



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO
INSTITUTO DE FLORESTAS
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA FLORESTAL

ALFREDO JOSÉ DOS SANTOS JUNIOR

**MOLHABILIDADE E COMPOSIÇÃO QUÍMICA DA MADEIRA DE *Swietenia
macrophylla* King.**

Prof. Dr. NATÁLIA DIAS DE SOUZA
Orientador

SEROPÉDICA, RJ
NOVEMBRO – 2019



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO
INSTITUTO DE FLORESTAS
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA FLORESTAL

ALFREDO JOSÉ DOS SANTOS JUNIOR

MOLHABILIDADE E COMPOSIÇÃO QUÍMICA DA MADEIRA DE *Swietenia macrophylla* King.

Monografia apresentada ao Curso de Engenharia Florestal, como requisito parcial para a obtenção do Título de Engenheiro Florestal, Instituto de Florestas da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro.

Prof. Dr. NATÁLIA DIAS DE SOUZA
Orientador

SEROPÉDICA, RJ
NOVEMBRO – 2019

MOLHABILIDADE E COMPOSIÇÃO QUÍMICA DA MADEIRA DE *Swietenia macrophylla* King.

ALFREDO JOSÉ DOS SANTOS JUNIOR

APROVADA EM: ____/____/____

BANCA EXAMINADORA:

Prof. Dr. NATÁLIA DIAS DE SOUZA – UFRRJ
Orientador

Prof. Dr. AZARIAS MACHADO DE ANDRADE – UFRRJ
Membro

MSc. DANIELLE AFFONSO SAMPAIO – UFRRJ
Membro

AGRADECIMENTOS

Aos meus pais Lucia e Alfredo e à minha irmã Laura, por todo incentivo e apoio, e também por serem meus pilares;

À minha orientadora Prof. Natália, por toda orientação e conselhos científicos, profissionais e pessoais, e também por ser uma segunda mãe;

Aos membros da banca Prof. Azarias e Danielle, pela contribuição para esse e para outros trabalhos, e por terem se tornado verdadeiros amigos;

Ao Zé Carlos, técnico do Laboratório de Química da Madeira, por toda ajuda desde quando entrei no Lab e pela amizade;

À Jayna (mãe da Maia), pela amizade, conversas e cumplicidade, e mesmo não estando próxima nessa reta final, sempre se manteve leal;

À Gabriela, pela amizade e por ser minha parceira de monografia (e provavelmente do mestrado), sempre incentivando a não desistir;

À Lindolfo, pela amizade e pelos ótimos momentos de descontração, e também por todo apoio durante essa caminhada;

Ao Patrício, pela amizade, por me ensinar altas coisas de tecnologia da madeira e pelas ranqueadas;

À Mariana, pela amizade e pela companhia em todas essas viagens indo ou voltando da Universidade;

À Prof. Eliane, de Sistemática Florestal, por ter me inserido no mundo da pesquisa científica;

Ao Prof. Ananias, da UFES, pela sugestão do tema, doação de material e todo o incentivo para realizar esse trabalho;

A todos os professores com quem tive contato desde o primeiro período, por todo o conhecimento passado;

À UFRRJ, por toda a estrutura que permitiu a conclusão desse curso;

E por último, mas não menos importante, aos meus gatos, pelas incansáveis sessões de gatoterapia quando eu estava meio pra baixo.

Muito Obrigado!!!

RESUMO

Swietenia macrophylla King (Mogno Brasileiro) é uma espécie de ocorrência natural na Amazônia Legal e manifesta alto potencial econômico madeireiro. É considerada a espécie nativa mais explorada no Brasil e juntamente com o fato de apresentar distribuição restrita, entrou em condição de vulnerabilidade. Com os estoques naturais quase esgotados, povoamentos comerciais são necessários para suprir a demanda dessa madeira. Nesse contexto, o presente trabalho teve como objetivo analisar a molhabilidade e a composição química da madeira de *S. macrophylla* proveniente de um povoamento comercial. A madeira de *S. macrophylla* utilizada nessa pesquisa foi proveniente do município de Luziânia, GO. Para a análise de molhabilidade, foi medido o ângulo de contato em função do tempo, pelo método da gota séssil em um goniômetro Krüss DSA 100. Já para a análise química, foram obtidos os teores de extrativos, holocelulose e lignina de Klason. Com base nos estudos realizados, pode-se observar que o cerne e a face tangencial apresentaram maiores ângulos de contato. Outro ponto observado para essa espécie foi que, entre o cerne e o alburno, os teores de extrativos, holocelulose e lignina de Klason não apresentaram diferença estatística entre si, pelo teste Tukey a 5% de significância. Também percebeu-se que a molhabilidade apresentou relação inversamente proporcional aos teores de extrativos. Sendo assim, pode-se caracterizar a molhabilidade e a composição química da madeira de *S. macrophylla*.

Palavras-chave: Comportamento superficial da madeira, extrativos, holocelulose, lignina, mogno brasileiro.

ABSTRACT

Swietenia macrophylla King (Brazilian Mahogany) is a naturally occurring species in the Legal Amazon and has high logging economic potential. It is considered the most exploited native timber species in Brazil and together with the fact that it has a restricted distribution, it got the vulnerable status. With natural stocks almost depleted, commercial forestry are needed to supply the demand for this wood. In this context, the present work aimed to analyze the wettability and chemical composition of *S. macrophylla* wood from a commercial forestry. The wood of *S. macrophylla* used in this research came from Luziânia, GO. For the wettability analysis, the contact angle was measured as a function of time, by the sessile drop method on a Krüss DSA 100 goniometer. For the chemical analysis, the contents of extractives, holocellulose and Klason lignin were obtained. Based on the studies performed, it was observed that the heartwood and tangential face presented greater contact angles. Another point observed for this species was that, between heartwood and sapwood, the contents of extractives, holocellulose and Klason lignin did not present statistical difference between them, by Tukey test at 5% of significance. It was also noticed that the wettability was inversely proportional to the extractives contents. Thus, it was possible to characterize the wettability and chemical composition of *S. macrophylla* wood.

Keywords: Brazilian mahogany, extractives, holocellulose, lignin, wood surface behavior.

SUMÁRIO

LISTA DE TABELAS	vii
LISTA DE FIGURAS	viii
1. INTRODUÇÃO.....	1
2. REVISÃO DE LITERATURA	2
2.1. A espécie <i>Swietenia macrophylla</i> King	2
2.2. Molhabilidade	3
2.3. Composição química da madeira.....	3
2.3.1. Celulose.....	4
2.3.2. Hemiceluloses	5
2.3.4. Holocelulose.....	5
2.3.5. Lignina	6
2.3.6. Extrativos	6
3. MATERIAL E MÉTODOS.....	7
3.1. Coleta do material	7
3.2. Análise da molhabilidade.....	8
3.3. Análise da composição química.....	9
3.3.1. Teor de extrativos.....	9
3.3.2. Teor de holocelulose	10
3.3.3. Teor de lignina	10
3.4. Análise dos dados	10
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	11
4.1. Molhabilidade	11
4.2. Caracterização Química	12
4.3. Molhabilidade X Caracterização Química.....	12
5. CONCLUSÕES.....	13
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	13

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Médias e desvios padrões dos componentes químicos da madeira de <i>S. macrophylla</i>	12
Tabela 2. Relação entre as médias de ângulo de contato e teor de extrativos, para o cerne e alburno da madeira de <i>S. macrophylla</i>	12

