

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DO SUDOESTE DA BAHIA  
DEPARTAMENTO DE FITOTECNIA E ZOOTECNIA  
CURSO DE ENGENHARIA FLORESTAL**

**CAIO DA SILVA MAFRA NETO**

**COMPOSIÇÃO QUÍMICA E POTENCIAL DE POLPAÇÃO DA  
MADEIRA *Pterogyne nitens* Tul. (MADEIRA-NOVA)**

**VITÓRIA DA CONQUISTA – BA  
2016**

CAIO DA SILVA MAFRA NETO

**COMPOSIÇÃO QUÍMICA E POTENCIAL DE POLPAÇÃO DA  
MADEIRA *Pterogyne nitens* Tul. (MADEIRA-NOVA)**

Monografia apresentada à Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia – UESB / *Campus* de Vitória da Conquista – BA, para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Florestal.

Orientador: Prof. D. Sc. Dalton Longue Júnior

VITÓRIA DA CONQUISTA – BA  
2016

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DO SUDOESTE DA BAHIA  
DEPARTAMENTO DE FITOTECNIA E ZOOTECNIA  
CURSO DE ENGENHARIA FLORESTAL**

***Campus* Vitória da Conquista – BA.**

**DECLARAÇÃO DE APROVAÇÃO**

Título: Composição química e potencial de polpação da madeira *Pterogyne nitens* Tul. (madeira-nova).

Autor: Caio da Silva Mafra Neto

Aprovado como parte das exigências para obtenção do Título de BACHAREL EM ENGENHARIA FLORESTAL, pela Banca Examinadora:

---

Prof. D. Sc. Dalton Longue Júnior – UESB  
Presidente

---

Prof. D. Sc. Gilmar Correia Silva - UESB

---

Prof. D. Sc. Joílson Silva Ferreira - UESB

Data de realização: 22 de Fevereiro de 2016

UESB – *Campus* Vitória da Conquista, Estrada do Bem Querer Km 04.

Telefone: (77) 3425-9380

Fax: (77) 3424-1059

CEP: 45083-900

E-mail: ccengflor@uesb.edu.br

## AGRADECIMENTOS

Deus. Fonte incondicional de todo amor. Agradeço por guiar-me nessa árdua e gratificante caminhada que foi a minha graduação.

Aos meus pais, Roberto e Arlindalva, agradeço por serem o meu alicerce, meu porto seguro, e por lutarem para que meu sonho de ser engenheiro se tornasse realidade. Agradeço aos meus irmãos Hugo e Ellen por estarem ao meu lado me fazendo sentir amado e respeitado. À Lisiane, pessoa muito especial em minha vida, agradeço por me acompanhar tanto nos momentos difíceis da universidade como nos momentos difíceis do meu dia-a-dia. E aos demais familiares que de alguma forma contribuíram na minha caminhada, agradeço de todo o coração.

À todos os meus amigos, deixo o meu obrigado por todo o apoio e toda a consideração, aos amigos floresteiros, principalmente Aline, Allana Katiussya, Flávia, Iann, Kaíque, Márcio, Mariana, Matheus, Paloma, Pedro, e em especial Murilo e Rodrigo, agradeço a companhia e a parceria durante esses 5 anos.

À equipe do Laboratório de Celulose e Papel da Universidade Federal de Viçosa deixo o meu muito obrigado pela ajuda na realização dos procedimentos laboratoriais necessários para a confecção dessa monografia.

Por fim, agradeço a todos os profissionais da educação que me prepararam para a entrada na universidade e àqueles que, já na graduação, me ensinaram o prazer e a responsabilidade de ser um engenheiro florestal. A Paulo Araquém Ramos Cairo e Dalton Longue Júnior, deixo a minha imensa gratidão, uma vez que foram estes professores/amigos que aceitaram o desafio de contribuir um pouco mais na minha formação profissional.

*"A persistência é o caminho do êxito"*

*Charles Chaplin*

*“A formatação do presente trabalho segue as normas textuais da Revista Scientia Forestalis.”*

**COMPOSIÇÃO QUÍMICA E POTENCIAL DE POLPAÇÃO DA MADEIRA**

***Pterogyne nitens* Tul. (MADEIRA-NOVA)**

**CHEMICAL COMPOSITION AND WOOD PULPING POTENTIAL OF *Pterogyne nitens***

**Tul. (MADEIRA-NOVA)**

**Caio da Silva Mafra Neto e Dalton Longue Júnior**

## RESUMO

A grande dependência de madeiras dos gêneros *Eucalyptus* e *Pinus* associada à busca por produtos de diferentes qualidades impulsionam estudos acerca de madeiras alternativas para fins industriais. O objetivo deste estudo foi caracterizar quimicamente a madeira da espécie *Pterogyne nitens*, assim como, analisar seu potencial para produção de polpa celulósica. Foram colhidas três árvores de 9 anos em um plantio experimental localizado na Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia – *Campus* Vitória da Conquista, e amostradas cinco seções do fuste à 0, 25, 50, 75 e 100% da altura comercial. Os toretes foram transformados em cavacos e homogeneizados formando uma amostra composta representativa para a análise química completa (teor de celulose, hemicelulose, lignina, extrativos e minerais) e para a polpação Kraft (três cozimentos utilizando diferentes cargas de álcali efetivo objetivando um número kappa 18). A madeira de *Pterogyne nitens* apresentou 41,9% de celulose, 24,8% de hemicelulose, 26,6% de lignina total, 7,3% de extrativos e 0,5% de minerais. Sua densidade básica foi de 0,64 g.cm<sup>-3</sup>. A polpa marrom produzida (número kappa 18) apresentou rendimento depurado de 45,9% e viscosidade igual a 1075 dm<sup>3</sup>.kg<sup>-1</sup>, demandando uma carga de álcali de 16,4%. Diante desses números, a espécie não se mostra como uma alternativa interessante para a produção de polpa celulósica.

