

**Universidade de São Paulo  
Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”**

**Produção sustentável de poliuretano à base de óleo de mamona e potenciais aplicações na colagem e impermeabilização de madeiras de reflorestamento**

**Aline Maria Faria Cerchiari**

Tese apresentada para obtenção do título Doutora em Ciências, Programa: Recursos Florestais. Opção em: Tecnologia de Produtos Florestais

**Piracicaba  
2019**

**Aline Maria Faria Cerchiari**  
**Engenheira Química**

**Produção sustentável de poliuretano à base de óleo de mamona e potenciais aplicações na colagem e impermeabilização de madeiras de reflorestamento**

versão revisada de acordo com a resolução CoPGr 6018 de 2011

Orientador:

Prof. Dr. **JOSÉ NIVALDO GARCIA**

Tese apresentada para obtenção do título Doutora em Ciências, Programa: Recursos Florestais. Opção em: Tecnologia de Produtos Florestais

**Piracicaba**  
**2019**

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação**  
**DIVISÃO DE BIBLIOTECA – DIBD/ESALQ/USP**

Cerchiari, Aline Maria Faria

Produção sustentável de poliuretano à base de óleo de mamona e potenciais aplicações na colagem e impermeabilização de madeiras de reflorestamento / Aline Maria Faria Cerchiari. -- versão revisada de acordo com a resolução CoPGr 6018 de 2011. -- Piracicaba, 2019.

133 p.

Tese (Doutorado) -- USP / Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”.

1. Absorção de água 2. Propriedades mecânicas 3. Aditivo 4.Extração a frio 5. Tecnologia de sementes 6. Ressonância Magnética Nuclear I. Título

## RESUMO

### **Produção sustentável de poliuretano à base de óleo de mamona e potenciais aplicações na colagem e impermeabilização de madeiras de reflorestamento**

A busca por produtos de alta performance, juntamente com a necessidade de desenvolver produtos com baixo impacto ambiental e de processos relativamente pouco sofisticados desencadeou o desenvolvimento dessa pesquisa, onde objetivou-se melhorar o processo de produção do poliuretano à base de óleo de mamona, em laboratório piloto. Iniciou-se com a produção/coleta/seleção das sementes de mamona, passando pelo processo de extração a frio de seus óleos, até a utilização benéfica dos aditivos produzidos, de melhor composição química para uso em madeira lamelada colada (MLC). Caracterizou-se morfológicamente as sementes provenientes da variedade Guarani e de várias outras desconhecidas e intituladas, no conjunto, como variedade selvagem. O peso e volume da semente selvagem foi maior do que da semente Guarani, mas foi observado, em análises de ressonância magnética nuclear, o mesmo teor de óleos para os dois tipos de sementes. A temperatura ideal para extração de óleo das sementes de mamona foi de  $103\pm 2^{\circ}\text{C}$ . Após extraídos, os óleos de ambas as variedades foram caracterizados quanto ao índice de acidez, índice de hidroxila, densidade e perfil cromatográfico. O óleo proveniente da semente selvagem apresentou maior índice de acidez que o valor observado no óleo comercial. Para o poliuretano na função adesivo, a variável analisada foi a resistência ao cisalhamento paralelo (fv<sub>g0</sub>). O tempo mínimo de prensagem quando utilizado poliuretano de mamona produzido em escala laboratorial foi de 48 h para máxima resistência mecânica das juntas coladas. A máxima gramatura aplicada do poliuretano na união de duas peças de madeira foi de 200g.m<sup>-2</sup>. Realizou-se um estudo exploratório com 15 tipos de aditivos nas sínteses de poliuretanos com óleo comercial e aditivos como fibras de madeira, goma-laca, glicerina e solução com KOH, selecionados para serem utilizados na composição do poliuretano produzido com óleos extraídos no laboratório. Foi possível produzir poliuretano de mamona a partir de sementes selvagens e Guarani, sem aditivos para a espécie *P. caribaea* e *E. urophylla*. Para a espécie *C. citriodora*, os resultados de resistência foram relativamente baixos, por influência de características da espécie. O poliuretano a base de mamona, produzido segundo a razão molar de metade daquela usada na síntese do adesivo, foi avaliado como impermeabilizante através de testes de absorção de água. A taxa de absorção de água em 268 horas de imersão foi extremamente baixa. Os poliuretanos sintetizados com óleo comercial e de sementes selvagens, testados como impermeabilizante nas madeiras de *P. caribaea* e *C. citriodora* apresentaram alta capacidade de impermeabilização e foram melhores do que dois impermeabilizantes comerciais utilizados como referência. A taxa de absorção de água pela madeira de *P. caribaea* foi de apenas 0,0075 g de água/hora em imersão total, contra a taxa de absorção de 0,0485 ocorrida na madeira tratada com impermeabilizante comercial. Para o *C. citriodora*, a taxa de absorção foi de 0,0032 g de água/hora na madeira tratada com o PU de óleo comercial e selvagem, equivalente ao impermeabilizante comercial.