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1.** Indivíduo de *S. macrophylla* (Fonte: CARVALHO, 2007). 2
- Figura 2.** Esquema de molhabilidade de uma superfície sólida, em que: (a) = superfície totalmente molhada; (b) = superfície parcialmente molhada e (c) = superfície não molhante. (Fonte: MYERS, 1999). 3
- Figura 3.** Estrutura macromolecular simplificada da parede celular de madeiras. (Fonte: MURPHY; MCCARTHY, 2005). 4
- Figura 4.** Estrutura polimérica da celulose, em que: C = carbono; H = hidrogênio e O = oxigênio. (Fonte: ROWELL *et al.*, 2005). 4
- Figura 5.** Esquema simplificado da obtenção de holocelulose pelo método de cloração. (Fonte: Adaptada GELLERTSTEDT, 2009b). 5
- Figura 6.** Estrutura dos precursores das ligninas, em que: (1) = álcool coniferílico; (2) = álcool sinapílico e (3) = álcool *p*-cumarílico. (Fonte: DENCE; LIN, 1992). 6
- Figura 7.** Representação da amostragem das árvores de *S. macrophylla*, em que: a) amostragem do fuste comercial (medidas em metros); b) amostragem da tora basal, TB = tora basal e PF = ponta fina; c) amostragem das pranchas diametrais, PD = prancha diametral. 8
- Figura 8.** Corpo de prova para ensaio de molhabilidade, em que: L = sentido longitudinal, T = sentido tangencial e R = sentido radial; a) madeira de alburno de *S. macrophylla* e b) madeira de cerne de *S. macrophylla*. 8
- Figura 9.** Esquema da amostragem para o ângulo de contato sobre a superfície dos corpos de prova. 9
- Figura 10.** Comportamento do ângulo de contato em função do tempo, em que: AR = alburno radial; AT = alburno tangencial; CR = cerne radial e CT = cerne tangencial. 11

1. INTRODUÇÃO

As árvores da família *Meliaceae* sofrem grandes ameaças por conta da perda de qualidade de habitat, do desmatamento e por apresentarem madeiras que são amplamente exploradas por indústrias moveleiras. Dentre elas, *Cedrela odorata* L. (cedro) e *Swietenia macrophylla* King (mogno brasileiro) são as mais valorizadas e comercializadas no mundo (SAKURAGUI *et al.*, 2013).

Dentre as espécies madeireiras, *S. macrophylla*, é atualmente a mais valiosa e explorada do Brasil, em consequência disso, juntamente com o fato de apresentar distribuição restrita, é considerada uma árvore em condição de vulnerabilidade (SAKURAGUI *et al.*, 2013). Como os estoques nativos de *S. macrophylla* estão praticamente esgotados, povoamentos comerciais se tornarão mais importantes na manutenção do suprimento mundial dessa espécie (WARD; BOSHIER; GROGAN, 2008).

A madeira de *S. macrophylla* apresenta um conjunto de características atrativas, como por exemplo, coloração em tons de chocolate, alta resistência ao apodrecimento e fácil trabalhabilidade, o que possibilita a sua utilização na confecção de mobiliário de luxo, lâminas decorativas, instrumentos musicais, entre outros (CARVALHO, 2007; GOMES *et al.*, 2015).

Dentre as propriedades físicas mais utilizadas para caracterizar a madeira, destacam-se: densidade, molhabilidade e retratibilidade (MOURA, 2014; FRANÇA *et al.*, 2015; SILVA *et al.*, 2019). A molhabilidade é definida como a aptidão em que um líquido se espalha sobre uma superfície sólida (AKGÜL *et al.*, 2012). Essa propriedade pode auxiliar na escolha e na quantidade de um produto a ser aplicado na superfície da madeira, seja esse produto verniz, adesivo ou solução preservativa (BRISOLARI, 2008; AMORIM *et al.*, 2013; MELO *et al.*, 2013).

Do ponto de vista químico, a madeira apresenta composição macromolecular contendo principalmente celulose, lignina e hemiceluloses (KLOCK; ANDRADE, 2013). O conhecimento desses constituintes é essencial, uma vez que as suas propriedades físicas estão diretamente correlacionadas com sua composição química (OLIVEIRA, 1997; SILVA, 2002).

Nesse contexto, o presente trabalho teve por objetivo analisar a molhabilidade e a composição química da madeira de *Swietenia macrophylla* King proveniente de um povoamento comercial.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. A espécie *Swietenia macrophylla* King

Swietenia macrophylla King. (mogno brasileiro) é uma espécie arbórea pertencente à família *Meliaceae*. Em seu ambiente natural, o mogno brasileiro geralmente apresenta altura entre 24 m e 30 m e com seu diâmetro variando de 50 cm a 80 cm. O tronco normalmente é ereto, com presença de sapopemas. As folhas são compostas, paripinadas, medindo entre 25 cm e 50 cm de comprimento, como mostra a Figura 1 (CARVALHO, 2007; GOMES *et al.*, 2015).



Figura 1. Indivíduo de *S. macrophylla* (Fonte: CARVALHO, 2007).

No Brasil, a espécie apresenta ocorrência de forma natural nos estados do Acre, Amazonas, Bahia, Mato Grosso, Maranhão, Pará, Rondônia e no Distrito Federal, com indivíduos nos biomas Amazônia, Cerrado e Mata Atlântica (CARVALHO, 2007; SAKURAGUI *et al.*, 2013).

A madeira de *S. macrophylla* apresenta algumas características específicas, como por exemplo, ótima trabalhabilidade e alta resistência ao apodrecimento, o que lhe torna uma boa opção para confecção de mobiliário de luxo, lâminas decorativas, instrumentos musicais, entre outros (CARVALHO, 2007; GOMES *et al.*, 2015).

Por se tratar de uma espécie madeireira muito procurada para indústria moveleira, pela degradação de seu habitat natural e por apresentar uma distribuição bem restrita, *S. macrophylla* é considerada uma espécie vulnerável pelo Livro Vermelho da Flora do Brasil (SAKURAGUI *et al.*, 2013).

Uma forma de mitigar a problemática da exploração predatória dessa espécie é a formação de povoamentos comerciais com o intuito de suprir a demanda de madeira de *S. macrophylla* (WARD; BOSHIER; GROGAN, 2008).

Embora pesquisas sobre a silvicultura do *S. macrophylla* venham sendo conduzidas, ainda não há tecnologia para contornar a dificuldade de implantar um povoamento homogêneo, uma vez que as mudas são amplamente atacadas por *Hypsipyla grandella*. A única alternativa viável na atualidade é a formação de povoamentos de *S. macrophylla* com baixa densidade em consórcio com outras espécies (NETO *et al.*, 2004 ; LUNZ *et al.*, 2009).

2.2. Molhabilidade

A medida quantitativa da molhabilidade de um sólido pode ser realizada em função do ângulo de contato (θ) formado com o líquido, sendo: $\theta = 0^\circ$ para uma superfície completamente molhada; $0^\circ < \theta < 180^\circ$ para uma superfície parcialmente molhada e $\theta = 180^\circ$ para uma superfície não molhante (MYERS, 1999), como mostra a Figura 2.

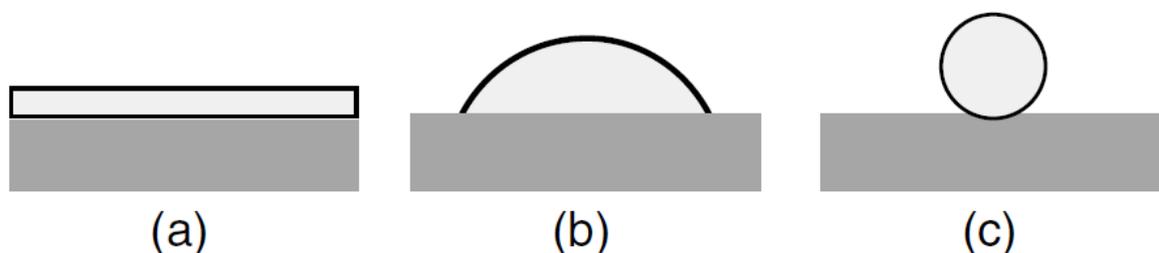


Figura 2. Esquema de molhabilidade de uma superfície sólida, em que: (a) = superfície totalmente molhada; (b) = superfície parcialmente molhada e (c) = superfície não molhante. (Fonte: MYERS, 1999).