Palavras Chave: celulose, lignina, qualidade, rendimento, processo Kraft.

## ABSTRACT

The strong dependence of wood of *Eucalyptus* and *Pinus* genus associated to the search for products of different qualities lead to studies about alternative wood for industrial use. The aim of this study was to characterize chemically the *Pterogyne*

*nitens* wood and analyze its potential for pulp production. Three trees of 9 years old were harvested in an experimental plantation located at Bahia Southwest State University - Vitória da Conquista *Campus*, and sampled five short logs at 0, 25, 50, 75 and 100% of the commercial height. Logs were transformed in chips and homogenized to form a representative composed sample for total chemical analysis (cellulose, hemicelluloses, lignin, extractives and minerals content) and Kraft pulping (three cookings using different effective alkali loads to establish kappa number 18). The *Pterogyne nitens* wood showed contents of cellulose (41.9%), hemicelluloses (24.8%), total lignin (26.6%), extractives (7.3%) and minerals (0.5%). Basic density was 0.64 g.cm<sup>-1</sup>. The produced unbleached pulp (kappa number 18) had screened yield of 45.9% and viscosity of 1075 dm<sup>3</sup>.kg<sup>-1</sup>, demanding an alkali charge of 16.4%. Given these numbers, the species does not show itself as an interesting alternative for the pulp production.

Keywords: cellulose, lignin, quality, yield, kraft process.

## 1. INTRODUÇÃO

Nos últimos anos o setor florestal brasileiro vem atravessando um período de intenso desenvolvimento. O avanço tecnológico ocorrido nas florestas e nas indústrias de transformação da madeira, aliado ao crescimento populacional e a alta demanda de produtos e subprodutos de origem florestal foram os principais fatores que impulsionaram essa evolução. Essa tendência tem levado ao aumento da produção de alimentos, de óleos essenciais e, principalmente, de madeira, material largamente requisitado por abastecer as indústrias de celulose e papel, energia (lenha e carvão vegetal), produtos sólidos de madeira (madeira serrada e produtos de madeira reconstituída), entre outros.

Este intenso desenvolvimento do setor deve ser acompanhado pelo aumento das áreas cobertas por florestas plantadas, que no ano de 2005, correspondia à aproximadamente 5,6 milhões de hectares (ABRAF, 2006) e, em 2013, 7,6 milhões de hectares, apresentando um crescimento pouco expressivo para um país de dimensões continentais como o Brasil (IBÁ, 2014).

Os gêneros *Eucalyptus* e *Pinus* ocupam a maior parte dessa área total florestada no país devido ao fato de serem as mais estudadas e adaptadas, e seus produtos comercializados em todo o mundo. Isso se deve ao fato de suas características tecnológicas terem sido bem determinadas e selecionadas pelo mercado, sendo consideradas as principais fontes de fibras para a fabricação de celulose. Nesse aspecto se destaca o gênero *Eucalyptus*, não somente no Brasil como em diversos outros países (PUPO, 2015). Entretanto, apesar de existirem centenas de espécies desses gêneros já conhecidas pelo homem, poucas são utilizadas em plantios comerciais, sendo plantadas em grandes áreas, gerando assim redução da biodiversidade (BINKOWSKI, 2009).

O estreitamento dessa biodiversidade, associado à grande dependência desses gêneros pelo setor florestal brasileiro, tem levado ao aumento da procura por madeiras alternativas em regiões de florestas naturais para o estabelecimento de novos plantios florestais. Mesmo para a utilização menos nobre dessas madeiras, como móveis de categorias inferiores, estacas de madeira, lenha ou até mesmo para produção de carvão vegetal e celulose e papel, se torna válido um estudo detalhado das suas propriedades tecnológicas.

Nesse contexto se encontra a espécie *Pterogyne nitens* (madeira-nova), pertencente à família Fabaceae, interessante a ser analisada por apresentar boa ocorrência em alguns estados do Brasil, como Alagoas, Bahia, Espírito Santo, Mato

Grosso, Mato Grosso do Sul, Minas Gerais, Paraíba, Paraná, Pernambuco, Rio Grande do Sul, São Paulo e Sergipe (LORENZI, 1992), cuja a falta de informações pode estar limitando sua utilização como uma opção comercial.

As madeiras são materiais de composição heterogênea e apresentam uma série de características tecnológicas que variam entre espécies. Dentre essas, destacam-se as características químicas, que apresentam alta relação com as características anatômicas, físicas e mecânicas, influenciando o comportamento da mesma, bem como de seus derivados (ZIECH, 2008).

Dessa forma, devido ao fato do Brasil possuir grande potencial para produção florestal, além da necessidade de se buscar diferentes espécies para a exploração comercial, sendo a *Pterogyne nitens* uma possível alternativa, o objetivo desse estudo foi determinar a composição química dessa espécie e avaliar o seu potencial de utilização como matéria-prima na produção de polpa celulósica.