Palavras-chave: Absorção de água, Propriedades mecânicas, Aditivo, Extração a frio, Tecnologia de sementes, Ressonância Magnética Nuclear

## ABSTRACT

### **Sustainable production of castor oil-based polyurethane and potential applications in adhesion and waterproofing of reforestation woods**

The pursuit of high performance products, along with the need to develop products with low environmental impact and relatively unsophisticated processes, triggered the development of this research, which aimed to improve the production process of castor oil-based polyurethane in pilot laboratory. It started with the production/collection/selection of castor seeds through cold extraction of their oils until the beneficial use of additives of better chemical composition for use in Glulam. Seeds of the Guarani variety and several others unknown and characterized as a wild variety were morphologically characterized. Weight and volume of wild seed were higher than that of Guarani seed; however, the same oil content for both seed types was observed in nuclear magnetic resonance analysis. The ideal temperature for oil extraction from castor seeds was  $103\pm 2^{\circ}\text{C}$ . After extraction, oils of both varieties were characterized by the acidity index, hydroxyl index, density, and chromatographic profile. Oil from wild seed presented higher acidity index than the commercial oil. For the adhesive function of polyurethane, shear strength in parallel to the grain (fv<sub>g0</sub>) was the variable analyzed. The minimum pressing time, using castor polyurethane at laboratory scale, was 48 h for maximum mechanical properties of glued joints. The maximum polyurethane applied at the union of two pieces of wood was  $200\text{g}\cdot\text{m}^{-2}$ . An exploratory study was conducted with 15 types of additives in the synthesis of polyurethanes with commercial oil and additives, such as wood fibers, shellac, glycerin, and KOH solution, selected for the composition of polyurethane produced with oils extracted in laboratory. It was possible to produce castor polyurethane from wild and Guarani seeds without additives for species *P. caribaea* and *E. urophylla*. For *C. citriodora*, the resistance results were relatively low, due to the influence of species characteristics. Castor oil-based polyurethane, produced at a half-molar ratio of that used in the adhesive synthesis, was evaluated as waterproofing by water absorption tests. The water absorption rate at 268 h of immersion was extremely low. The polyurethanes synthesized with commercial oil and wild seeds, tested as a waterproofer in the woods *P. caribaea* and *C. citriodora*, showed high waterproofing capacity and were better than two commercial waterproofing materials used as reference. The water absorption rate by *P. caribaea* wood was only 0.0075 g of water/hour in total immersion, compared to the the absorption rate 0.0485 in wood treated with commercial waterproofing. For *C. citriodora*, the absorption rate was 0.0032 g of water/hour in wood treated with commercial and wild oil polyurethane, equivalent to commercial waterproofing.

**Keywords:** Water Absorption, Mechanical Properties, Additive, Cold Extraction, Seed Technology, Nuclear Magnetic Resonance

## 1. INTRODUÇÃO

De acordo com o Instituto Brasileiro de árvores (2018), o setor florestal no Brasil vem crescendo a cada ano, se tratando de florestas, a área total de árvores plantadas (eucalipto, pinus e demais espécies) totalizou 7,84 milhões de hectares em 2017. O Produto Interno Bruto (PIB) Industrial do setor foi de 6,2%, a receita bruta foi de R\$ 71,1 bilhões em 2017, e exportações de US\$ 8,9 bilhões. As plantações são responsáveis de 91% de madeira fornecida para o setor industrial e 9% são de florestas naturais legalmente manejadas.

O setor de florestas plantadas investe em tecnologia para o desenvolvimento de alternativas na utilização de recursos fósseis e finitos a fim de se obter economia de baixo carbono. Produtos à base florestal estão presentes em nosso dia a dia, podemos destacar dentre eles como papéis, embalagens, painéis de madeira, fraldas, pisos laminados e madeiras para a construção civil em geral (INSTITUTO BRASILEIRO DE ÁRVORES, 2018).

Na linha de construção civil, verificou-se nas últimas décadas uma quase total substituição da utilização da madeira como material estrutural pelo concreto e pelo aço, tendo passado a madeira apenas a ser utilizada em elementos secundários e revestimentos, principalmente devido à sua utilização inadequada.

Existe um apelo mundial pela preservação do meio ambiente e características peculiares da madeira em si, dentre elas custos relativamente baixos, aparência, conforto, vida útil que vem despertando cada dia mais o interesse de engenheiros, arquitetos e consumidores em geral para a sua utilização como componente na construção, tornando-se uma característica de escolha tão importante quanto a qualidade e o preço final do material.

No tema da sustentabilidade, um trecho do livro de Elkington, J. (2011) define que os três pilares ou o *triple bottom line* constituem-se nos aspectos ambientais, econômicos e sociais. No pilar relacionado ao aspecto ambiental faz referência ao “**capital natural** de um empreendimento ou sociedade. É importante pensar no pequeno, médio e longo prazo. A princípio, praticamente toda atividade econômica tem impacto ambiental negativo. Nesse aspecto, a empresa ou a sociedade deve pensar nas formas de amenizar esses impactos e compensar o que não é possível amenizar. Assim uma empresa que usa determinada matéria-prima deve planejar formas de repor os recursos ou, se não é possível, diminuir o máximo possível o uso desse material”.

A fim de tentar minimizar os impactos ambientais com o uso sustentável da madeira e seus componentes, tem-se o produto chamado Madeira Lamelada Colada (MLC), cujo o seu desenvolvimento depende do estudo da espécie que é utilizada dos avanços tecnológicos e

desenvolvimentos de adesivos (poliuretanos) utilizados e de medidas que garantam a controle de qualidade na fabricação das estruturas (CALIL NETTO, 2011). Até 2021, estima-se que a produção mundial de poliuretanos em geral atinja 26,4 milhões de toneladas. (THE ESSENTIAL CHEMICAL INDUSTRY, 2017).