Em materiais que apresentam superfície rugosa e que tendem a absorver líquidos, o entendimento do processo de espalhamento se torna difícil (MYERS, 1999; SILVA; OLIVEIRA, 2003).

Pelo fato da madeira ser um material que apresenta porosidade, a avaliação da molhabilidade não pode ser feita somente em função do espalhamento superficial de um líquido em sua superfície, mas também em função do tempo em que ele leva para ser absorvido (MYERS, 1999; MELO *et al.*, 2013).

A penetração de um líquido na superfície da madeira está relacionada com suas propriedades físicas e químicas. O conhecimento da molhabilidade da madeira é essencial para aplicações de soluções químicas como preservativos, adesivos, vernizes, entre outros (FRIHART; HUNT, 2010; VALE; DIAS; SANTANA, 2010).

2.3. Composição química da madeira

A composição química elementar da madeira não apresenta diferenças consideráveis quando se compara a madeira de diferentes espécies. As madeiras apresentam as seguintes quantidades percentuais médias: carbono (49-50), oxigênio (44-45), hidrogênio (6) e nitrogênio (0,1-1) (KLOCK; ANDRADE, 2013).

Do ponto de vista macromolecular, a parede celular da madeira é constituída por celulose, hemicelulose (polioses) e lignina, como mostra a Figura 3 (MURPHY; MCCARTHY, 2005).

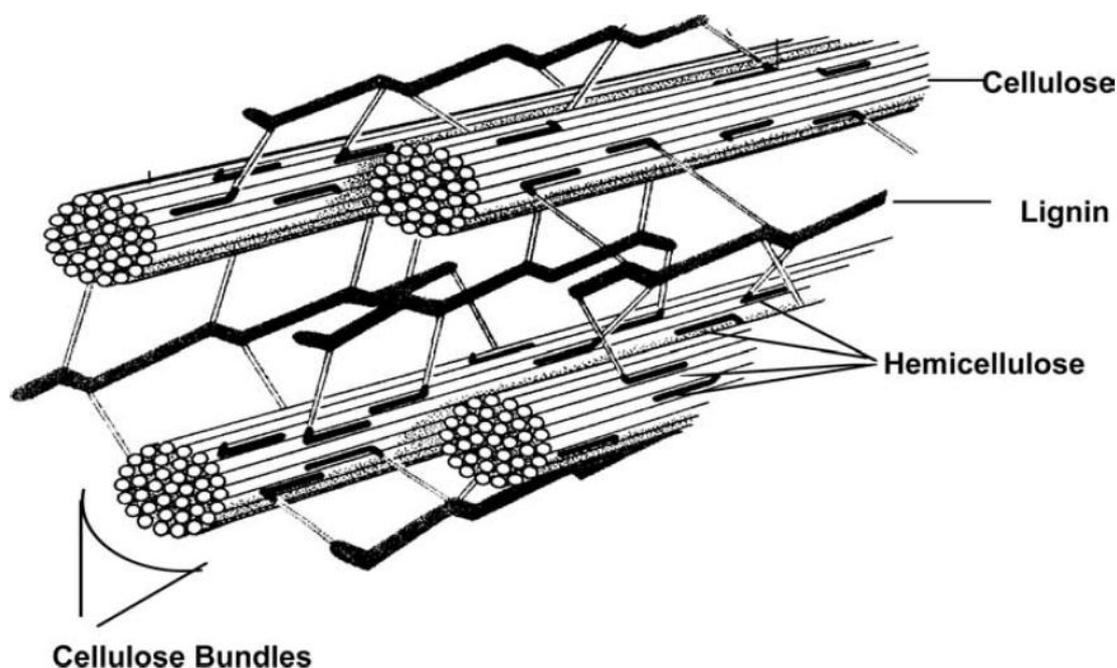


Figura 3. Estrutura macromolecular simplificada da parede celular de madeiras. (Fonte: MURPHY; MCCARTHY, 2005).

Além dos constituintes fundamentais da madeira, existem também os extrativos e as substâncias minerais. Os teores desses componentes químicos variam de acordo com o grupo ao qual a árvore pertence, seja conífera ou folhosa (PETTERSEN, 1984; KLOCK; ANDRADE, 2013).

2.3.1. Celulose

A celulose é o constituinte macromolecular maioritário da parede celular, responsável por aproximadamente 42% a 45% da composição total da parede celular da madeira de coníferas e folhosas, respectivamente. Sua estrutura é formada por uma longa cadeia polimérica de β -D-Glicose, como mostra a Figura 4 (ROWELL *et al.*, 2005; KLOCK; ANDRADE, 2013).

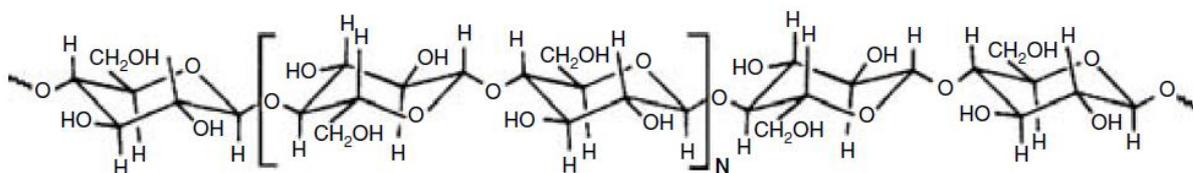


Figura 4. Estrutura polimérica da celulose, em que: C = carbono; H = hidrogênio e O = oxigênio. (Fonte: ROWELL *et al.*, 2005)

As moléculas de celulose apresentam certa tendência de formar ligações de hidrogênio. À medida que a densidade de grupos de celulose aumenta, são formadas as regiões cristalinas, que correspondem a cerca de 65% da constituição das celuloses. A porção remanescente apresenta uma densidade menor de monômeros de β -D-Glicose, chamada de região amorfa (ROWELL *et al.*, 2005).

A partir da celulose é possível à obtenção de outros subprodutos como: etanol de segunda geração, acetato de celulose, nitrato de celulose, *rayon*, celofane, entre outros (LEE, 1997; GELLERSTEDT, 2009a).

2.3.2. Hemiceluloses

Depois da celulose, a hemicelulose é o componente da parede celular que apresenta a maior porcentagem de ocorrência, representada por cerca de 27% para coníferas e 30% para folhosas. São encontradas em estreita associação com a celulose na parede celular, atuando também na função de sustentação do vegetal (PETTERSEN, 1984; KLOCK; ANDRADE, 2013).

A hemicelulose é formada por grupos de polissacarídeos com grau de polimerização muito menor que a celulose, apresentando baixo peso molecular, constituída principalmente por pentoses (arabinoses e xiloses) e hexoses (galactoses, glucoses e manoses) (TELEMAN, 2009).

Algumas hemiceluloses aparecem em quantidades anormais quando a planta está sob estresse, como por exemplo, em lenho de compressão (lenho de reação de coníferas) os teores de galactose tendem a serem maiores do que no lenho normal (PETTERSEN, 1984).

Uma das possibilidades de uso da hemicelulose é na confecção de películas que podem ser usadas em tratamentos odontológicos, como barreira biológica, ou em tratamentos de lesões cutâneas (SILVA; SPERANÇA; GUSMÃO, 1995).

