

Tecnologia Ligno: inovação em materiais e processos para as MPEs moveleiras por meio do design

Ligno technology: innovation in materials and processes for furniture SMEs through design

Glaucinei Rodrigues Corrêa
Juliana Cardoso Braga
Maria Luiza Almeida Cunha de Castro

Resumo: Diagnósticos realizados em Micro e Pequenas Empresas moveleiras do Brasil demonstram os impactos negativos causados pelo grande volume de resíduos de madeira e MDF e apontam para a necessidade de inserção de novas tecnologias e inovações adequadas para minimizar os problemas sociais, econômicos e ambientais decorrentes do descarte irregular. Este artigo apresenta o caso de estudo da Tecnologia Ligno como alternativa de inovação para transformar os resíduos moveleiros em novos recursos e demonstrar o seu potencial para gerar valor para as empresas. A metodologia envolveu pesquisa bibliográfica e documental, ensaios de laboratório, definição do processo de manufatura, geração de alternativas de design, desenvolvimento e fabricação de produtos; e estudos para implantação da tecnologia. Os resultados alcançados demonstraram que a Tecnologia Ligno, quando empregada juntamente com o design, pode ser um importante recurso para gerar valor para os resíduos de madeira, minimizar o descarte irregular, fomentar a economia circular e aumentar a renda das empresas de modo ambientalmente correto, socialmente desejável, culturalmente adequado e economicamente viável.

Palavras-chave: tecnologia Ligno; resíduos de madeira; inovação social; tecnologia social; design sustentável.

Abstract: *Diagnostics carried out in Micro and Small Furniture Companies in Brazil demonstrate the negative impacts caused by the large volume of wood and MDF waste and point to the need to insert new technologies and appropriate innovations to minimize the social, economic and environmental problems resulting from irregular disposal . This article presents the case study of Ligno Technology as an innovation alternative to transform furniture waste into new resources and demonstrate its potential to generate value for companies. The methodology involved bibliographic and documental research, laboratory tests, definition of the manufacturing process, generation of design alternatives, product development and manufacturing; and studies for the implementation of the technology. The results achieved showed that Ligno Technology, when used together with design, can be an important resource to generate value for wood waste, minimize irregular disposal, foster the circular economy and increase companies' income in an environmentally correct way, socially desirable, culturally appropriate and economically viable.*

Keywords: *Ligno technology; wood waste; social innovation; social technology; sustainable design.*

1 Introdução

De acordo com Dagnino, Brandão e Novaes (2004), o que define a adoção e a difusão de uma tecnologia não é simplesmente a sua adequação tecnológica - esta é uma condição desejável, porém insuficiente. Assim, o aumento da disponibilidade de alternativas tecnológicas à disposição não altera a natureza do processo que antecede a adoção da tecnologia. Este processo está condicionado pelo ambiente em que a tecnologia está inserida, que determina as suas interações e adaptações, e funciona como um sistema seletivo: de acordo com sua configuração, determinadas características das classes tecnológicas são favorecidas e reproduzidas, em detrimento de outras (ALLEN, 1998). Portanto, alcançar um melhor desempenho técnico não é necessariamente a prioridade do ambiente e a mera disponibilização do conhecimento gerado por pesquisa não significa que ele será aproveitado. É necessário que este conhecimento seja aplicado de modo adequado às características do contexto de inserção, articulado com as condições por ele favorecidas.

Atualmente, os resíduos compostos por pedaços de *Medium Density Fiberboard* (MDF), são passíveis de reaproveitamento dentro do próprio processo produtivo das Micro e Pequenas Empresas (MPEs), utilizando as peças como parte visível ou oculta dos móveis desenvolvidos por encomenda (BRAGA, 2017).

Esta perspectiva permite ter uma visão contextualizada do processo da inovação, de sua adoção e difusão, superando, tal como coloca Dosi (2006), os modelos baseados nas ideias de uma inovação induzida pela demanda ou impulsionada pela técnica. Vai, também, além de uma lógica de mercado baseada na oferta e na demanda: não se trata, portanto, de oferecer um produto que está sendo demandado no mercado, mas de inserir este produto dentro de um contexto de inovação social, com objetivos relacionados não somente a critérios tecnológicos ou mercadológicos, mas também da sustentabilidade, envolvendo aspectos econômicos, sociais, políticos e ambientais.