## **2. MATERIAL E MÉTODOS**

### **2.1. Materiais utilizados**

A amostragem e a coleta do material foram realizadas num plantio experimental da espécie *Pterogyne nitens* localizado na Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia – *Campus* Vitória da Conquista.

A região apresenta precipitação pluviométrica variando de 700 a 1.000 mm anuais, sendo os meses mais chuvosos de novembro a março. A temperatura média anual é de 21 °C. O solo da região é classificado como Latossolo Vermelho-Amarelo (LVA) Distrófico, com textura média e de topografia suavemente ondulada a plana e boa drenagem (BOMFIM et al, 2009). O plantio foi estabelecido há aproximadamente 9 anos com espaçamento de 3 x 3 m numa altitude de aproximadamente 900 m.

Foram colhidas três árvores e retirado de cada uma cinco toretes à 0, 25, 50, 75 e 100% da altura comercial (diâmetro mínimo 7 cm). Os toretes foram transformados em cavacos por meio de um picador laboratorial dotado de duas peneiras classificadoras com aberturas de 39 x 39 mm e 6 x 6 mm. Os cavacos foram reclassificados em peneira com abertura de 16 x 16 mm, e por fim foi realizada uma classificação manual para eliminar fragmentos de casca e cavacos com defeitos. Os cavacos foram misturados para formar uma amostra composta.

## **2.2. Determinação das características químicas da madeira**

Para a determinação da composição química da madeira, uma amostra representativa dos cavacos foi transformada em serragem, utilizando moinho tipo Willey. A serragem foi classificada em peneiras 40 e 60 mesh, sendo utilizada nas análises a fração que ficou retida na peneira de 60 mesh.

O material foi acondicionado em sala com umidade relativa de  $50 \pm 2\%$  e temperatura de  $23 \pm 2$  °C e, em seguida, foi determinado seu teor absolutamente seco (acima de 90%). A amostra foi acondicionada em recipiente hermeticamente fechado para manter sua umidade constante.

As análises químicas foram realizadas em triplicata e os respectivos procedimentos analíticos estão descritos na Tabela 1. Todos esses procedimentos foram realizados no Laboratório de Celulose e Papel da Universidade Federal de Viçosa.

**Tabela 1.** Procedimentos analíticos**Table 1.** Analytical procedures

<b>Parâmetros</b>	<b>Procedimentos</b>
Preparo da amostra	TAPPI T257 om-02
Teor de umidade	TAPPI T264 cm-07
Teor de carboidratos	SCAN-CM 71:09
Teor de ácidos urônicos	SCOTT, 1979
Teor de grupos acetila	SOLAR et al., 1987
Teor de lignina insolúvel em ácido	SCAN-CM 71:09
Teor de lignina solúvel em ácido	TAPPI UM 250
Relação siringila/guaiacila da lignina	LIN e DENCE, 1992
Teor de extrativos totais	TAPPI T204 cm-97 (adaptado)
Teor de minerais	TAPPI T211 om-93

### 2.3. Polpação da madeira

Foram utilizados cavacos absolutamente secos para a realização de três cozimentos kraft (aproximadamente 500 gramas para cada cozimento) aplicando diferentes cargas de álcali (conforme Tabela 2) com objetivo de obter uma polpa marrom de número kappa 18, em digestor batch tipo M&K com capacidade de 8 litros. Esse digestor é equipado com um trocador de calor e bomba de circulação direta, sendo o tempo e a temperatura controlados por computador. Uma amostra de cavacos foi retirada para análise da densidade básica (Norma ABTCP M 14/70). Os parâmetros de cozimento estão descritos na Tabela 2.

**Tabela 2.** Condições do cozimento kraft de cavacos da madeira *Pterogyne nitens***Table 2.** Kraft cooking conditions of *Pterogyne nitens* wood chips

<b>Condições de cozimento kraft</b>	
Tempo até temperatura - TTT (min)	90
Tempo à temperatura - TAT (min)	90
Temperatura de reação (°C)	170
Álcali efetivo (%)	21, 17 e 16
Sulfidez (%)	32
Relação licor/madeira (m <sup>3</sup> .t <sup>-1</sup> )	4:1

Ao final do cozimento, o licor negro foi drenado do digestor e uma parte foi coletada e analisada quanto ao álcali efetivo residual (TAPPI T 625 cm-85) e pH,

enquanto os cavacos foram lavados de forma exaustiva com água corrente e a individualização das fibras foi feita em um *hydrapulper* com capacidade de 20 litros. A polpa foi depurada em um depurador laboratorial equipado com peneira de 0,2 mm, desaguada à aproximadamente 30% de consistência e armazenada em sacos de polietileno. Foram determinados o número kappa (TAPPI T 236 cm-85), rendimento depurado (Gravimétrico – Propriedade LCP/UFV), teor de rejeitos (Gravimétrico – Propriedade LCP/UFV) e viscosidade (TAPPI T 230 om-94) da polpa marrom.

Foi realizada uma análise de regressão utilizando os dados dos três cozimentos afim de estabelecer os parâmetros e propriedades da polpa a número kappa 18.