2.3.4. Holocelulose

A maior porção da parede celular da madeira é composta por carboidratos. A combinação de hemicelulose e celulose é chamada de holocelulose, e normalmente corresponde a 65-70% da massa seca da madeira (ROWEL *et al.*, 2005; GELLERSTEDT, 2009b).

A obtenção da holocelulose é feita por meio de cloração a partir da madeira livre de extrativos. O método consiste em separar os carboidratos presentes na parede celular realizando uma degradação oxidativa seletiva da lignina sob condições levemente ácidas, como mostra a Figura 5 (ABREU *et al.*, 2006; GELLERSTEDT, 2009b).

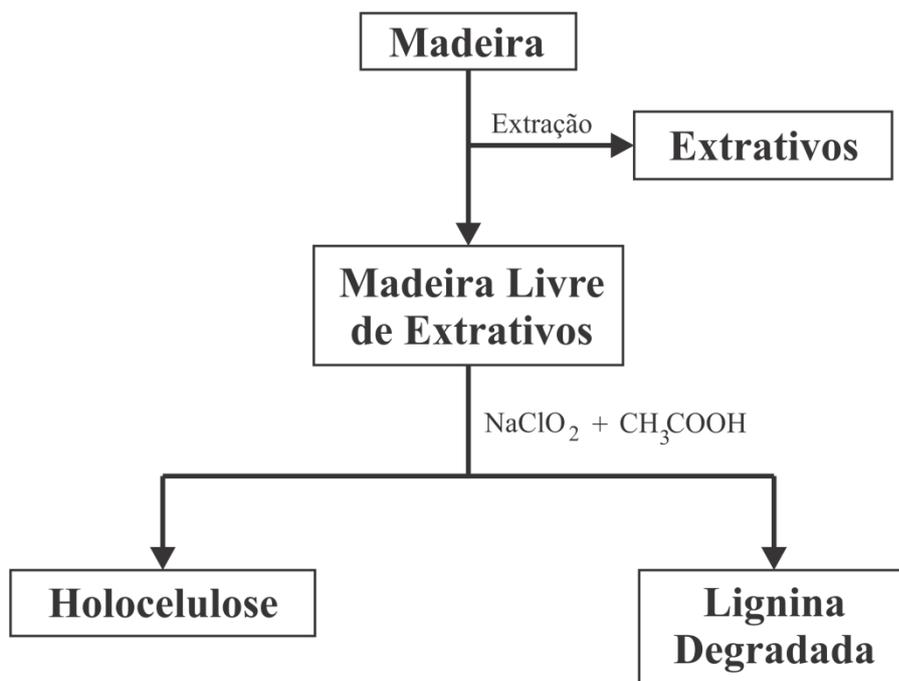


Figura 5. Esquema simplificado da obtenção de holocelulose pelo método de cloração. (Fonte: Adaptada GELLERTSTEDT, 2009b).

2.3.5. Lignina

No processo de formação da parede celular, a lignina é considerada como último componente a ser incorporado, e atua como agente cimentante, conferindo propriedades hidrofóbicas à parede celular. As quantidades percentuais de lignina presentes na parede celular são de aproximadamente 28% para coníferas e 20% para folhosas (HENRIKSSON, 2009; KLOCK; ANDRADE, 2013).

A lignina é um polímero amorfo formado principalmente por componentes aromáticos de fenilpropano. Pode apresentar como precursores os álcoois coniferílicos, sinapílicos e *p*-cumarílicos, como mostra a Figura 6 (DENICE; LIN, 1992; ROWELL *et al.*, 2005).

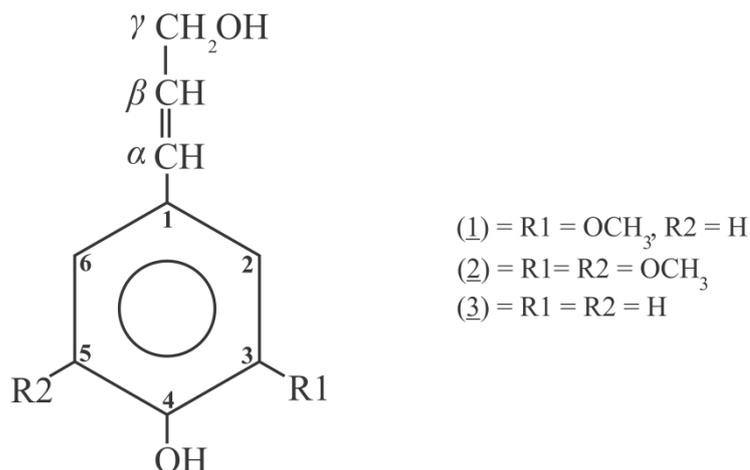


Figura 6. Estrutura dos precursores das ligninas, em que: (1) = álcool coniferílico; (2) = álcool sinapílico e (3) = álcool *p*-cumarílico. (Fonte: DENICE; LIN, 1992).

Alguns grupos de plantas podem ser diferenciados pela predominância de alguns radicais de lignina, sendo gimnospermas apresentando altos teores de lignina guaiacila [G], angiospermas dicotiledôneas apresentando teores de lignina guaiacila-siringila [G-S] e angiospermas monocotiledôneas apresentando teores de lignina *p*-hidroxifenil-guaiacila-siringila [H-G-S] (FAIX, 1991).

Para as plantas lenhosas, a lignina apresenta quatro funções principais: fornecer rigidez para a parede celular, conectar diferentes células entre si no lenho, tornar a parede celular hidrofóbica e atuar na proteção contra degradação microbiológica da madeira (HENRIKSSON, 2009).

2.3.6. Extrativos

Os extrativos são componentes que não fazem parte da constituição da parede celular da madeira, mas são encontrados em associação com a mesma. Sua porcentagem em função da massa seca da madeira corresponde em média a 5% em coníferas e 3% em folhosas (ROWELL *et al.*, 2005; JANSSEN; NILVEBRANT, 2009).

Diferente da celulose, hemicelulose e lignina, os extrativos apresentam baixo peso molecular e sua composição pode variar muito em função da espécie de vegetal. Os extrativos podem ser constituídos por muitos grupos químicos orgânicos como: fenóis, ésteres, resinas, lipídios, ácidos graxos, entre outros (JANSSEN; NILVEBRANT, 2009; KLOCK; ANDRADE, 2013).

Os extrativos conferem algumas propriedades à madeira, como: cor, cheiro, sabor, entre outras. Suas funções nas árvores também são diversas, enquanto alguns atuam na proteção contra fitopatógenos, outros podem atuar no metabolismo de células parenquimáticas (PETTERSEN, 1984; KLOCK; ANDRADE, 2013).

A obtenção desses extrativos é feita por meio de extração da madeira, o solvente utilizado varia de acordo com a classe que se deseja adquirir, podendo ser um solvente não polar como, por exemplo, éter e ciclo hexano, ou polar como, por exemplo, álcool metílico e acetona (PETTERSEN, 1984; ABREU *et al.*, 2006).

Por apresentar grupos funcionais diversos, os extrativos podem ser empregados em diversos setores, como por exemplo, produção de cosméticos e fármacos, de substâncias preservativas para madeira, entre outros (ONUORAH, 2000; MOTA *et al.*, 2014; SILVA *et al.*, 2014).

Além dos componentes químicos obtidos a partir da extração com solventes orgânicos, também existem substâncias minerais inorgânicas, chamadas de cinza. Normalmente constituída pelos elementos Na, Ca, K, Mg que correspondem a menos de 1% do peso seco da madeira (PETTERSEN, 1984; KLOCK; ANDRADE, 2013).