Sendo assim, adesivos modificados e produzidos de recursos renováveis não poluentes e biodegradáveis tem aberto novas perspectivas no desenvolvimento de alternativas em comparação dos adesivos poliuretanos utilizados tradicionalmente para a produção de MLC.

Um das alternativas são poliuretanos (adesivos) à base de óleo vegetal, que além do apelo sustentável, tendem a ser muito mais baratos, disponíveis em grandes quantidades e pode ser obtida uma gama muito ampla de polióis ou dióis e, em alguns casos, poli ou diisocianatos a partir desses óleos (PFISTER; XIA; LAROCK, 2011). Os poliuretanos de óleo da mamona possuem propriedades térmicas e mecânicas comparáveis ou até superiores do que os poliuretanos tradicionais.

A busca por produtos de alta performance, juntamente com a necessidade de desenvolver produtos com baixo impacto ambiental provido de equipamentos e processos menos sofisticados culminou-se no desenvolvimento desse estudo, destinado para a melhoria de toda cadeia de produtos a serem utilizados na composição do poliuretano de mamona, desde a seleção das sementes de mamona, passando pelo processo de extração mecânica de seu óleo, até a utilização de aditivos para alteração da sua propriedade química quando utilizado como adesivo nas vigas (MLC) e também para ser utilizado como impermeabilizantes para madeiras.

## 2. OBJETIVOS

O objetivo geral do presente trabalho foi produzir toda a cadeia do poliuretano de mamona em processo mais sustentável e simplificada possível, possibilitando a destinação dos produtos derivados de mamona para aplicações na colagem de juntas adesivas e na função de impermeabilizante. Os objetivos específicos foram:

(i) Classificar morfológicamente as sementes de mamona oriunda de cultivar definido e indefinidos, a fim de identificar a variabilidade entre elas;

(ii) Avaliar a influência dos parâmetros de processo da extração do óleo de sementes de mamona oriunda de cultivar definido e indefinidos nas características dos poliuretanos de mamona produzidos em laboratório com estes respectivos óleos;

(iii) Verificar a influência do tempo de prensagem de poliuretanos de mamona produzidos em escala laboratorial na resistência mecânica de madeiras coladas;

(iv) Avaliar a interferência da gramatura do adesivo poliuretano de mamona na resistência das uniões coladas, bem como se o fato da face da madeira ser usinada (aplainada) no instante da aplicação do poliuretano interfere na adesão de madeiras;

(v) Desenvolver metodologia específica para ensaios de resistência ao cisalhamento da linha de cola, a fim de evitar possíveis variáveis (imperfeições) do corpo de prova a ser cisalhado, como desvio de grã, densidade, evitar que a ruptura ocorra por compressão, que poderá acarretar negativamente no real valor da carga cisalhada do ensaio.

(vi) Verificar se alterações nos parâmetros de processo da produção do poliuretano de mamona, como a adição de aditivos em sua composição, a fim de determinar um ponto ótimo entre a resistência mecânica das madeiras coladas e tempo de cura do poliuretano a serem utilizadas na fabricação de madeira lamelada colada (MLC) em espécies de *P. cariabaea*, *C. citriodora* e *E. urophylla*;

(vii) Produzir poliuretano de mamona como impermeabilizante para madeira com espécies de diferentes densidades (*P. cariabaea* e *C. citriodora*).



### 3. CONCLUSÕES

Foi possível discriminar morfológicamente as plantas, racemos e sementes de mamona de variedades desconhecidas (selvagens), observando-se que não há grandes variações entre mamoneira. A variedade conhecida como Guarani (melhorada geneticamente) apresentou sementes de tamanhos e volumes maiores do que as sementes selvagens. O teor de óleo previsto nas sementes, através da técnica de ressonância magnética nuclear (RMN), foi praticamente o mesmo tanto para a variedade Guarani quanto para o grupo de variedades selvagens. Os rendimentos tecnológicos em óleo foram, respectivamente, de 34,06 e 33,36%, no mesmo processo de extração mecânica a frio. O rendimento médio em número de sementes por racemo (NSR) foi até 237% superior aos valores observados em outras pesquisas. Isso comprova uma ótima produtividade das mamoneiras de ocorrência natural no município de Piracicaba.

A temperatura estipulada para a secagem das sementes de mamona Guarani e selvagem foi de  $103 \pm 2^\circ\text{C}$ . O Óleo proveniente de sementes selvagens apresentou um alto índice de acidez em comparação com óleo comercial, porém, a composição de seus ácidos, determinados através de análise cromatográfica, não foi diferente e, assim, foi aprovado como matéria-prima para produção de poliuretano.

O tempo mínimo de prensagem para máxima resistência mecânica das juntas coladas com o poliuretano produzido em escala laboratorial (PU), na razão molar de 1,8, foi de no mínimo 48 horas.

A gramatura de poliuretano otimizada para o *P. caribaea* foi de  $200\text{g.m}^{-2}$  para aplicação em apenas uma face da junta quando composta por duas peças de madeira. A qualidade da superfície, produzida por uma plaina de duas faces, no ato da colagem, em adição à anterior feita 15 dias antes, não melhorou a resistência da junta colada com o PU. Há, portanto, uma maior flexibilidade de tempo para estocagem das madeiras antes do processo de colagem das peças.

As dimensões do corpo de prova ideais para a realização do ensaio de resistência ao cisalhamento foram de 10mm para a altura do dente superior, 30mm para a altura e 10mm para a altura do proposto dente de apoio inferior. Nessas condições não é necessário o apoio traseiro especificado na norma brasileira de ensaios mecânicos de madeira.