### **3. RESULTADOS E DISCUSSÃO**

#### **3.1. Características físico-químicas da madeira**

A densidade básica apresentada pela espécie *Pterogyne nitens* foi de  $0,64 \text{ g.cm}^{-3}$ , conforme Tabela 3, sendo considerada uma madeira de média a alta densidade.

A densidade básica da madeira é um parâmetro de grande importância nas indústrias de polpa celulósica por exercer influência antagônica no consumo específico de madeira ( $\text{m}^3$  de madeira/tonelada de celulose) e nas propriedades e qualidade da polpa. Madeiras de maior densidade normalmente acarretam maiores produções, devido à maior relação peso/volume.

Comparada a outras espécies, a *Pterogyne nitens* apresentou densidade inferior à espécie da caatinga *Mimosa caesalpiniaefolia* ( $0,78 \text{ g.cm}^{-3}$ ) (GONÇALVES et al., 2010) e superior à densidade da espécie amazônica *Schizolobium*

*amazonicum* (0,28 g.cm<sup>-3</sup>) (VIDAURRE, 2010). Em relação à um clone comercial de *Eucalyptus urophylla* (0,54 g.cm<sup>-3</sup>) (MOKFIENSKI, 2004), a madeira estudada apresentou densidade básica superior. Diante desses números, a madeira *Pterogyne nitens* apresenta-se como uma opção interessante de ser estudada.

**Tabela 3.** Resultados das análises físico-químicas da madeira de *Pterogyne nitens*  
**Table 3.** Results of physical-chemical analysis of *Pterogyne nitens* wood

Características		Média
Densidade básica (g.cm <sup>-3</sup> )		0,64
*Celulose (%)		41,9
	Xilanas	14,3
	Galactanas	0,97
	Mananas	0,88
**Hemiceluloses (%)	Arabinanas	0,93
	Grupos Acetila	4,00
	Ácidos Urônicos	3,68
	**Total	24,76
Extrativos (% em etanol/tolueno, 1:2)		7,28
Minerais (%)		0,45
	Solúvel	2,76
***Lignina (%)	Insolúvel	23,8
	***Total	26,56
	Siringila, gmol	1,58
Relação S:G	Guaiacila, gmol	0,73
	S:G	2,17

\* teor de celulose igual ao de glicanas.

\*\* teor total de hemiceluloses igual à soma dos grupos acetila, dos ácidos urônicos e dos açúcares (xilanas, arabinanas, galactanas e mananas).

\*\*\* teor total de lignina igual à soma de lignina solúvel e insolúvel

Em relação a composição química da madeira, o conhecimento de sua natureza e das diferentes proporções dos seus componentes principais possibilita ao usuário o entendimento de seu comportamento como matéria-prima para os diversos fins industriais (SJÖSTRÖM, 1993), principalmente para a produção de polpa celulósica.

A madeira de *Pterogyne nitens* apresentou um teor de celulose de 41,9%, superior ao da espécie *Mimosa caesalpiniaefolia* (32,8%) (GONÇALVES et al., 2010) e inferior ao da espécie *Schizolobium amazonicum* (50,7%) (VIDAURRE, 2010). Ao

comparar com uma espécie comercial de *Eucalyptus urophylla* (50,9%) utilizada na produção de polpa celulósica no Brasil (MOKFIENSKI, 2004), o valor também se mostrou inferior, se apresentando como uma opção menos atrativa para este fim, já que o rendimento no processo de polpação está correlacionado positivamente com o teor de celulose na madeira (FERREIRA et al., 2006).

O teor de hemiceluloses está ligado tanto aos processos de polpação da madeira quanto à qualidade do produto final. As hemiceluloses são muito hidrofílicas devido às suas estruturas ramificadas e amorfas, o que facilita o inchamento através da absorção de água, quesito importante para algumas aplicações no setor papelero (MANFREDI, 2010).

O teor de hemiceluloses presente na madeira de *Pterogyne nitens* foi de 24,8% (Tabela 3), inferior ao teor apresentado pela espécie *Mimosa caesalpiniaefolia* (33,2%) (GONÇALVES et al., 2010) e superior ao teor de hemiceluloses da espécie *Schizolobium amazonicum* (14,9%) (VIDAURRE, 2010). Quando comparada à espécie *Eucalyptus urophylla* (22,5%) estudada por Mokfienski (2004), percebe-se uma pequena diferença.

Dentre os açúcares que compõem as hemiceluloses de folhosas, destacam-se as xilanas, por serem encontradas em maiores quantidades em relação aos demais (SJÖSTRÖM, 1993). A madeira *Pterogyne nitens*, *Eucalyptus urophylla* e *Schizolobium amazonicum* apresentaram, respectivamente, teores de 14,3, 13,5 e 11,2% de xilanas, maioritários dentre os açúcares componentes das hemiceluloses.

Para produção de polpa celulósica, é importante se estudar não somente o teor de xilanas, mas também os grupos químicos que estão ligados lateralmente às suas cadeias básicas (ácidos urônicos e grupos acetila).

Os ácidos urônicos, além de elevar o consumo de álcali no cozimento da madeira, são geradores de ácidos hexenurônicos, afetando negativamente o branqueamento da celulose (COSTA et al., 2001); a presença de grupos acetila nas xilanas constitui uma desvantagem tecnológica, pois, além de consumir álcali durante o cozimento kraft, representa perda de rendimento, uma vez que são totalmente hidrolisados e solubilizados durante o cozimento (GOMIDE; FANTUZZI NETO, 2000).

