

Aproveitamento do casquilho de soja para a produção de painéis aglomerados convencionais de baixa densidade

Ingrid Luz Guimarães¹, Maria Cecília Ramos de Araújo Veloso², Fernando Jesus Nogara Lisboa³, Rafael Farinassi Mendes², Lourival Marin Mendes², Camila Laís Farrapo², José Benedito Guimarães Junior²

¹ Universidade Federal de Goiás, Campus Samambaia, Goiânia, GO, Brasil. E-mail: ingridg_2507@hotmail.com (ORCID: 0000-0001-8727-7915)

² Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG, Brasil. E-mail: mariacaveloso@outlook.com (ORCID: 0000-0002-8053-180X); rafael_farinassi@hotmail.com (ORCID: 0000-0002-1530-8388); lourival@dcf.ufla.br (ORCID: 0000-0001-8713-405X); camilafarrapo@hotmail.com (ORCID: 0000-0003-3480-6646); jbguimaraes@hotmail.com (ORCID: 0000-0002-9066-1069)

³ Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Botucatu, SP, Brasil. E-mail: fernogara@hotmail.com (ORCID: 0000-0003-2949-836X)

RESUMO: A madeira é responsável por mais de 40% do custo de produção de painéis aglomerados e uma das alternativas para atender a demanda da indústria e reduzir o custo de produção desses painéis é o aproveitamento dos resíduos agroindustriais. Nesse sentido, o objetivo deste trabalho foi avaliar o efeito da substituição da madeira por casquilho de soja nas propriedades físicas e mecânicas dos painéis. Os painéis foram produzidos com densidade nominal de 0,60 g cm⁻³. Substituiu as porcentagens de 0, 25, 50, 75 e 100% de casca de soja em relação às partículas de eucalipto. As partículas foram encoladas com 12% do adesivo uréia-formaldeído. O ciclo de prensagem compreendeu uma pressão de 4,0 MPa e temperatura de 180 °C durante 15 minutos. Os resultados encontrados mostraram que os painéis aglomerados convencionais produzidos com resíduo de casquilho de soja apresentaram aumento de suas propriedades física e diminuição das mecânicas à medida que se aumentou a substituição da madeira por resíduo. Conclui-se que, do ponto de vista técnico, as propriedades físicas e mecânicas serão atendidas com a substituição máxima da madeira por resíduo de casquilho de soja na proporção de 28,9%.

Palavras-chave: casca de soja; chapas aglomeradas; *Eucalyptus*; material lignocelulósico

Use of soybean hulls for the production of conventional panels of low density agglomerates

ABSTRACT: Wood accounts for more than 40% of the production cost of clad of agglomerates panels and to meet industry demand and reduces the production costs of panels, the use of agro-industrial waste is an alternative. In this sense, the objective of this work was to evaluate the effect of the substitution of wood by soybean hull on the physical and mechanical properties of the panels. The panels were produced with a nominal density of 0.60 g cm⁻³. It replaced the percentages of 0, 25, 50, 75 and 100% of soybean hulls in relation to the eucalyptus particles. The particles were glued with 12% of the urea-formaldehyde. The pressing cycle comprised a pressure of 4.0 MPa and a temperature of 180 °C for 15 minutes. The results showed that the conventional agglomerated panels produced with soybean residue showed an increase in their physical properties and a reduction of the mechanics as the replacement of the wood by residue was increased. It is concluded that, from the technical point of view, the physical and mechanical properties are met with a maximum substitution of the wood per soybean residue in the proportion of 28.9%.

Key words: soybean hulls; bonded plates; *Eucalyptus*; lignocellulosic material

tração perpendicular (TP) foram retirados 4 corpos-de-prova por painel e para flexão estática (com avaliação de módulo de elasticidade/MOE e módulo de ruptura/MOR) amostrou-se 2 corpos-de-prova por painel.