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. Coleta do material

A madeira utilizada no presente trabalho foi proveniente de um povoamento comercial de *S. macrophylla*, implantado no município de Luziânia, GO. Foram coletadas quatro árvores ao acaso para compor a amostra.

No momento do corte, as árvores tinham 14 anos de idade. De cada árvore, foram retiradas pranchas diametraais da ponta fina da tora basal (2,4 a 3,0 m da altura comercial). As pranchas diametraais apresentavam 60 cm de comprimento e oito cm de espessura, como mostra a Figura 7.

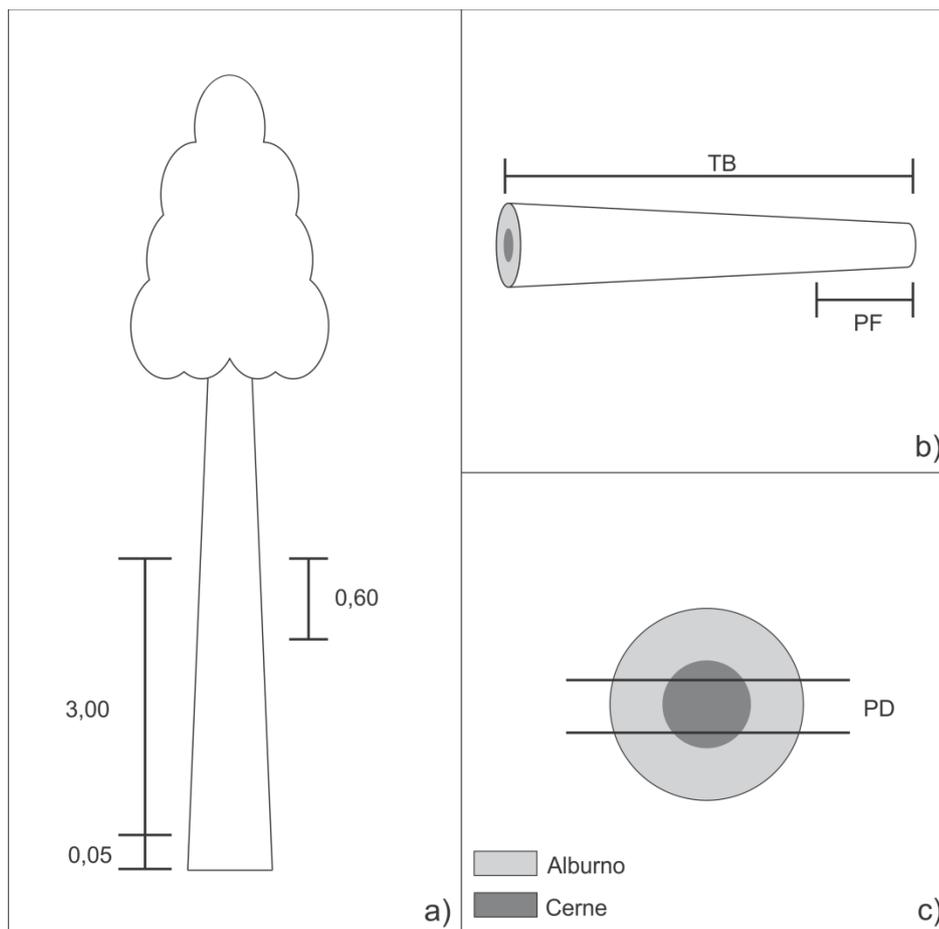


Figura 7. Representação da amostragem das árvores de *S. macrophylla*, em que: a) amostragem do fuste comercial (medidas em metros); b) amostragem da tora basal, TB = tora basal e PF = ponta fina; c) amostragem das pranchas diametraes, PD = prancha diametral.

3.2. Análise da molhabilidade

Para a análise de molhabilidade foram confeccionados corpos de prova da madeira de *S. macrophylla* medindo $5 \times 2 \times 2$ cm retirados do cerne e do albarno, separadamente. Os corpos de prova foram orientados nos sentidos longitudinal (L), radial (R) e tangencial (T), como mostra a Figura 8.

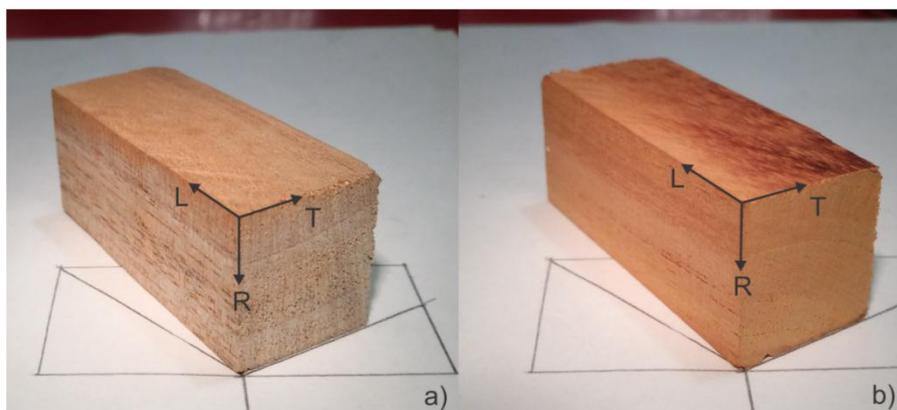


Figura 8. Corpo de prova para ensaio de molhabilidade, em que: L = sentido longitudinal, T = sentido tangencial e R = sentido radial; a) madeira de albarno de *S. macrophylla* e b) madeira de cerne de *S. macrophylla*.

A determinação da molhabilidade da madeira de *S. macrophylla* foi feita por meio de medição do ângulo de contato da superfície dos corpos de prova nos sentidos radial e tangencial. A medição do ângulo de contato foi feita pelo método da gota séssil, utilizando-se o goniômetro Krüss DSA 100 em conjunto com o software Drop Shape Analysis.

O líquido utilizado para deposição de gota sobre a superfície dos corpos de prova foi água destilada. Para a determinação do ângulo de contato foi colocada uma gota de 50 µL na superfície do corpo de prova, a medição do ângulo de contato foi feita a cada 2 segundos ao longo de 60 segundos.

A medição foi feita duas vezes em cada superfície em quatro corpos de prova de madeira de cerne e madeira de alburno, da cada uma das árvores, totalizando 256 medições. Um esquema da amostragem do ângulo de contato sobre a face de um corpo de prova pode ser visto na Figura 9.



Figura 9. Esquema da amostragem para o ângulo de contato sobre a superfície dos corpos de prova.

3.3. Análise da composição química

A madeira de *S. macrophylla* (cerne e alburno) foi processada em moinho de facas tipo Willey. A fração utilizada para o preparo madeira livre de extrativos foi a que atravessou a peneira de malha 40 mesh e ficou retida na peneira de malha 60 mesh, de acordo com os procedimentos apontados pela norma TAPPI T204 cm-97 (TAPPI, 1997).

O preparo da madeira livre de extrativos foi realizado seguindo a metodologia descrita por Abreu *et al.* (2006). Colocou-se 10 g de madeira homogeneizada em cartuchos de papel filtro e em seguida submetida a três extrações sucessivas com ciclo hexano, acetato de etila e metanol por 12 horas em aparelho *soxhlet*, utilizando-se 400 mL de cada solvente por extração.

Para a determinação dos teores de extrativos, holocelulose e lignina foi utilizado o método indicado por Abreu *et al.* (2006).