A espécie *Pterogyne nitens* apresentou teor de ácidos urônicos e de grupos acetila de, respectivamente, 3,7 e 4,0%. Gomide et al. (2005), estudando espécies de eucaliptos utilizados por empresas no Brasil, verificou-se um teor de ácidos urônicos variando de 3,2 à 4,7% e um teor de grupos acetila variando de 2,6 a 3,1%.

Sobre os demais açúcares (arabinana, manana e galactana) para a espécie *Pterogyne nitens* somaram 2,8% do peso da madeira seca, sendo próximo a soma para o *Eucalyptus urophylla* (2,1%) (MOKFIENSKI, 2004) e maior que a do *Schizolobium amazonicum* (1,5%) (VIDAURRE, 2010).

Para a espécie *Pterogyne nitens* o teor de lignina klason foi de 23,8% e o de lignina solúvel em ácido foi de 2,8% (Tabela 3), enquanto que, para as espécies *Eucalyptus urophylla*, *Schizolobium amazonicum* e *Mimosa caesalpiniaefolia*, o teor de lignina insolúvel variou de 23,6 à 24,6% e o teor de lignina solúvel variou de 1,8 à 3,0% (MOKFIENSKI, 2004; GONÇALVES et al., 2010; VIDAURRE, 2010).

Madeiras de espécies folhosas que crescem em climas tropicais tendem a produzir normalmente altas concentrações de lignina total como é o caso das madeiras de eucalipto plantadas no Brasil, que possuem teores de lignina compreendidos entre 25 – 30% (GOMIDE; COLODETTE, 2007).

O teor de lignina total da *Pterogyne nitens* (26,6%) está de acordo com os valores normais para as madeiras folhosas tropicais, sendo um valor similar ao do *Eucalyptus urophylla* (26,6%) (MOKFIENSKI, 2004) e menor que a da *Schizolobium amazonicum* (29,7%) (VIDAURRE, 2010).

Além da quantificação do teor de lignina da madeira, é importante também o estudo das estruturas químicas que a compõe (relação S:G da lignina; S=Siringila, G=Guaiacila), uma vez que elas afetam diretamente a reatividade e o rendimento dos processos de transformação da madeira em polpa celulósica.

A relação S:G da madeira *Pterogyne nitens* foi 2,17 (Tabela 3). Em outras palavras, a lignina dessa espécie florestal apresentou um pouco mais de 2 unidades siringila para cada unidade guaiacila.

Barbosa et al. (2008) relataram que, no processo de polpação, a velocidade de deslignificação da madeira é influenciada pela estrutura da lignina, sendo diretamente proporcional à relação S:G, uma vez que a estrutura siringila da lignina é mais reativa e, portanto, mais fácil de ser removida durante o processo de polpação Kraft, aumentando o rendimento. Gomes et al. (2008) ressaltam que a madeira desejável para produção de celulose kraft deve apresentar baixo teor de lignina associado a uma alta relação S:G da lignina.

Assim, o teor de lignina total da madeira *Pterogyne nitens* se encontra em conformidade com as demais madeiras comerciais brasileiras, sendo a relação S:G da lignina considerada baixa para sua aplicação no setor de polpa celulósica.

O teor de extrativos da madeira *Pterogyne nitens* foi de 7,3%, valor maior que os teores dos extrativos relatados por Gomide et al. (2005) para várias espécies de eucaliptos utilizados por empresas brasileiras de polpa celulósica (1,76 à 4,13%). Madeiras com alto teor de extrativos apresentam menor rendimento em polpa e

maior potencial para formação de depósitos (*pitch*) nas máquinas, levando ao aumento no custo de manutenção e perdas de qualidade no produto final.

Considerando o teor de minerais na produção de polpa celulósica, este pode gerar uma série de problemas no processo de polpação, dentre os quais incrustações e corrosões nas paredes e tubulações da seção de recuperação do licor residual, e uma vez que uma quantidade destes minerais adentra nas fábricas através da madeira (KIMO, 1986), é interessante a busca por madeiras com menor teor de minerais possível.

Fengel e Wegener (1984) relataram que o teor de minerais para madeiras de clima tropical pode atingir até 5% do peso da madeira.

A madeira *Pterogyne nitens* apresentou um teor de minerais de 0,5%, podendo ser considerado um material com baixo teor desse componente.