O delineamento experimental utilizado foi do tipo inteiramente casualizado, com 5 tratamentos e 3 repetições. Para as propriedades que apresentaram efeito significativo com a presença da casca de soja foi realizada a análise de regressão linear, a fim de verificar a relação existente entre o aumento da casca de soja e a variação nos valores das propriedades avaliadas dos painéis.

Resultados e Discussões

Propriedades físicas

Para a densidade aparente não se observou diferença estatística entre os tratamentos estudados, sendo o valor médio encontrado de $0,584 \text{ g cm}^{-3}$ (Figura 2). O valor inferior da densidade média dos painéis em relação à densidade nominal de $0,60 \text{ g cm}^{-3}$, pode ser atribuída às condições do processo produtivo dos painéis, no qual pode haver perdas de materiais durante o manuseio das partículas nas etapas de aplicação de adesivo, formação do colchão e prensagem dos painéis. Resultados semelhantes foram relatados por diversos autores na literatura (Guimarães Júnior et al., 2011; Mendes et al., 2010b).

De acordo com as normas CS 236-66 (CS, 1968) e ANSI A208.1-99 (ANSI, 1999) todos os painéis produzidos foram classificados como de baixa densidade ($< 0,60 \text{ g cm}^{-3}$ e $< 0,64 \text{ g cm}^{-3}$ respectivamente).

Nota-se que houve acréscimo da razão de compactação com o aumento da inserção de resíduo de casquilho de soja no painel, com valores variando de 1,46 a 4,91 (Figura 3). Esse aumento também foi mencionado por outros autores que estudaram o uso de resíduos lignocelulósicos na produção de painéis aglomerados (Silva et al., 2015; Guimarães Junior et al., 2016; Scatolino et al., 2013; Scatolino et al., 2017; Silva et al., 2018), sendo inferido pelos mesmos que a baixa densidade dos resíduos utilizados é a principal responsável pela elevação da razão de compactação.

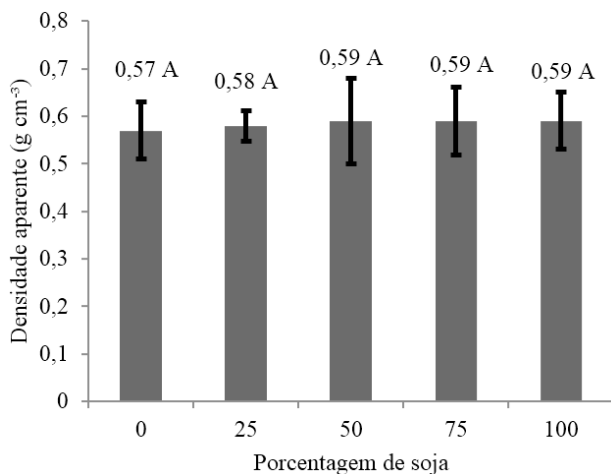


Figura 2. Valores obtidos para densidade aparente dos painéis, de acordo com a porcentagem de casca de soja.

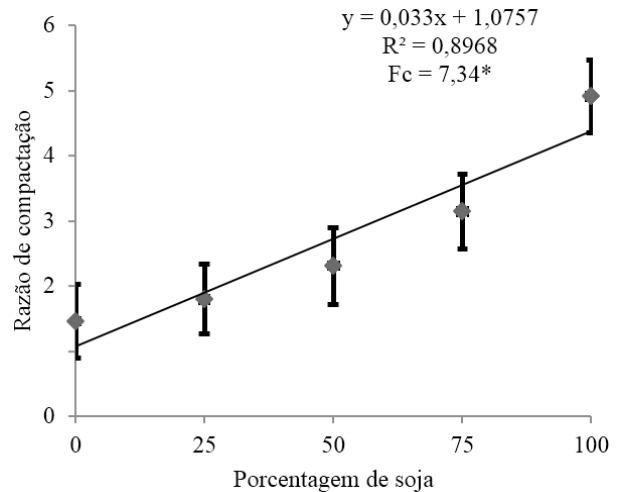


Figura 3. Valores obtidos para razão de compactação dos painéis, de acordo com a porcentagem de casca de soja.