O poliuretano produzido no laboratório piloto a partir de óleos de sementes selvagens extraídos no mesmo laboratório não possibilitou juntas coladas de resistência ao cisalhamento superior às das juntas coladas produzidas com o melhor poliuretano comercial, importado, (12,48MPa), para a madeira de *P. caribaea*. Não houve benefícios de aditivos na composição do adesivo poliuretano.

Os melhores adesivos foram produzidos com óleos centrifugados, avaliados pela resistência ao cisalhamento das juntas coladas, de 8,28MPa para o PU de óleo selvagem e 8,60MPa para o PU de óleo Guarani. Esses valores foram considerados como estatisticamente iguais à resistência ao cisalhamento de 8,41 MPa obtida com o PU sintetizado com o óleo comercial. Para a espécie *E. urophylla*, o poliuretano com óleo comercial sem aditivos apresentou resistência ao cisalhamento de 9,25MPa, considerado estatisticamente igual ao poliuretano comercial importado que possibilitou a resistência ao cisalhamento de 8,93MPa. Neste caso houve benefício de aditivos na composição do adesivo. O PU com óleo selvagem e 5% de um aditivo composto, de glicerina, KOH e goma-laca, possibilitou a obtenção da resistência ao cisalhamento de 8,31MPa. Outra adição benéfica foi a de 0,1% de fibras de celulose no óleo Guarani, que possibilitou a obtenção da resistência ao cisalhamento de 8,86MPa. Os PU's produzidos com sementes selvagens ou Guarani mostraram resultados interessantes, com perda de 14% na resistência quando sintetizados sem aditivos. Podem ser considerados aptos para a produção de poliuretano frente à alta complexidade do processo de aquisição, armazenamento e preparo de certos aditivos. Já para a espécie de *C. citriodora*, a colagem foi prejudicada pelas características da madeira da espécie. Com a adição de aditivos específicos, como de 0,1% de fibra curta na formulação, a resistência ao cisalhamento para essa espécie foi de 7,63 MPa para os óleos extraídos no laboratório.

Os poliuretanos sintetizados com óleo comercial e de sementes selvagens, na razão molar de 0,9, testado como impermeabilizante para as madeiras de *P. caribaea* e *C. citriodora* apresentaram alta capacidade de impermeabilização e foram melhores do que dois impermeabilizantes comerciais utilizados como referência. A taxa de absorção de água pela madeira de Pinus foi de apenas 0,0075 g de água/hora em imersão total, contra a taxa de absorção de 0,0485 ocorrida na madeira tratada com impermeabilizante comercial. Para o *C. citriodora*, a taxa de absorção foi de 0,0032 g de água/hora na madeira tratada com o PU de óleo comercial e selvagem, equivalente ao impermeabilizante comercial.

De uma maneira geral pode-se concluir é possível produzir poliuretano à base de óleo de mamona com metodologia pouco sofisticada, desde a extração de óleo provenientes de sementes selvagens coletadas nos entornos da região à produção do poliuretano sustentável, de grande potencial nas colagens e impermeabilizações de madeiras de *P. caribaea*, *E. urophylla* e *C. citriodora*.

**REFERÊNCIAS**

ABBADI, A.; LECKBAND, G. Rapeseed breeding for oil content, quality, and sustainability. **European Journal of Lipid Science and Technology**, v. 113, n. 10, p. 1198–1206, Oct. 2011.

ADHVARYU, A.; ERHAN, S. Epoxidized soybean oil as a potential source of high-temperature lubricants. **Industrial Crops and Products**, v. 15, n. 3, p. 247–254, May 2002.

AGÊNCIA NACIONAL DE PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEIS, **Anuário estatístico de 2018**. Disponível em: <<http://www.anp.gov.br/publicacoes/anuario-estatistico/anuario-estatistico-2018>>. Acesso em: 01 abr.2019.

AICHER, S.; STAPF, G. Glulam from European White Oak: Finger Joint Influence on Bending Size Effect. In: **Materials and Joints in Timber Structures**. Dordrecht: Springer Netherlands, 2014. p. 641–656.

ANJANI, K. Extra-early maturing germplasm for utilization in castor improvement. **Industrial Crops and Products**, v. 31, n. 1, p. 139–144, Jan. 2010.

ASID, K. et al. **Jumat-Fatty Acid Composition**. v. 39, n. 5, p. 761–764, 2010.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7190**: projetos de estruturas de madeira. Rio de Janeiro, 1997. 107 p.

AZEVEDO D.M.P.; BELTRÃO N.E.M. **O agronegócio da mamona no Brasil**. Brasília: Embrapa Informações Tecnológicas, 2007. 506 p.

BAEK, S.H.; KIM, B.K. Synthesis of polyacrylamide/polyurethane hydrogels by latex IPN and AB crosslinked polymers. **Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects**, v. 220, n. 1/3, p. 191–198, June 2003.

BANZATTO, N.V.; CANECCHIO FILHO, V.; SAVY FILHO, A. **Guarani**: novo cultivar de mamoneira. Campinas: IAC, 1977. 7 p. (Circular do Instituto Agrônômico, 66).

BEHR, A.; GOMES, J.P. The refinement of renewable resources: New important derivatives of fatty acids and glycerol. **European Journal of Lipid Science and Technology**, v. 112, n. 1, p. 31–50, 2010.

