. **Celulose e papel: tecnologia de fabricação da pasta celulósica**. 2. ed. São Paulo: IPT, 1988. p. 129-167.
- MOURA, V. P. G.; DVORAK, W. S.; HODGE, G. R. Provenance and family variation of *Pinus oocarpa* grown in the Brazilian cerrado. **Forest Ecology and Management**, v. 109, p. 315-322, 1998.
- NASCIMENTO, E. A. et al. Volatile wood oils of the Brazilian *Pinus caribaea* var. *hondurensis* and Spanish *Pinus pinaster* var. *mediterranea*. **Journal Brazilian Chemistry Society**, v. 5, n. 2, p. 107-112, 1994.
- ONAYADE, O. A. et al. Lavender lactone and other volatile constituents of the oleoresin from seeds of *Garcinia kola heckle*. **Flavour and Fragrance Journal**, v. 13, n. 6, p. 409-412, 1998.
- PHILIPP, P.; D'ALMEIDA, M. L.O. **Celulose e papel: tecnologia de fabricação da pasta celulósica**. 2. ed. São Paulo: IPT, 1988. 964 p.
- SENELVA, K.; SIMS, R. E. H. Fuel characteristics of short rotation forest biomass. **Biomass and Bioenergy**, v. 17, p. 127-140, 1999.
- SJÖSTRÖM, E. **Wood chemistry: fundamentals and application**. London: Academic Press, 1993. 293 p.
- SPENCER, D. Conifers in the dry country. **CSIRO Forestry and Forest Products**, Kingston: RIRDC Publication, 2001. 68 p.
- TAPPI TEST METHOD T222 om-88, Acid-insoluble lignin in wood and pulp. In: **Tappi Test Methods**. Atlanta: Tappi Press, 1999.
- THOMAS, R. J., Wood structure and chemical composition. In: GOLDSTEIN, I. S. **Wood technology: chemical aspects**. Washington, D. C.: American Chemical Society, 1977. p. 1-23. (ACS Symposium Series, 43).
- UÇAR, G.; FENGEL, D. Variation in composition of extractives from wood of *Pinus nigra* varieties. **Phytochemistry**, v. 38, n. 4, p. 877-880, 1995.
- WARDROP, A. B. Occurrence and Formation in Plants. In: SARKANEN, K. V.; LUDWIG, C. H. **Lignins, occurrence, formation, structure and reactions**. New York: John Wiley, 1971. p. 19-32.