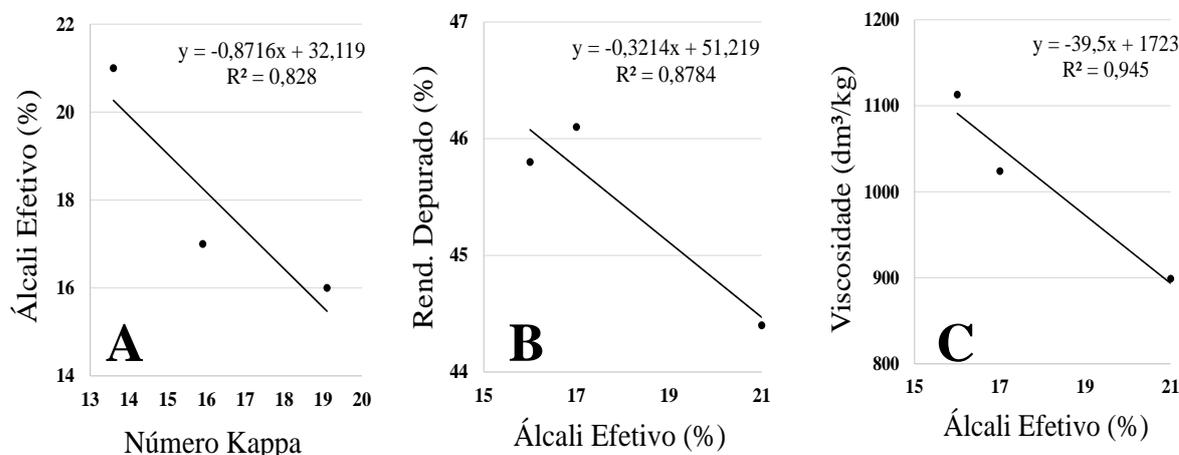
### **3.2. Polpação da madeira**

Na Figura 1A é apresentada a relação entre a carga alcalina (expressa em álcali efetivo - AE) e o número kappa (indicador da quantidade de lignina residual da polpa). A relação matemática  $AE = -0,8716 * \text{kappa} + 32,119$  apresentou um coeficiente de correlação satisfatório de 82,8% e, por estimativa, uma carga de álcali efetivo de 16,4% para a obtenção de uma polpa marrom de número kappa 18.

A relação matemática entre o rendimento depurado (RD) e a carga de álcali efetivo  $RD = -0,3214 * AE + 51,219$  (Figura 1B) apresentou um coeficiente de correlação satisfatório de 87,9% e, por estimativa, um rendimento depurado de 45,9%, para a obtenção de uma polpa marrom de número kappa 18.

Na Figura 1C é mostrada a relação entre a viscosidade da polpa (V) e a carga de álcali efetivo. A relação matemática  $V = -39,5 * AE + 1723$  apresentou um coeficiente

de correlação satisfatório de 0,95%, e por estimativa, uma viscosidade de 1075 dm<sup>3</sup>.kg<sup>-3</sup>, para a obtenção de uma polpa marrom de número kappa 18.



**Figura 1.** Relações matemáticas utilizadas para obtenção de polpa marrom número kappa 18 a partir de cavacos da madeira *Pterogyne nitens*: (A) Álcali efetivo x número kappa; (B) Rendimento depurado x álcali efetivo; (C) Viscosidade x álcali efetivo.

**Figure 1.** Mathematical relations used to obtain unbleached pulp kappa number 18 from *Pterogyne nitens* wood chips: (A) Effective alkali x kappa number; (B) Screened yield x effective alkali; (C) Viscosity x effective alkali.

Os resultados dos três cozimentos realizados com os cavacos da madeira *Pterogyne nitens* bem como os dados das estimativas para a obtenção de uma polpa marrom número kappa 18 estão apresentados na Tabela 4.

**Tabela 4.** Parâmetros da polpação kraft e características das polpas marrons e do licor negro provenientes de cozimentos da madeira *Pterogyne nitens*

**Table 4.** Kraft pulping parameters and characteristics of unbleached pulps and black liquor from cooking of *Pterogyne nitens* wood

Cozimento	1	2	3	I*
Número Kappa	13,6	15,9	19,1	18,0*
Álcali Efetivo (%)	21,0	17,0	16,0	16,4
Viscosidade (dm <sup>3</sup> .kg <sup>-1</sup> )	899	1024	1113	1075
Rendimento Depurado (%)	44,4	46,1	45,8	45,9
Rejeito (%)	0,1	0,4	1,4	-
Rendimento Total (%)	44,5	46,5	47,2	-
Álcali Efetivo Residual (g.l <sup>-1</sup> )	8,1	4,4	2,3	-
pH do Licor Negro	13,4	13,1	12,4	-

I\*Valores estimados para Número Kappa 18

Para número kappa 18 foi estimada uma carga de álcali efetivo de 16,4%, valor esse considerado elevado quando comparado ao cozimento de madeiras comerciais, como eucalipto, para mesmo número kappa e sulfidez. Segundo Mokfienski (2004), o cozimento de madeiras de *Eucalyptus urophylla* consumiu 14,4% de álcali efetivo para número kappa 18 (sulfidez 30%).

O rendimento depurado, que indica, em valores percentuais, a quantidade de polpa celulósica produzida a partir de uma quantidade de madeira, além de outros fatores, também foi influenciada pela carga alcalina.

Utilizando uma carga de álcali efetivo de 16,4% (kappa 18), foi estimado um rendimento depurado de 45,9%, enquanto que para *Eucalyptus urophylla*, utilizando-se uma carga de álcali efetivo de 14,4% (kappa 18), encontrou-se um rendimento depurado de 51,6% (MOKFIENSKI, 2004). Em outras palavras, além de ser necessária maior carga alcalina, a *Pterogyne nitens* apresentou um rendimento depurado menor quando comparada à uma espécie utilizada pelas indústrias de polpa celulósica no Brasil.

Segundo Gomide et al. (2005), a demanda de altas cargas de álcali constitui uma característica altamente desfavorável, uma vez que provoca perda de rendimento, degradação mais intensa das cadeias dos carboidratos, sobrecarga da caldeira de recuperação e aumento do custo de produção. É neste ponto em que a *Pterogyne nitens* apresenta-se como uma opção pouco viável para a produção de polpa celulósica.