BELTRÃO, N.E.M.; AZEVEDO, D.M.P. Fitologia. In: AZEVEDO, D.M.P.; BELTRÃO, N.E.M. (Ed.). **O agronegócio da mamona no Brasil**. 2. ed. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2007. p. 116-137.

BIANCHE, J.J. et al. Cisalhamento na linha de cola de *Eucalyptus* sp. colado com diferentes adesivos e diferentes gramaturas. **Floresta e Ambiente**, v. 24, n. 0, ago. 2017.

BIERMANN et al. New syntheses with oils and fats as renewable raw materials for the chemical industry. **Angewandte Chemie (International ed. in English)**, v. 39, n. 13, p. 2206–2224, July 2000.

BOOTLE, K.R. **Wood in Australia: types, properties and uses.** 2<sup>nd</sup> ed. Sydney: McGraw-Hill, 2005.

BOSE, P.K.; SANKARANARAYAN, Y. **Chemistry of lac.** Bihar-India: Indian Lac Research Institute, 1963.

BRADY, D.E; KAMKE, F.A. Effect of hot-pressing parameters on resin penetration. **Forest Products Journal**, v. 38 p. 63-68, Nov./Dec.1988.

CALIL NETO, C. **Madeira laminada colada (MLC): controle de qualidade em combinações espécie-adesivo-tratamento preservativo.** Dissertação (Mestrado. Interunidades em Ciência e Engenharia de Materiais) - Universidade de São Paulo, São Carlos, 2011.

CERCHIARI, A.M.F. **Aprimoramento do poliuretano a base de óleo de mamona na manufatura de Madeira Laminada Colada (MLC) de *Cupressus lusitânica*, *Corymbia maculata* e *Hevea brasiliensis*.** 2013. 105 p. Dissertação (Mestrado em Recursos Florestais) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2013.

CERCHIARI, A.M.F.; GAVA, M.; GARCIA, J.N. Evaluation of products for wood waterproofing. **Cerne**, v. 16, p. 1–8, 2010. Suplemento.

CHANDLER, J.G.; BRANDON, R.L.; FRIHART, C.R. **Examination of adhesive penetration in modified wood using fluorescence microscopy.** ASCSpring 2005 Convention and Exposition: Columbus, 2005. [Bethesda, Md.: Adhesive and Sealant Council, 2005. 10 p. Disponível em: <[https://www.fpl.fs.fed.us/documnts/pdf2005/fpl\\_2005\\_chandler001.pdf](https://www.fpl.fs.fed.us/documnts/pdf2005/fpl_2005_chandler001.pdf)>. Acesso em: 10 mar. 2019.

CHUNG, Y.C.; CHOI, J.H.; CHUN, B.C. Shape-memory effects of polyurethane copolymer cross-linked by dextrin. **Journal of Materials Science**, v. 43, n. 18, p. 6366–6373, 2008.

CONSTANTINO, A.F. et al. Determination of physicochemical properties of biodiesel and blends using low-field NMR and multivariate calibration. **Fuel**, v. 237, p. 745–752, Feb. 2019.

DESMODUR. Covestro Solution Center 2019. Disponível em: <<https://solutions.covestro.com/en/brands/desmodur>>. Acesso em: 10 jan. 2019.

DIETSCH, P.; TANNERT, T. Assessing the integrity of glued-laminated timber elements. **Construction and Building Materials**, v. 101, p. 1259–1270, Dec. 2015.

ELKINGTON, J. **Sustentabilidade:** canibais com garfo e faca. Mbooks, 2011.

THE ESSENCIAL CHEMICAL INDUSTRY. **Polyurethanes.** 2017. Disponível em: <<http://www.essentialchemicalindustry.org/polymers/polyurethane.html>>. Acesso em: 10 dez. 2017.

FANAN, S. et al. Influência da colheita e do armazenamento na qualidade fisiológica de sementes de mamona. **Revista Brasileira de Sementes**, v. 31, n. 1, p. 150–159, 2009.

FERREIRA, A.T.B.; TOMAZELLO FILHO, M. Caracterização dos anéis de crescimento de árvores de *Pinus caribaea* var. *hondurensis* Barr. et Golf. Por densitometria de raios X. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 37, n. 83, p. 287-298, set. 2009.

FERREIRA, D.F. Sisvar: a guide for its bootstrap procedures in multiple comparisons. **Ciênc. agrotec.**, v. 38, n. 2, p. 109-112, 2014. Disponível em: ISSN 1413-7054. <http://dx.doi.org/10.1590/S1413-70542014000200001>.

FOGLIA, T.A.; JONES, K.C.; SONNET, P.E. Selectivity of lipases: isolation of fatty acids from castor, coriander, and meadowfoam oils. **European Journal of Lipid Science and Technology**, v. 102, n. 10, p. 612–617, Oct. 2000.

FOREST PRODUCTS LABORATORY. **Wood handbook: wood as an engineering material: general technical report FPL-GTR-190**. Madison: USDA, 2010. 508 p.

FREITAS, C.A.S. de et al. Comportamento de cultivares de mamona em níveis de irrigação por gotejamento em Pentecoste, CE. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 14, n. 10, p. 1059–1066, out. 2010.

FRIHART, R.C.; HUNT, C.G. **Wood handbook: wood as an engineering material**. Madison: USDA, Forest Service, Forest Products Laboratory, 2010. 508 p.