Maloney (1993) relata que a faixa ideal de razão de compactação se encontra entre 1,3 e 1,6. Substituindo esses valores na regressão gerada na Figura 1, observa-se que os valores para atendimento de tal referência se encontram entre 6,8 e 15,9% de inserção de soja nos painéis aglomerados. Entretanto, vale ressaltar que a faixa de razão de compactação mencionada foi estudada para painéis aglomerados produzidos com madeira e não com resíduos lignocelulósicos. Como estes apresentam como principal característica baixos valores de densidade aparente, já é esperado aumento expressivo de razão de compactação e, talvez, uma nova faixa ideal deva ser estipulada para esse tipo de painel.

Os valores obtidos para a propriedade de absorção de água (AA) em 2 horas de imersão variaram entre 24,9 e 118,59%, já para 24 horas de imersão, os valores ficaram entre 49,62 e 140,10% (Figura 4). Em relação ao inchamento em espessura (IE), os valores encontrados variam de 10,00 a 75,95% e de 17,49 a 80,49%, para 2 e 24 de imersão, respectivamente (Figura 5). Segundo Machado et al. (2017a), as alterações ocorridas nas partículas de madeira e resíduos lignocelulósicos, quando expostos à umidade, tornam-se um fator limitante na utilização da matéria prima.

A tendência de crescimento ocorrida nessas propriedades pode estar relacionada ao aumento da razão de compactação dos painéis. Como aqueles produzidos com maiores quantidades de casquilho apresentaram maior razão de compactação, entende-se que houve um maior número de partículas compactadas em um mesmo volume e,

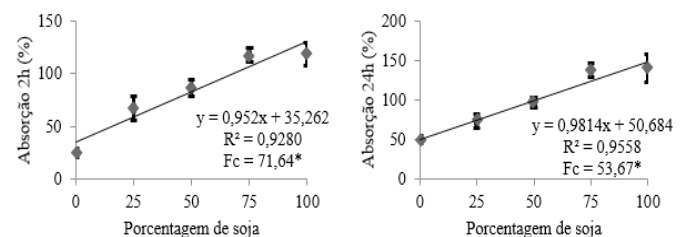


Figura 4. Variação da absorção de água em 2 e 24 horas de imersão, de acordo com a porcentagem de casca de soja.

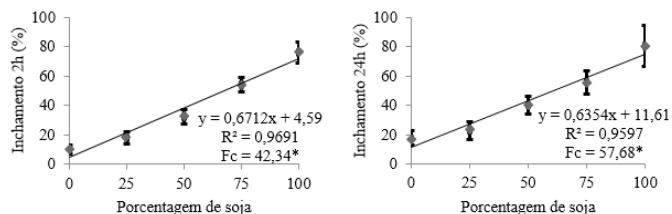


Figura 5. Variação do inchamento em espessura em 2 e 24 horas de imersão em água, de acordo com a porcentagem de casca de soja.

consequentemente, maiores exposições de sítios hidroxílicos podendo levar a uma maior afinidade deste material com a água (Guimarães Junior et al., 2016).

Os valores encontrados neste trabalho para a propriedade de absorção de água foram superiores aos relatados por Mendes et al. (2012), estudando o efeito da associação de bagaço de cana (25, 50 e 75%) na produção de painéis aglomerados de *Pinus* spp., que obteve valores oscilando entre 32,07 e 54,09% para AA2h e entre 49,82 e 64,17% para AA24h.