Considerando a qualidade da polpa celulósica, outra característica de grande importância é a viscosidade, que expressa o grau de degradação das fibras de celulose ocorridas durante o processo de polpação. A madeira de *Pterogyne nitens* apresentou uma viscosidade estimada para número kappa 18 de 1075 dm<sup>3</sup>.kg<sup>-1</sup>,

enquanto que Mokfienski (2004) encontrou para *Eucalyptus urophylla* (kappa 18) uma maior viscosidade ( $1365 \text{ dm}^3 \cdot \text{kg}^{-1}$ ).

Além das características do produto, é importante também analisar parâmetros relacionados ao processo de cozimento, como o álcali efetivo residual. Normalmente, procura-se manter uma concentração de álcali residual dos licores na faixa de 5 a 12 gramas  $\text{NaOH} \cdot \text{L}^{-1}$  (GRACE et al., 1989).

Foi observado nos cozimentos 2 e 3 (Tabela 4) que os valores de álcali efetivo residual ficaram abaixo da faixa recomendável, indicando a possibilidade de parte da lignina ter se precipitado novamente na superfície das fibras e que o aperfeiçoamento do cozimento (tempo e temperatura) para elevar o álcali efetivo residual pode levar a um melhor desempenho dessa madeira.

#### **4. CONCLUSÕES**

A madeira de *Pterogyne nitens* apresentou 41,9% de celulose; 24,8% de hemiceluloses; 26,6% de lignina total; relação S:G da lignina igual a 2,17; 7,3% de extrativos; 0,5% de minerais e densidade básica de aproximadamente  $0,64 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$ .

A polpa marrom proveniente da madeira *Pterogyne nitens* (número kappa 18) apresentou rendimento depurado de 45,9% e viscosidade igual a  $1075 \text{ dm}^3 \cdot \text{kg}^{-1}$ , demandando uma carga de álcali efetivo de 16,4%.

Portanto, no estágio silvicultural em que se encontra, a espécie *Pterogyne nitens* não se apresenta como opção viável para o setor de celulose e papel.

#### **5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA TÉCNICA DE CELULOSE E PAPEL – ABTCP. **Métodos de ensaio**. São Paulo: ABCTP, 1974. 18p.

ABRAF - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE PRODUTORES DE FLORESTAS PLANTADAS. **Anuário Estatístico ABRAF 2006 ano base 2005**. Brasília, 2006. Disponível em: <<http://www.abraflor.org.br>>. Acesso em: 05 mar. 2015.

BARBOSA, L. C. A.; MALTHA, C. R. A.; SILVA, V. L.; COLODETTE, J. L. Determinação da relação Siringila/Guaiacila da lignina em madeiras de eucalipto por pirólise acoplada à cromatografia gasosa e espectrometria de massas (PI-CG/EM). **Química Nova**, São Paulo, v. 31, n. 8, p. 2035- 2041. 2008.

BINKOWSKI, P. **Conflitos ambientais e significados sociais em torno da expansão da silvicultura de eucalipto na “metade sul” do Rio Grande do Sul**. 2009. 212 p. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento Rural) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

BOMFIM, A. A.; NOVAES, A. B. de; SÃO JOSÉ, A. R.; GRISI, F. A. Avaliação morfológica de mudas de madeira-nova (*Pterogyne nitens* Tull.) produzidas em tubetes e sacos plásticos e de seu desempenho no campo. **Floresta**, Curitiba, v. 39, n. 1, p. 33-40, jan./mar. 2009.

COSTA, M. M.; MOUTEER, A. H.; COLODETTE, J. L. Ácidos hexenurônicos Parte I: origem, quantificação, reatividade e comportamento durante a polpação kraft. **O Papel**, São Paulo, v. 62, n. 5, p. 75-85. 2001.

FERREIRA, C. R.; FANTINI JUNIOR, M.; COLODETTE, J. L.; GOMIDE, J. L.; CARVALHO, A. M. M. L. Avaliação tecnológica de clones de eucalipto: parte 1- qualidade da madeira para a produção de celulose Kraft. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, n. 70, p. 161-170, abr. 2006.

FENGEL, D.; WEGENER, G. **Wood, chemistry, ultrastructure, reactions**. New York: Walter de Gruyter, 1984. 613p.

GOMES, F. J. B.; GOUVÊA, A. F. G.; COLODETTE, J. L.; GOMIDE, J. L.; CARVALHO, A. M. M. L.; TRUGILHO, P. F.; GOMES, C. M.; ROSADO, A. M. Influência do teor e da relação S/G da lignina da madeira no desempenho da polpação Kraft. **O Papel**, São Paulo, v. 69, n. 12, p. 95-105, dez. 2008.

GOMIDE, J. L.; COLODETTE, J. L. Qualidade da madeira. In: BOREM, A. **Biotecnologia florestal**. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 2007. p. 25-54.

GOMIDE, J. L.; COLODETTE, J. L.; OLIVEIRA, R. C.; SILVA, C. M. Caracterização tecnológica, para produção de celulose, da nova geração de clones de *Eucalyptus* do Brasil. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 29, n. 1, p. 129-137. 2005.