GALVAO, A.P.M.; JANKOWSKY, I.P. **Secagem racional da madeira**. São Paulo: Nobel, 1985. 111 p.

GARCIA, R.A. et al. Colorimetria de madeiras dos gêneros *Eucalyptus* e *Corymbia* e sua correlação com a densidade. **CERNE**, v. 20, n. 4, p. 509–517, dez. 2014.

GAVRILOVIĆ-GRMUŠA, I. et al. Influence of pressure on the radial and tangential penetration of adhesive resin into poplar wood and on the shear strength of adhesive joints. **BioResources**, v. 11, n. 1, Jan. 2016.

GELOSA, D. et al. **Chromatographic reactors: esterification of glycerol with acetic acid using acidic polymeric resins**. 2003.

GOMES, B. et al. Monitoring electrochemical reactions in situ with low field nmr: a mini-review. **Applied Sciences**, v. 9, n. 3, p. 498, Feb. 2019.

GONÇALVES, F. et al. Avaliação da resistência ao cisalhamento da madeira de *Pinus* sp. coladas em temperatura ambiente. **Revista Ciência da Madeira (Brazilian Journal of Wood Science)**, v. 7, n. 1, maio 2016.

GRIFFITH, A.A. The phenomena of rupture and flow in solids. **Philosophical Transactions of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences**, v. 221, n. 582–593, p. 163–198, Jan. 1921.

GUNSTONE, F.D.; HARWOOD, J.L.; DIJKSTRA, A.J. (Ed.). **The lipid handbook**. Boca Raton: Taylor & Francis, 2007.

HANUMANTHARAO, C.; RAOOF, M.A.; LAVANYA, C. Study on segregation patterns and linkages between morphological characters and wilt resistance in castor (*Ricinus communis L.*). **Journal of Oilseeds Research**, v. 22, n. 1, p. 114-118, 2005.

HARTMAN, L.; LAGO, R.C.A. Rapid preparation of fatty acid methyl esters. **Laboratory Practice**, v. 22, n. 6, p. 475-494, 1973.

HUTCHINSON, A.R.; IGLAUER, S. Adhesion of construction sealants to polymer foam backer rod used in building construction. **International Journal of Adhesion and Adhesives**, v. 26, n. 7, p. 555–566, Oct. 2006.

INSTITUTO BRASILEIRO DE ÁRVORES. **Relatório Anual da IBÁ 2018 ano base 2017**. São Paulo, 2017.

JOWAT ADESIVOS. **Adesivos especiais para madeira laminada colada**. Deltmond, 2019. Disponível em: <[https://www.jowat.com/technical-data-sheets/686.60/TD68660\\_Englisch.PDF](https://www.jowat.com/technical-data-sheets/686.60/TD68660_Englisch.PDF)>. Acesso em: 01 dez. 2018.

\_\_\_\_\_. **Indústria madeireira**. Deltmond, 2019. Disponível em: <<https://www.jowat.com/pt-BR/aplicacoes/industria-madeireira>>. Acesso em: 10 jan. 2019.

KAJTNA, J.; SEBENIK, U. Microsphere pressure sensitive adhesives: acrylic polymer/montmorillonite clay nanocomposite materials. **International Journal of Adhesion & Adhesives**, v. 29, n. 5, p. 543-550, 2009.

KAMKE, F.A. et al. **Adhesive penetration in wood: a review**. Disponível em: <[https://pdfs.semanticscholar.org/579d/c9b7688d145108bf9c52a999e9736e0644d6.pdf?\\_ga=2.23277683.873537262.1563722502-3290074.1563109147](https://pdfs.semanticscholar.org/579d/c9b7688d145108bf9c52a999e9736e0644d6.pdf?_ga=2.23277683.873537262.1563722502-3290074.1563109147)>. Acesso em: 21 jul. 2019.

KHAN, A. et al. A chemical reduction approach to the synthesis of copper nanoparticles. **International Nano Letters**, v. 6, n. 1, p. 21–26, Mar. 2016.

KINLOCH, A.J. **Adhesion and adhesives: science and technology**. Chapman and Hall, 1987. 460 p.

KOEPPEN. **Koeppen-climatology maps 2006**. Disponível em: <[http://www.fao.org/nr/climpag/globalgrids/KC\\_classification\\_en.asp](http://www.fao.org/nr/climpag/globalgrids/KC_classification_en.asp)>. Acesso em: 11 nov. 2018.

LAAKSO, I.; HILTUNEN, R.; SEPPÄNEN-LAAKSO, T. Analysis of fatty acids by gas chromatography, and its relevance to research on health and nutrition. **Analytica Chimica Acta**, v. 465, n. 1/2, p. 39–62, 2002.

LAHR, F.A. et al. Physical-mechanical characterization of *Eucalyptus urophylla* wood. **Engenharia Agrícola**, v. 37, n. 5, p. 900–906, 2017.

LIMA, E.; ABDALLA, D.S. High-performance liquid chromatography of fatty acids in biological samples. **Analytica Chimica Acta**, v. 465, n. 1-2, p. 81–91, Aug. 2002.

LIMA, N.N. et al. Influência da gramatura na resistência da linha de cola aos esforços de cisalhamento em painéis compensados de *Copaifera duckei* Dawyer e *Eperua oleifera* Duck. **Acta Amazônica**. v. 41, n. 1, p. 83-90, 2011.