Guimarães et al. (2014), em trabalho realizado com a produção de painéis aglomerados a partir de partículas de pseudocaule de bananeira tratadas quimicamente, encontrou valores similares aos observados neste trabalho, com as propriedades de AA2h, AA24h, IE2h e IE24h variando de 39,8 a 148,8%; de 82,5 a 189,8%; de 9,7 a 55% e de 15,2 a 74% respectivamente. Diversos outros autores, estudando substituição da madeira por resíduos lignocelulósicos em painéis, também relatam essa tendência de acréscimo nas propriedades físicas e atribuem esse resultado principalmente ao aumento no número de partículas devido à baixa densidade dos resíduos e à baixa estabilidade dimensional (Barbirato et al., 2014; Machado et al., 2017a; Carvalho et al., 2015)

Os documentos normativos para painéis aglomerados não especificam requisitos para as propriedades de AA2h e AA24h. Já para IE24h, a norma de comercialização CS 236-66 (CS, 1968) e ANSI A208.1-99 (ANSI, 1999) exigem valores de, no máximo, 35% para painéis de baixa densidade. Nesse sentido, substituindo esse valor normativo na equação gerada pela regressão, observa-se que seria possível utilizar no máximo de 36,81% de casquilho de soja para que os valores dessa propriedade atendam às exigências da norma.

Propriedades mecânicas

Para a tração perpendicular foram encontrados valores médios entre 0,04 e 0,86 MPa, com valores decrescendo de acordo com o aumento da porcentagem de casquilho de soja no painel (Figura 6). Scatolino et al. (2013), incorporando sabugo de milho na produção de painéis aglomerados de *Pinus oocarpa*, encontrou valores para essa propriedade variando entre 0,25 e 1,08 MPa, os quais foram similares os observados neste trabalho para os painéis produzidos com 0, 25 e 50 % de casca de soja.

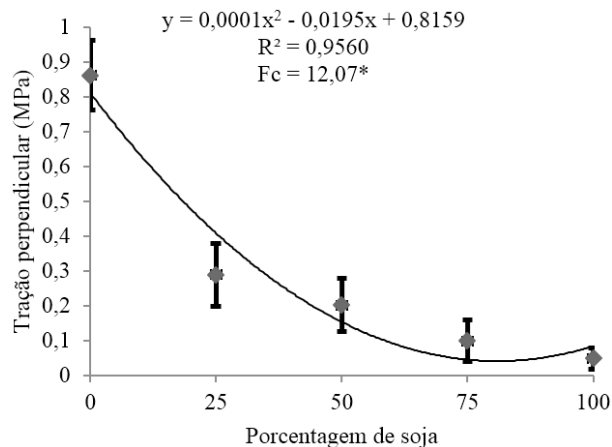


Figura 6. Valores de tração perpendicular - TP em função da porcentagem de casca de soja utilizada.

A norma CS 236-66 (CS, 1968) estabelece valor mínimo de 0,14 MPa para tração perpendicular nos painéis de baixa densidade e produzidos com adesivo ureia-formaldeído para que possam ser comercializados. Dessa forma, observa-se que os painéis produzidos com até 52,4% de casquilho de soja atenderam à referida norma. Já a ANSI A208.1-99 (ANSI, 1999) preconiza mínimo de 0,10 MPa para essa propriedade fazendo com que até 49,05% de substituição possa ser feita.

Para as propriedades mecânicas do ensaio de flexão estática (MOR E MOE) notou-se o efeito significativo da substituição da madeira por casquilho de soja nos painéis (Figura 7). Exemplificando esse fato, tem-se que o acréscimo de 1% de resíduo no painel, promoveu uma redução de, aproximadamente, 0,1071 MPa para o MOR e 15,57 MPa para o MOE.

Cravo et al. (2015) estudando painéis de casca de amendoim verificou que o valor de MOR decresceu quando foi inserido o resíduo. O autor fala que essa propriedade não depende somente da ligação entre as fibras, mas também da força individual da fibra, sua geometria e espessura. Ainda, dizem que as características químicas do resíduo, como teor de celulose e lignina, podem influenciar nas propriedades mecânicas. Neste sentido, pode-se dizer que as características do casquilho de soja precisa ser melhor estudado para melhor entender o motivo da diminuição da resistência.