3.3.1. Teor de extrativos

Para a quantificação do teor de extrativo parcial, efetuou-se a separação de cada solvente sob pressão reduzida em um dispositivo rotativo de evaporação até sobrar uma solução concentrada contendo o extrativo. Essa solução concentrada foi colocada em um frasco e levada a capela para a evaporação total do solvente. O teor de extrativo parcial foi obtido por pesagem, como mostra a equação 1.

$$TEp = \left(\frac{MFc - MFs}{MM} \right) \times 100$$

Equação 1. Em que: TEp = teor de extrativo parcial (%); MFc = massa do frasco com extrativo (g); MFs = massa do frasco sem extrativo (g) e MM = massa de madeira no cartucho antes do processo de extração (g).

A obtenção do teor de extrativo total foi feita a partir do somatório dos teores parciais, como mostra a equação 2.

$$TEt = TEch + TEae + TEmet$$

Equação 2. Em que: TEt = teor de extrativo total (%); TEch = teor de extrativo obtido por ciclo hexano; TEae = teor de extrativo obtido por acetato de etila e TEmet = teor de extrativo obtido por metanol.

3.3.2. Teor de holocelulose

A determinação do teor de holocelulose se deu pelo método de cloração, que consiste em por 2,5 g da madeira livre de extrativos e totalmente seca em um erlenmeyer juntamente com 80 mL de água destilada, 0,5 mL de ácido acético e 1 g de clorito de sódio.

Após esse processo, os erlenmeyers foram tampados e levados para o banho-maria, com temperatura constante de 70° C por uma hora. A cada intervalo de uma hora adicionou-se 0,5 mL de ácido acético e 1 g de clorito de sódio, repetindo esse processo por no mínimo seis vezes, até as fibras se separarem da lignina.

Posteriormente, a solução contendo as fibras separadas de lignina foi lavada com água destilada em um funil de placa sinterizada sob vácuo. Após esse passo, o funil com as fibras seguiu para estufa para a secagem (103° C ± 2° C, por 24 horas). A obtenção do teor de holocelulose foi feito por meio da equação 3.

$$TH = \left(\frac{MFh - MFv}{MMle} \right) \times 100$$

Equação 3. Em que: TH = teor de holocelulose (%); MFh = massa do funil com holocelulose (g); MFv = massa do funil vazio (g) e MMle = massa de madeira livre de extrativos (g).

3.3.3. Teor de lignina

Para determinar o teor de lignina, foi utilizado o método de quantificação de lignina de Klason (lignina insolúvel). Transferiu-se 0,3 g de madeira livre de extrativo para um tubo de ensaio e adicionou-se 3 mL de ácido sulfúrico 72%, então prosseguiu-se com a agitação da solução por um minuto e após esse tempo o material foi deixado em repouso por uma hora.

Após o tempo de repouso o material foi passado para um balão volumétrico e então levado para um refluxo por um período de quatro horas. Posteriormente, após o refluxo, a lignina insolúvel foi lavada com água destilada aquecida em funil de placa sinterizada sob vácuo. O funil contendo lignina insolúvel foi levado à estufa para secagem (103° C ± 2° C, por 24 horas). O teor de lignina insolúvel foi obtido pela equação 4.

$$TLi = \left(\frac{MFli - MFv}{MMle} \right) \times 100$$

Equação 4. Em que: TLi = teor de lignina insolúvel (%); MFli = massa do funil com lignina insolúvel (g); MFv = massa do funil vazio (g) e MMle = massa de madeira livre de extrativos (g).

3.4. Análise dos dados

Para a análise da molhabilidade, os dados foram inseridos no software CurveExpert Professional 2.6.3 para gerar uma equação matemática que melhor descrevesse o comportamento do ângulo de contato em função do tempo.

Para a análise química, foram utilizadas quatro repetições para madeira de cerne e alburno de *S. macrophylla*. Os dados foram submetidos à análise de variância e quando foi detectada diferença significativa entre os valores, aplicou-se o teste de Tukey, com objetivo de identificar diferenças entre as médias encontradas, utilizando-se o software BioEstat 5.3.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Molhabilidade

Com a base nos dados de ângulo de contato em função do tempo, pode-se encontrar um modelo matemático mais adequado para descrever o comportamento da molhabilidade na madeira de *S. macrophylla*. O modelo logístico (equação 5) foi o que melhor se ajustou aos valores de ângulo de contato em função do tempo, uma vez que apresentou uma distribuição de resíduos mais homogênea.

$$\theta = \frac{a}{(1 + be^{-ct})}$$

Equação 5. Em que: θ = ângulo de contato ($^{\circ}$); a, b e c = coeficientes; t = tempo (s).

Com base no modelo, pode-se elaborar um gráfico com o comportamento do ângulo de contato em função do tempo, em que nos 15 primeiros segundos obtiveram-se valores elevados (Figura 10). Tal comportamento também foi observado por Sheldon e Gardner (2001) e por Melo *et al.* (2013), que afirmaram a ocorrência de absorção e espalhamento superficial pela madeira nos primeiros 15 segundos, e posteriormente, predominância apenas de expansão superficial pelo líquido.

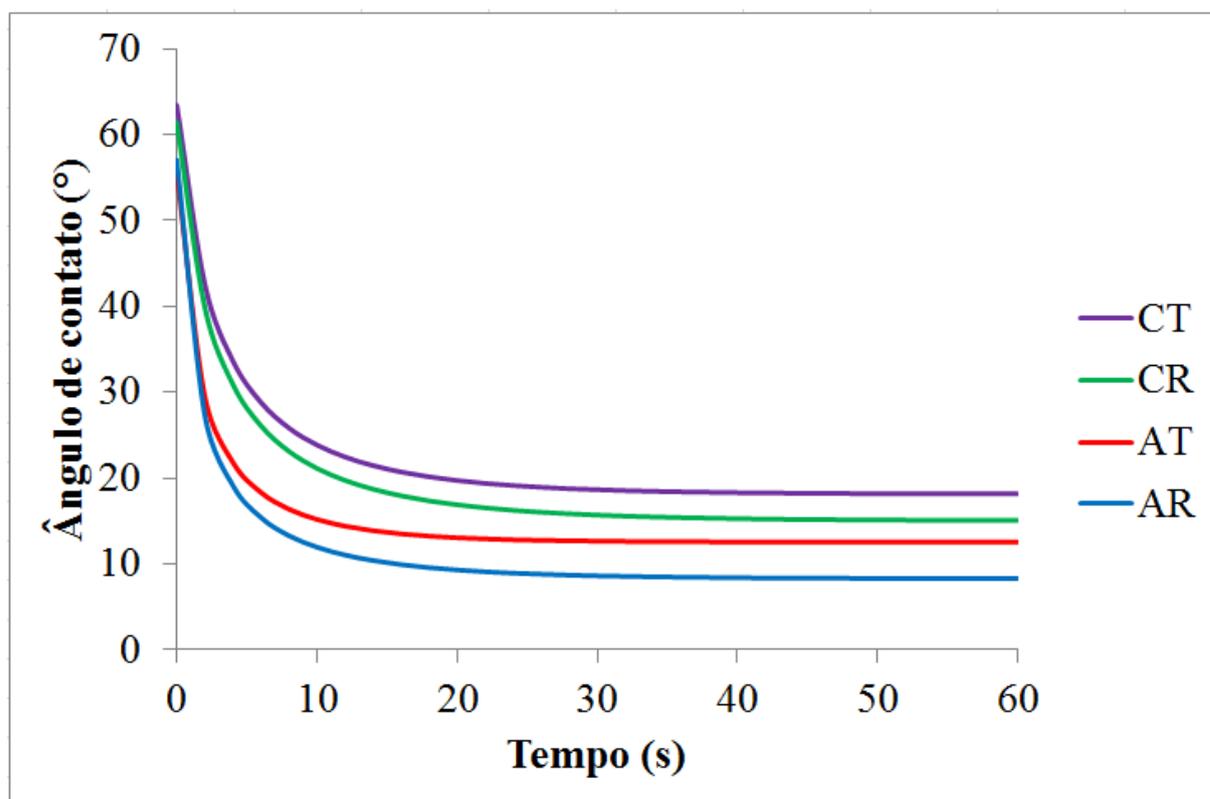


Figura 10. Comportamento do ângulo de contato em função do tempo, em que: AR = alburno radial; AT = alburno tangencial; CR = cerne radial e CT = cerne tangencial.