LOPES, C.S.D.; NOLASCO, A.M.; TOMAZELLO FILHO, M.; DIAS, C.T.S.; PANSINI, A. Estudo da massa específica e da variação dimensional da madeira de três espécies de eucalipto para a indústria moveleira. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 21, p. 315-322, 2011.

LORENZI, H.; SOUZA, H.M.; TORRES, M.A.V.; BACHER, L.B. **Árvores exóticas no Brasil**: madeiras, ornamentais e aromáticas. Nova Odessa: Instituto Plantarum, 2003. 368 p.

LU, W. et al. Study on flexural behaviour of glulam beams reinforced by Near Surface Mounted (NSM) CFRP laminates. **Construction and Building Materials**, v. 91, p. 23–31, Aug. 2015.

\_\_\_\_\_. et al. Behavior of glulam columns reinforced by near-surface-mounted cfrp laminates under eccentric compression loading. **Journal of Structural Engineering**, v. 142, n. 11, p. 04016109, Nov. 2016.

MAJKA, J. et al. Dimensional stability and hygroscopic properties of PEG treated irregularly degraded waterlogged Scots pine wood. **Journal of Cultural Heritage**, v. 31, p. 133–140, May 2018.

MARRA, A.A. **Technology of wood bonding**: principles in practice. New York: Van Nostrand Reinhold, 1992. p. 76–80.

MARTINEZ, I. et al. Destructive and non-destructive analytical techniques for authentication and composition analyses of foodstuffs. **Trends in Food Science & Technology**, v. 14, n. 12, p. 489–498, Dec. 2003.

MILANI, M. **Descritores de mamona utilizados pela Embrapa Algodão**. Campina Grande: Embrapa Algodão, 2008. (Documentos, 192). Disponível em: <[https://www.agencia.cnptia.embrapa.br/Repositorio/Descritores+de+mamona+utilizados+pe+la+embrapa+algodao\\_000h4tvry6m02wx7ha0awymty2vut27z.pdf](https://www.agencia.cnptia.embrapa.br/Repositorio/Descritores+de+mamona+utilizados+pe+la+embrapa+algodao_000h4tvry6m02wx7ha0awymty2vut27z.pdf)>. Acesso em: 12 mar. 2018.

MORA, A.; GARICA, C. **A cultura do eucalipto no Brasil**. São Paulo: Sociedade Brasileira de Silvicultura, 2000. 114 p.

MORETTO, E.; FETT, L. **Tecnologia de óleos e gorduras vegetais na indústria de alimentos**. São Paulo: Livraria Varela, 1998. 150 p.

MOSQUERA, J.D. et al. Physicochemical characteristics of seeds from wild and cultivated castor bean plants (*Ricinus communis* L.). **Ingeniería e Investigación**, v. 38, n. 1, p. 24–30, Jan. 2018.

MOURA, V.P.G.; DVORAK, W.S. Provenance and family variation of *Pinus caribaea* var. hondurensis from Guatemala and Honduras, grown in Brazil, Colombia and Venezuela. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 36, n. 2, p. 225–234, fev. 2001.

NASCIMENTO, A.M. do et al. **Comportamento de ligações adesivas em madeiras de**

**reflorestamento.** 2002. Disponível em: <<http://s3.amazonaws.com/host-article-assets/floram/588e21fde710ab87018b45db/fulltext.pdf>>. Acesso em: 16 jul. 2019.

OLIVEIRA, I.J. de; ZANOTTO, M.D. Eficiência da seleção recorrente para redução da estatura de plantas em mamoneira (*Ricinus communis* L.). **Ciência e Agrotecnologia**, v. 32, n. 4, p. 1107–1112, ago. 2008.

PAES, J.B. et al. Rendimento e características físicas dos óleos de nim (*Azadirachta indica*) e mamona (*Ricinus communis*). **Floresta e Ambiente**, v. 22, n. 1, p. 134–139, mar. 2015.

PARRA-SERRANO, L.J. **Resistência e elasticidade da madeira e de juntas coladas de *Eucalyptus grandis* W. Hill. ex-Maiden e seus impactos na mecânica de vigas laminadas coladas.** 2013. 100 p. Tese (Doutorado em Recursos Florestais) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2013.

PERDOMO, F.A. et al. Physicochemical characterization of seven Mexican *Ricinus communis* L. seeds & oil contents. **Biomass and Bioenergy**, v. 48, p. 17–24, Jan. 2013.

PETRAUSKI, S.M.F.C. **Desenvolvimento e teste de pórticos treliçados feitos de laminado colado com madeiras de *Eucalyptus citriodora* e *Eucalyptus grandis*.** 1999. 129 p. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1999.

PFISTER, D.P.; XIA, Y.; LAROCK, R.C. Recent advances in vegetable oil-based polyurethanes. **ChemSusChem**, v. 4, n. 6, p. 703–717, June 2011.

PLUMPTRE, R.A. *Pinus caribaea*, v. 2: wood properties. **Tropical Forestry Papers**, Oxford, n. 17, p. 1-148, 1984.

POLYMER PROPERTIES DATABASE. **Addition reactions of isocyanates.** 2019. Disponível em: <<http://polymerdatabase.com/polymer%20chemistry/Urethanes.html>> Acesso em: 05 mar. 2019.

POUBEL, D.S. et al. Efeito da termorreificação nas propriedades físicas e químicas da madeira de *Pinus caribaea*. **Cerne**, v. 19, n. 3, p. 391–398, set. 2013.