De acordo com a norma de comercialização CS 236-66 (CS, 1968), os painéis aglomerados de baixa densidade e produzidos

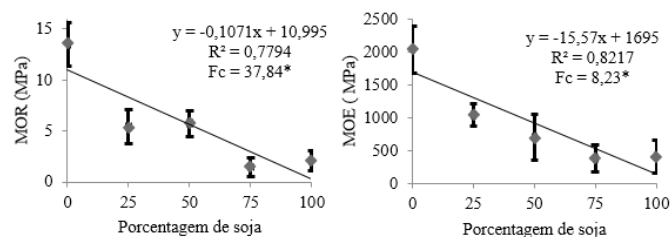


Figura 7. Valores de módulo de ruptura - MOR e módulo de elasticidade - MOE em função da porcentagem de casca de soja utilizada.

com o adesivo ureia-formaldeído devem apresentar valor mínimo para o MOE de 1029,7 MPa e MOR de 5,5 MPa. Substituindo esses valores de exigência na equação gerada pela regressão, observa-se que o valor máximo de casquilho de soja a ser adicionado ao painel para atendimento da norma é de 42,73% para MOE e de 51,3% para MOR. Já para a norma ANSI A208.1-99 (ANSI, 1999) os valores mínimos para MOR e MOE são de 3 MPa e 550 MPa respectivamente. Fazendo-se a mesma substituição tem-se que a inserção máxima de casquilho que atende a normatização é de 74,65% para MOR e 71,61% para MOE.

Machado et al. (2017b) e Fiorelli et al. (2011) em seus estudos com painéis de resíduos de babaçu e cana, respectivamente, observaram que havia decréscimo dos valores de MOR e MOE nos painéis até ficarem abaixo do preconizado pela norma técnica americana (100% resíduo). Segundo Fiorelli et al. (2011), o aumento na quantidade de matriz garante maior estabilidade dimensional e melhora a adesão entre as partículas, otimizando o desempenho dos painéis.

Esse comportamento de MOE e do MOR em função da adição de resíduos lignocelulósicos nos painéis aglomerados tem sido relatado por diversos outros autores na literatura (Cravo et al., 2015; Scatolino et al., 2013; Guimarães Junior et al., 2016; Scatolino et al., 2017; César et al., 2017; Silva et al., 2018;). Segundo Guimarães Junior et al. (2016) e Scatolino et al. (2017) uma possível explicação para a diminuição das propriedades mecânicas dos painéis aglomerados convencionais consiste na baixa densidade do resíduo e, conseqüentemente, aumento da razão de compactação, resultando na menor disponibilidade de adesivo por partícula.

Conclusões

Os painéis aglomerados convencionais produzidos com resíduo de casquilho de soja apresentaram aumento da absorção de água e da instabilidade dimensional e diminuição da resistência mecânica à medida que se foi acrescentado o resíduo.

A quantidade máxima de casquilho que pode ser adicionada, sem prejuízo às propriedades físicas e mecânicas dos painéis, é de 36,81%.

Agradecimentos

À Fundação de Amparo à Pesquisa de Minas Gerais - FAPEMIG e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico - CNPq que colaboraram para realização desse trabalho.