Também foi possível notar, com base no gráfico, que o cerne da madeira de *S. macrophylla* apresentou maiores ângulos de contato quando comparados ao alburno, o que indica menor molhabilidade.

Lopes, Garcia e Nascimento (2018) encontraram resultados similares ao estudar a espécie *Tectona grandis* L.f., em que a madeira de alburno apresenta menores ângulos de contato do que a madeira de cerne, apontando maior molhabilidade.

Outro resultado observado indica que a molhabilidade foi maior na face radial, independente da região (cerne ou alburno). Büyüksari *et al.* (2011) estudando a espécie *Fraxinus angustifolia* Vahl., encontraram resultados contrários, em que a face tangencial apresentou maior molhabilidade.

Sheldon e Gardner (2001) afirmaram que a diferença na molhabilidade nas diferentes faces da madeira, seja tangencial ou radial, pode ser explicada pelo posicionamento e diferentes tipos de células presentes.

4.2. Caracterização Química

Para a análise química, os valores médios de extrativos, holocelulose e lignina encontrados na madeira de cerne e alburno de *S. macrophylla*, não apresentaram diferença estatística entre si (Tabela 1).

Tabela 1. Médias e desvios padrões dos componentes químicos da madeira de *S. macrophylla*.

Tipo de lenho	Teor de extrativos (%)	Teor de holocelulose (%)	Teor de lignina (%)
Cerne	4,13 a (\pm 0,70)	75,71 b (\pm 1,63)	23,98 c (\pm 0,39)
Alburno	2,72 a (\pm 0,34)	75,12 b (\pm 2,07)	23,21 c (\pm 1,46)

Médias seguidas de mesma letra não apresentam diferença estatística no teste de Tukey em um nível de significância de 5%; números entre parêntesis significam desvio padrão.

Colares *et al.* (2016) estudando a madeira de *S. macrophylla* encontraram os seguintes teores médios dos componentes químicos: 5,7 % para extrativos e 26% lignina de Klason. Os valores encontrados para lignina e teores de extrativos estavam acima dos achados no presente trabalho, o que poderia ser explicado por idades diferentes das madeiras utilizadas, uma vez que os autores não informaram esses dados em sua pesquisa.

4.3. Molhabilidade X Caracterização Química

Analisando-se a relação entre a molhabilidade e a composição química da madeira de *S. macrophylla*, encontrou-se que os valores de ângulos de contato estavam diretamente relacionados com os teores de extrativos (Tabela 2).

Tabela 2. Relação entre as médias de ângulo de contato e teor de extrativos, para o cerne e alburno da madeira de *S. macrophylla*.

Região da madeira	Ângulo de contato (°)	Teor de extrativos (%)
Cerne	20,86	4,13
Alburno	13,56	2,72

Sheldon e Gardner (2001), apontaram que a diferença da molhabilidade entre o cerne e o alburno pode ser explicada pela composição química da madeira. Wålinder e Johansson

(2001) encontraram que a madeira de cerne expressou maiores ângulos de contato, pois apresentou altos teores de extrativos quando comparada ao alburno.

5. CONCLUSÕES

Com base nos resultados encontrados pode-se concluir que:

- O presente estudo possibilitou o conhecimento do comportamento da molhabilidade e da caracterização química da madeira de *S. macrophylla*;

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABREU, H. S.; CARVALHO, A. M.; MONTEIRO, M. B. O.; PEREIRA, R. P. W.; SILVA, H. R.; SOUZA, K. C. A.; AMPARADO, K. F.; CHALITA, D. B. Métodos de Análise em Química da Madeira. **Floresta e Ambiente**, Série Técnica, p 01-20, 2006.

AKGÜL, M; KORKUT, S; ÇAMLIBEL, O; CANDAN, Z; AKBULUT, T. Wettability and Surface Roughness Characteristics of Medium Density Fiberboard Panels from Rhododendron (*Rhododendron ponticum*) Biomass. **Maderas. Ciencia y tecnología**, v. 14, n. 2, p. 185-193, 2012.

AMORIM, M. R. S.; RIBEIRO, P. G.; MARTINS, S. A.; MENEZZI, C. H. S.; SOUZA, M. R. Surface Wettability and Roughness of 11 Amazonian Tropical Hardwoods. **Floresta e Ambiente**, v. 20, n. 1, p. 99-109, 2013.

BRISOLARI, A. **Estudo da Molhabilidade em Madeiras Tropicais ou de Reflorestamento por Medidas de Ângulo de Contato e de Permeabilidade**. Dissertação (Mestrado em Ciência e Engenharia de Materiais) – Universidade de São Paulo, São Carlos, 2008.

BÜYÜKSARI, U.; AKBULUT, T.; GULER, C.; AS, N. Wettability and surface roughness of natural and plantation-grown narrow-leaved ash (*Fraxinus angustifolia* Vahl.) wood. **BioResources**, v. 6, n. 4, p. 4721-4730, 2011.

CARVALHO, P. E. R. **Circular Técnica 140: Mogno *Swietenia macrophylla***. Colombo: Embrapa, 2007.

COLARES, C. J. G.; PASTORE, T. C. M.; CORADIN, V. T. R.; MARQUES, L. F.; MOREIRA, A. C. O.; ALEXANDRINO, G. L.; POPPI, R. J.; BRAGA, J. W. B. Near infrared hyperspectral imaging and MCR-ALS applied for mapping chemical composition of the wood specie *Swietenia macrophylla* King (Mahogany) at microscopic level. **Microchemical Journal**, v. 124, n. 1, p. 356-363, 2016.

DENCE, C. W.; LIN, S. Y. Introduction. In: Lin, S. Y.; DENCE, C. W. (Eds.). **Methods in Lignin Chemistry**. Berlin: Springer-Verlag, 1992. p. 3-17.

FAIX, O. Classification of Lignins from Different Botanical Origins by FT-IR Spectroscopy. **Holzforschung**, v. 45, supplement, p. 21-27, 1991.

FRANÇA, T. S. F. A.; ARANTES, M. D. C.; PAES, J. B.; VIDAURRE, G. B.; OLIVEIRA, J. T. S.; BARAÚNA, E. E. P. Características Anatômicas e Propriedades Físico-Mecânicas das Madeiras de Duas Espécies de Mogno Africano. **Cerne**, v. 21, n. 4, p. 633-640, 2015.

FRIHART, C. R.; HUNT, C. G. Bond Formation and Performance. *In*: ROSS, R. J. (Ed.). **Wood Handbook: Wood as an Engineering Material**. Madison: Forest Products Laboratory, 2010. p. 228-251.

GELLERSTEDT, G. Cellulose Products and Chemicals from Wood. *In*: EK, M. (Ed.). **Pulp and Paper Chemistry and Technology**. Berlin: De Gruyter, 2009a. p. 173-193.

GELLERSTEDT, G. Analytical Methods. *In*: EK, M. (Ed.). **Pulp and Paper Chemistry and Technology**. Berlin: De Gruyter, 2009b. p. 173-193.