GOMIDE, J.L.; FANTUZZI NETO, H. Aspectos fundamentais da polpação kraft de madeira de *Eucalyptus*. **O Papel**, São Paulo, v.3 n. 61, p. 62-68. 2000.

GONÇALVES, C. A.; LELIS, R. C. C.; ABREU, H. S. Caracterização físico-química da madeira de sabiá (*Mimosa caesalpiniaefolia* Benth.). **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 23, n. 1, p. 54-62, jan./mar. 2010.

GRACE, T. M.; LEOPOLD, B.; MALCON, E. W. **Pulp and paper manufacture - Alkaline pulping**. Atlanta: Tappi, 1989. 637 p.

INDÚSTRIA BRASILEIRA DE ÁRVORES. **IBÁ 2014**. Brasília, 2014. Disponível em: < [http://www.iba.org/shared/iba\\_2014\\_pt.pdf](http://www.iba.org/shared/iba_2014_pt.pdf)>. Acesso em: 08 mar. 2015.

KIMO, J. W. **Aspectos químicos da madeira de *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden, visando a produção de polpa celulósica**. 1986. 45 p. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.

LIN, S. Y.; DENCE, C. W. **Methods in lignin chemistry**. Berlin: Springer-Verlag, 1992. 578 p.

LORENZI, H. **Árvores brasileiras: Manual de identificação e cultivo de plantas arbóreas nativas do Brasil**. Nova Odessa: Plantarum, 1992. 384p.

MANFREDI, M. **Desenvolvimento de propriedades de papéis reciclados por tratamento ultrassônico e adição de xilanas**. 2010. 84 p. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.

MOKFIENSKI, A. **Importância relativa da densidade básica e da constituição química de madeira de *Eucalyptus* spp. no rendimento, branqueabilidade e qualidade da polpa kraft**. 2004, 153 p. Tese (Doutorado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.

PUPO, C. H. **Estudo comparativo das madeiras de *Cecropia palmata* (Imbaúba) e *Eucalyptus grandis* para produção de celulose e papel**. 2015. 91 p. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) – Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Botucatu.

SCAN – SCANDINAVIAN PULP, PAPER AND BOARDTESTING COMMITTEE. **SCAN Test Methods**. Estocolmo: SCAN, 2009. 6p.

SCOTT, R. W. Colorimetric determination of hexuronic acids in plant materials. **Analytical Chemistry**, Washington, v. 51, n. 7, p 936-941, jun. 1979.

SJÖSTRÖM, E. **Wood chemistry, fundamentals and applications**. New York: Academic Press, 1993. 293 p.

SOLAR, R.; KACIK, F.; MELCER, I. Simple Semi-micro Method for the Determination of O-Acetyl Groups in Wood and Related Materials. **Nordic Pulp and Paper Research Journal**, Sundsvall, v. 2, n. 4, p 139-141.1987.

TAPPI – TECHNICAL ASSOCIATION OF THE PULP AND PAPERINDUSTRY. **Tappi Standard Methods**, Atlanta: TAPPI Press, 1985, 1993, 1994, 1997, 1999, 2002 e 2007.

VIDAURRE, G. B. **Caracterização anatômica, química e físico-mecânica da madeira de paricá (*Schizolobium amazonicum*) para produção de energia e polpa celulósica**. 2010. 88 p. Tese (Doutorado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.

ZIECH, R. Q. S. **Características tecnológicas da madeira de cedro australiano (*Toona ciliata* M. Roem) produzida no sul do estado de Minas Gerais**. 2008. 106 p. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia da Madeira) – Universidade Federal de Lavras, Lavras.

## **Diretrizes para Autores – Revista Scientia Forestalis**

### **Forma de apresentação:**

1. Serão aceitos textos apenas em formatos compatíveis ao Microsoft Word
2. O texto deve conter no máximo 25 páginas numeradas, escritas em espaço duplo lauda em papel tamanho carta, utilizando a fonte Arial tamanho 12 pontos;
3. Abreviações devem ser usadas em apenas uma forma. Uma vez que uma abreviação é usada no texto, ela deve seguir o mesmo padrão para todo o manuscrito e também nas figuras e tabelas;
4. As figuras e tabelas devem ser apresentadas no final do texto, com as legendas em português e inglês e a sua localização aproximada deve ser indicada no texto com uma chamada entre dois parágrafos. Exemplo: Entra a Figura 2; Entra a Tabela 4;
5. As fotos devem ser enviadas em formato JPEG com, no mínimo 300 dpi de resolução e no máximo 20 cm de largura;
6. Os gráficos devem ser enviados no Microsoft Excel ou no formato de fotos, conforme comentado no item anterior;
7. As tabelas devem estar digitadas e não serão aceitas em formato de imagem
8. A primeira página deve conter: título em português e inglês
9. As referências bibliográficas e citações devem estar de acordo com as normas da ABNT NBR6023:2002 e NBR 10520:2002
10. Não são aceitas notas de rodapé

### **Sequência de apresentação:**

1. Título em português e inglês;
2. Resumo em português e inglês: o resumo deve conter os objetivos, a metodologia, os resultados e as conclusões;
3. Palavras-chave em português e inglês;
4. Introdução, incluindo a revisão de literatura;
5. Material e métodos;

6. Resultados e discussão;

7. Conclusão

8. Referências bibliográficas