Literatura Citada

- American National Standards Institute - ANSI. Particleboard standard - ANSI. A208.1-1999. Washington: ANSI, 1999.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT. NBR 14810-1,2,3. Chapas de madeira aglomerada: métodos de ensaio. Rio de Janeiro: ABNT, 2002. 32p.
- Barbirato, G.; Fiorelli, J.; Barrero, N. G.; Pallone, E. M. de J. A.; Lahr, F. A. R.; Cristoforo, A. L.; Savastano Júnior, H. Painel aglomerado híbrido de casca de amendoim reforçado com partículas de madeira itaúba. *Ciência Florestal*, v. 24, n. 3, p. 685-697, 2014. <https://doi.org/10.5902/1980509815726>.
- Caillot, V. A. Avaliação do potencial de produção de biogás dos resíduos da suinocultura codigeridos com resíduos agricultura brasileira. Ponta Grossa: Universidade Tecnológica Federal do Paraná, 2017. 84p. Dissertação Mestrado. <http://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/handle/1/2386>. 19 Jan. 2018.
- Carvalho, A. G.; Andrade, B. G. de.; Cabral, C. P. T.; Vital, B. R. Efeito da adição de resíduos de poda da erva-mate em painéis aglomerados. *Revista Árvore*, v.39, n.1, p.209-214, 2015. <https://doi.org/10.1590/0100-67622015000100020>.
- César, A. A. S.; Bufalino, L.; Mendes, L. M.; Mesquita, R. G. A.; Protásio, T. P.; Mendes, R. F.; Andrade, L. M. F. Transforming rice husk into a high-added value product: potential for particleboard production. *Ciência Florestal*, v. 27, n. 1, p. 303-313, 2017. <https://doi.org/10.5902/1980509826468>.
- Commercial Standard - CS. Mat formed wood particle board: CS-236-66. Wallingford: CS, 1968.
- Companhia Nacional de Abastecimento - CONAB. Acompanhamento da safra brasileira: Grãos - Safra 2016/17 - Sétimo Levantamento, v. 4, n.7, Brasília, Abril 2017. http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/17_04_17_17_20_55_boletim_graos_abr_2017.pdf. 07 Jan. 2018.
- Cravo, J. C. M.; Sartori, D. de L.; Fiorelli, J.; Balieiro, J. C. de C.; Savastano Júnior, H. Painel aglomerado de resíduos agroindustriais. *Ciência Florestal*, v. 25, n. 3, p. 721-730, jul.-set., 2015. <https://doi.org/10.5902/1980509819675>.
- Fiorelli, J.; Lahr, F. A. R.; Nascimento, M. F.; Savastano, H.; Rossignolo, J. A. Painéis de partículas a base de babaçu de cana e resina de mamona – produção e propriedades. *Acta Scientiarum. Technology*, v. 33, n.4, p. 401-406, 2011. <https://doi.org/10.4025/actascitechnol.v33i4.9615>.
- Guimarães Júnior, J. B.; Mendes, L. M.; Mendes, R. F.; Mori, F. A. Painéis de madeira aglomerada de resíduos da laminação de diferentes procedências *Eucalyptus grandis*, *Eucalyptus saligna* e *Eucalyptus cloeziana*. *Cerne*, v.17, n.4, p.443-452, 2011. <https://doi.org/10.1590/S0104-77602011000400002>.
- Guimarães Junior, J. B.; Xavier, M. M.; Santos, T. S.; Protásio, T. P.; Mendes, R. F.; Mendes, L. M. Inclusão de resíduo da cultura de sorgo em painéis aglomerados de eucalipto. *Pesquisa Florestal Brasileira*, v. 36, n. 88, p. 435- 442, 2016. <https://doi.org/10.4336/2016.pfb.36.88.1036>.
- Guimarães, B. M. R.; Mendes, L. M.; Tonoli, G. H. D.; Bufalino, L.; Mendes, R. F.; Guimarães Junior, J. B. Chemical treatment of banana tree pseudostem particles aiming the production of particleboards. *Ciência e Agrotecnologia*, v. 38, n.1, p.43-49, 2014. <https://doi.org/10.1590/S1413-70542014000100005>.
- Machado, N. A. F.; Andrade, H. A. F. de.; Furtado, M. B.; Parra-Serrano, L. J.; Parente, M. de O. M.; Silva-Matos, R. R. S. da S. Propriedades físico-mecânicas de painéis multicamadas produzidos com partículas de coco babaçu e de *Pinus* sp. *Revista Agro@ambiente On-line*, v. 11, n. 3, p. 191-199, 2017b. <https://doi.org/10.18227/1982-8470ragro.v11i3.4153>.