PUTHLI, M.S.; RATHOD, V.K.; PANDIT, A.B. Enzymatic hydrolysis of castor oil: process intensification studies. **Biochemical Engineering Journal**, v. 31, n. 1, p. 31–41, Aug. 2006.

RAFTERY, G.; HARTE, A.; RODD, P. Qualification of wood adhesives for structural softwood glulam with large juvenile wood content. **Journal of the Institute of Wood Science**, v. 18, n. 1, p. 24–34, 2008.

ROCHA, G. da et al. **Determination of biodiesel content in diesel fuel by time-domain nuclear magnetic resonance (td-nmr) spectroscopy.** 2017.

ROJAS-BARROS, P. et al. Isolation of a natural mutant in castor with high oleic/low ricinoleic acid content in the oil. **Crop Science**, v. 44, n. 1, p. 76–80, 2004.

ROOS, A; CRETON.C. **Styrenic block copolymer as hot melt PSA's: rol of molecular architecture on properties.** Proceedings of Euradh, 2004.



SAVY FILHO, A.; AMORIM, E.P.; RAMOS, N.P.; MARTINS, A.L.M.; CAVICHIOLI, J.C. Novas cultivares IAC-2028: nova cultivar de mamona. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 42, n. 3, p. 449-452, 2007.

SAYERLACK. **Ficha técnica do produto**. Cajamar, 2018. Disponível em: <<https://www.sayerlack.com.br//storage/products/June2019/PDCjK08FdRSQyJVe9dVW.pdf>>. Acesso em: 08 dez. 2018.

SCANAVACA, L.; JOSÉ, J.; GARCIA, N. **Potencial de melhoramento genético em *Eucalyptus urophylla* procedente da Ilha Flores**. 2005. Disponível em: <<https://www.ipef.br/publicacoes/scientia/nr64/cap02.pdf>>. Acesso em: 11 jul. 2019.

SERRANO, E. A numerical study of the shear-strength-predicting capabilities of test specimens for wood-adhesive bonds. **International Journal of Adhesion and Adhesives**, 2004.

SEVERINO, L.S.; MENDES, B.S.S.; LIMA, G.S. Seed coat specific weight and endosperm composition define the oil content of castor seed. **Industrial Crops and Products**, v. 75, p. 14–19, 2015.

SHIMOYAMA, V.R.S.; BARRICHELLO, L.E.G. Influência de características anatômicas e químicas sobre a densidade básica da madeira de *Eucalyptus* spp. In: CONGRESSO ANUAL DE CELULOSE E PAPEL, 24., 1991, São Paulo. **Anais...** São Paulo: ABTCP, 1991. p. 178-183.

SILVA, A.R. da et al. Characterization and performance of castor bean lineages and parents at the UFRB germplasm bank. **PLOS One**, v. 14, n. 1, p. e0209335, Jan. 2019.

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

SILVA, M.C. et al. Composites of rigid polyurethane foam and cellulose fiber residue. **Journal of Applied Polymer Science**, v. 117, n. 6, 2010.

SILVA, S.A. **Estudo do comportamento reológico dos adesivos hot melt PSA e sua relação com a composição e as propriedades adesivas**. 2008. 123 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2008.

SILVA, S.D.A. e. **A cultura da mamona na região de clima temperado: informações preliminares**. Brasília: EMBRAPA, 2005. 33 p.(Documentos, 149).

SOUZA, A.S.; TÁVORA, F.J.A.F.; PITOMBEIRA, J.B.; BEZERRA, F.M.L. Épocas de plantio e manejo da irrigação para a mamoneira. I. Componentes de produção. **Revista Ciência Agrônômica**, v. 38, n. 4, p. 414-421, 2007.

SOUZA, M.O.A. de; CASTRO SILVA, J. de; EVANGELISTA, W.V. Aplicação de acabamentos superficiais em madeira de *Eucalyptus camaldulensis* Dehnh. e *Eucalyptus urophylla* S.T. Blake visando ao uso na indústria moveleira. **Scientia Forestalis/Forest Sciences**, n. 92, p. 403–409, 2011.

STAPE, J.L. et al. **Relationships between nursery practices and field performance for Eucalyptus plantations in Brazil:** a historical overview and its increasing importance new forests. Disponível em: <https://link.springer.com/content/pdf/10.1023%2FA%3A1012271616115.pdf>>. Acesso em: 30 jun. 2019.

STAPE, J.L.; GONÇALVES, J.L.M; GONÇALVES, A.N. Relationships between nursery practices and field performance for Eucalyptus plantations in Brazil. **New Forests**, v. 22, p. 19-41, 2001.

STOECKEL, F.; KONNERTH, J.; GINDL-ALTMUTTER, W. Mechanical properties of adhesives for bonding wood: a review. **International Journal of Adhesion and Adhesives**, v. 45, p. 32–41, 2013.

VEIGEL, S. et al. Cellulose nanofibrils as filler for adhesives: effect on specific fracture energy of solid wood-adhesive bonds. **Cellulose**, v. 18, n. 5, p. 1227-1237, 2011.

WANG, C. et al. Thermal and mechanical properties of cast polyurethane resin based on soybean oil. **Journal of Applied Polymer Science**, v. 112, n. 3, p. 1122–1127, 2009.

WU, X. et al. The study of epoxidized rapeseed oil used as a potential biodegradable lubricant. **Journal of the American Oil Chemists' Society**, v. 77, n. 5, p. 561–563, 2000.