GOMES, J. I.; SILVEIRA, J. B.; PASTORE, J. A.; MACIEIRA, A. P.; GURGEL, E. S.; MARTINS-DA-SILVA, R. C. V. **Comunicado Técnico 266: Conhecendo Espécies de Plantas da Amazônia: Mogno (*Swietenia macrophylla* King – Meliaceae)**. Belém: Embrapa, 2015.

HENRIKSSON, G. Lignin. *In*: EK, M. (Ed.). **Pulp and Paper Chemistry and Technology**. Berlin: De Gruyter, 2009. p. 120-145.

JANSSON, M. B.; NILVEBRANT, N. O. Wood Extractives. *In*: EK, M. (Ed.). **Pulp and Paper Chemistry and Technology**. Berlin: De Gruyter, 2009. p. 173-193.

KLOCK, U.; ANDRADE, A. S. **Química da Madeira**. 4. ed. Curitiba: 2013. p.87.

LEE, J. Biological conversion of lignocellulosic biomass to ethanol. **Journal of Biotechnology**, v. 56, p. 1-24, 1997.

LOPES, J. O.; GARCIA, R. A.; NASCIMENTO, A. M. Wettability of the surface of heat-treated juvenile teak wood assessed by drop shape analyzer. **Maderas. Ciencia y tecnología**, v. 20, n. 2, p. 249-256, 2018.

LUNZ, A. M.; THOMAZINI, M. J.; MORAES, M. C. B.; NEVES, E. J. M.; BATISTA, T. F. C.; DEGENHARDT, J. SOUSA, L. A.; OHASHI, O. S. *Hypsipyla grandella* em Mogno (*Swietenia macrophylla*): Situação Atual e Perspectivas. **Pesquisa Florestal Brasileira**, n. 59, p. 45-55, 2009.

MELO, R. R.; MENEZZI, C. H. S.; SOUZA, M. R.; STANGERLIN, D. M. Avaliação das Propriedades Físicas, Químicas, Mecânicas e de Superfície de Lâminas de Paricá (*Schizolobium amazonicum* Huber ex. Ducke). **Floresta e Ambiente**, v. 20, n. 2, p. 238-249, 2013.

MOURA, F. D. G. **Calorimetria, Molhabilidade, Resistência e Rigidez da Madeira de *Khaya ivorensis* A. Chev. Tratada Termicamente**. Monografia (Graduação em Engenharia Florestal) – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, 2014.

MOTA, G. S. T.; ARANTES, A. B.; SACCHETTI, G.; SPAGNOLETTI, A.; ZIOSI, P.; SCALAMBRA, E.; VERTUANI, S.; MANFREDINI, S. Antioxidant Activity of Cosmetic Formulations Based on Novel Extracts from Seeds of Brazilian *Araucaria angustifolia* (Bertoll) Kuntze. **Journal of Cosmetics, Dermatological Sciences and Applications**, v. 4, n. 1, p. 190-202, 2014.

MURPHY, J. D.; MCCARTHY, K. Ethanol production from energy crops and wastes for use as a transport fuel in Ireland. **Applied Energy**, v. 82, n. 1, p. 148-166, 2005.

MYERS, D. The Contact Angle. *In*: MYERS, D. (Ed.). **Surface, Interface and Colloids: Principles and Applications**. 2. ed. New York: Wiley-VHC, 1999. p. 415-447.

NETO, A. B. G.; FELFILI, J. M.; SILVA, G. F.; MAZZEI, L.; FAGG, C. W.; NOGUEIRA, P. E. Avaliação do Plantio Homogêneo de Mogno, *Swietenia macrophylla* King, em comparação com o plantio consorciado com *Eucalyptus urophylla* S. T. Blake, Após 40 Meses de Idade. **Revista Árvore**, v. 28, n. 6, p. 777-784, 2004.

OLIVEIRA, J. T. S. **Caracterização da madeira de eucalipto para a construção civil**. Tese (Doutorado em Engenharia) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 1997.

ONUORAH, E. O. The wood preservative potentials of heartwood extracts of *Milicia excelsa* and *Erythrophleum suaveolens*. **Bioresource Technology**, v. 75, n. 1, p. 171-173, 2000.

PETTERSEN, R. C. The Chemical Composition of Wood. *In*: ROWELL, R. M. (Ed.). **The Chememistry of Solid Wood**. Washington: ACS Publications, 1984. p. 57-126.

ROWELL, R. M.; PETTERSEN, R. C.; HAN, J. S.; ROWELL, J. S. TSHABALALA, M. A. Cell Wall Chemistry. *In*: ROWELL, R. M. (Ed.). **Handbook of Wood Chemistry and Wood Composites**. New York: CRC Press, 2005. p. 35-74.

SAKURAGUI, C. M.; CALAZANS, L. S. B.; STÉFANO, M. V.; VALENTE, A. S. M.; MAURENZA, D.; KUTSCHENCO, D. C.; PRIETO, P. V.; PENEDO, T. S. A. Meliaceae. *In*: MARTINELLI, G; MORAES, M. A. (Eds.). **Livro Vermelho da Flora do Brasil**. Rio de Janeiro: Andrea Jakobsson, 2013. p. 697-701.

SHELDON, Q. S.; GARDNER, D. J. Dynamic adhesive wettability of wood. **Wood and fiber science**, v. 33, n. 1, p. 58-68, 2001.

SILVA, J. C. **Caracterização da Madeira de *Eucalyptus grandis* Hill ex. Maiden, de Diferentes Idades, Visando a sua Utilização na Indústria Moveleira**. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2002.

SILVA, J. C.; OLIVEIRA, J. T. S. Avaliação das propriedades higroscópicas da madeira de *Eucalyptus saligna* Sm., em diferentes condições de umidade relativa do AR. **Revista Árvore**, v. 27, n. 2, p. 233-239, 2003.

SILVA, J. G. M.; VIDAURRE, G. B.; MININI, D.; OLIVEIRA, R. F.; ROCHA, S. M. G.; GONÇALVEZ, F. G. Qualidade da Madeira de Mogno Brasileiro Plantado para a Produção de Serrados. **Scientia Forestalis**, v. 47, n. 121, p. 1-12, 2019.

SILVA, S. C.; SPERANÇA, P. A.; GUSMÃO, E. S. Avaliação clínica da membrana biológica Bioskin® (Hemicelulose) na técnica de regeneração tecidual guiada. **Peridontia**, v. 5, n. 2, p. 233-242, 1995.

SILVA, S. M.; KOEHNLEIN, E. A.; BRACHT, A.; CASTOLDI, R.; MORAIS, G. R.; BAESSO, M. L.; PERALTA, R. A.; SOUZA, C. G. M.; SÁ-NAKANISHI, A. B.; PERALTA, R. M. Inhibition of salivary and pancreatic α -amylases by a pinhão coat (*Araucaria angustifolia*) extract rich in condensed tannin. **Food Research International**, v. 56, n. 1, p. 1-8, 2014.

TECHNICAL ASSOCIATION OF THE PULP AND PAPER INDUSTRY - TAPPI. **TAPPI T204: Solvent extractives of wood and pulp**. Atlanta: TAPPI Press, 1997.

TELEMAN, A. Hemicelluloses and Pectin. *In*: EK, M. (Ed.). **Pulp and Paper Chemistry and Technology**. Berlin: De Gruyter, 2009. p. 101-120.

WÅLINDER, M. E. P.; JOHANSSON, I. Measurement of Wood Wettability by the Wilhelmy Method. Part 1. Contamination of Probe Liquids by Extractives. **Holzforschung**, v. 55, n. 1, p.21-32, 2001.

WARD, S.; BOSCHER, D.; GROGAN, J. Special issue: Sustainable management of high-value timber species of the Meliaceae. **Forest Ecology and Management**, v. 255, n. 1, p. 265-268, 2008.