- Machado, N. A. F.; Furtado, M. B.; Parra-Serrano, L. J.; Parente, M. de O. M.; Fiorelli, J.; Savastano Júnior, H. Painéis aglomerados fabricados com resíduos do coco babaçu. *Revista Brasileira de Ciências Agrárias*, v.12, n.2, p.202-209, 2017a. <https://doi.org/10.5039/agraria.v12i2a5434>.
- Maloney, T.M. *Modern particleboard and dryprocess fiberboard manufacturing*. 2.ed. São Francisco: M. Freeman, 1993. 689p.
- Martins, M. F.; Matos, T. N.; Santos, A. A. R. Dos.; Ascheri, P. R. Extração e caracterização da celulose e síntese de carboximetilcelulose a partir da casca de soja. In: Congresso de Ensino, Pesquisa e Extensão da UEG, 2., 2015, Pirenópolis. Anais... Pirenópolis: UEG, 2015. <http://www.anais.ueg.br/index.php/cepe/article/viewFile/5143/2995>. 10 Jan. 2018.
- Mendes, R. F.; Mendes, L. M.; Abranches, R. A. S.; Santos, R. C. Dos; Guimarães Junior, J. B. Painéis aglomerados produzidos com bagaço de cana em associação com madeira de eucalipto. *Scientia Forestalis*, v.38, n.86, p.285-295, 2010a. <http://www.ipef.br/publicacoes/scientia/nr86/cap16.pdf>. 22 Jan. 2018.
- Mendes, R. F.; Mendes, L. M.; Guimarães Júnior, J. B.; Mori, F. A.; César, A. M. Da s. Efeito da incorporação de casca de café nas propriedades físico-mecânicas de painéis aglomerados de *Eucalyptus urophylla* S.T. Blake. *Ciência e Agrotecnologia*, v.34, n.3, p.610-617, 2010b. <https://doi.org/10.1590/S1413-70542010000300012>.
- Mendes, R. F.; Mendes, L. M.; Guimarães Júnior, J. B.; Santos, R. C. Dos; César, A. A. Da Silva. Efeito da associação de bagaço de cana, do tipo e do teor de adesivo na produção de painéis aglomerados. *Ciência Florestal*, v. 22, n.1, p.161-170, 2012. <https://doi.org/10.5902/198050985088>.
- Pierre, F. C.; Ballarin, A. W.; Lara Palma, H. Caracterização física de painéis aglomerados de *Eucalyptus grandis* com adição de resíduos industriais madeireiros. *Cerne*, v. 20, n. 2, p. 321–328, 2014. <https://doi.org/10.1590/01047760.201420021289>.
- Scatolino, M. V.; Costa, A. O.; Guimarães Junior, J. B.; Protásio, T. P.; Mendes, R. F.; Mendes, L. M. Eucalyptus wood and coffee parchment for particleboard production: physical and mechanical properties. *Ciência e Agrotecnologia*, v. 41, n. 2, p. 139-146, 2017. <https://doi.org/10.1590/1413-70542017412038616>.
- Scatolino, M. V.; Silva, D. W.; Mendes, R. F.; Mendes, L. M. Use of maize cob for production of particleboard. *Ciência e Agrotecnologia*, v.37, n.4, p.330 - 337, 2013. <https://doi.org/10.1590/S1413-70542013000400006>.
- Silva, D. W.; Farrapo, C. L.; Pereira, D.; Mendes, R. F.; Mendes, L. M. MDP com partículas de eucalipto e palha de milho. *Scientia Forestalis*, v. 43, n. 108, p. 853-862, 2015. <https://doi.org/10.18671/scifor.v43n108.10>.
- Silva, D. W.; Scatolino, M. V.; Prado, N. R. T.; Mendes, R. F.; Mendes, L. M. Addition of different proportions of castor husk and pine wood in particleboards. *Waste Biomass Valorization*, v. 9, n.1, p. 139-145, 2018. <https://doi.org/10.1007/s12649-016-9742-7>.