Esta visão está em sintonia com as teorias construtivistas, que situam a adoção e difusão da tecnologia como decorrentes de um processo de inovação social. O conceito de inovação social parte de novos produtos, serviços e modelos que atendam a sociedade e que criem relações e colaborações sociais melhorando sua capacidade de agir (MURRAY; CAULIER-GRICE; MULGAN, 2010). Só a partir de tal processo a tecnologia é capaz de emergir como “um conhecimento criado para atender aos problemas que enfrenta a organização ou grupo de atores envolvidos.” (DAGNINO; BRANDÃO; NOVAES, 2004, p. 33).

Assim, os teóricos construtivistas clamam por uma priorização dos fins, abandonando a primazia dos meios tecnológicos enquanto mera instrumentalização. As “tecnologias pertencem ao mundo humano em uma modalidade outra que aquela da instrumentalidade, eficiência ou materialidade.” (LATOURET, 2002, p. 248), tradução nossa). Elas adquirem sentido dentro de um contexto social específico, no qual interagem com os meios culturais e naturais. O ambiente resultante não é a soma de cada interação considerada isoladamente – ele tem características emergentes que entrelaçam cultura, tecnologia, e outros fatores simultaneamente, a partir de interferências, influências, intercâmbios, que levam a transformações, acomodações e ajustes em permanência (VANDERBURGH, 1985).

A ampliação do escopo de compreensão que esta perspectiva traz permite que ela se coloque como ponto de partida para a análise e compreensão dos produtos gerados por pesquisas tecnológicas, voltadas para a solução de problemas de cunho social e ambiental. Trata-se de uma abordagem que, embora não vá definir novos paradigmas e trajetórias tecnológicas, pode colocar em evidência alternativas para questões sociais latentes, e permitir que tecnologias que ainda não encontraram um contexto ideal de aplicação possam ser difundidas. Essas considerações também são coerentes com o conceito de Tecnologia Social (TS) que, conforme o Instituto de Tecnologia Social (2004, p. 130), é um “conjunto de técnicas, metodologias transformadoras, desenvolvidas e/ou aplicadas na interação com a população e apropriadas por ela, que representam soluções para inclusão social e melhoria das condições de vida.

A análise documental realizada pelos autores deste artigo em busca de soluções existentes para o reaproveitamento de resíduos de madeira e derivados identificou algumas tecnologias que foram desenvolvidas com o objetivo de criar novos compósitos de madeira. Entretanto, essas tecnologias de transformação demonstraram ser inadequadas para atender ao contexto das MPEs moveleiras em razão da utilização de materiais tóxicos e da necessidade de alto investimento. Citamos como exemplo, a patente US7803855B2 (HEXION, 2010) que utiliza como aglutinante o fenol formaldeído, material tóxico e carcinogênico que exigiria alto investimento em tecnologias para mitigação dos riscos de manejo e inalação do material durante o processo produtivo. Além desta, as patentes MX2011008552 (CIATEC, 2013) e PI0802175-9 A2 (FAPESP, 2009), que também propõe o desenvolvimento de compósitos de madeira necessitam de alto investimento em tecnologias de extrusão e injeção respectivamente, o que também não corresponde às condições financeiras de investimento das MPEs moveleiras e se mostram mais adequadas a contextos de alta escala produtiva.

Diante do exposto, verifica-se que as MPEs moveleiras, necessitam de soluções tecnológicas e alternativas de inovação social adequadas para o reutilizar o pó e as aparas de madeira e MDF e atender aos contextos econômicos, sociais, culturais e ambientais das empresas. Nesse sentido, apresenta-se o resultado de pesquisa de desenvolvimento da Tecnologia Ligno, concebida de modo participativo, para transformar os resíduos moveleiros em recursos de valor por meio do design, visando a sustentabilidade do setor.

2 Metodologia

O desenvolvimento da Tecnologia Ligno, iniciado em 2015 e coordenado por Corrêa, concebeu um novo material compósito e os procedimentos tecnológicos para a transformação dos resíduos de madeira e derivados em novos produtos. A tecnologia propõe a reintrodução dos resíduos dentro do próprio processo produtivo das marcenarias. O compósito e os procedimentos tecnológicos empregados foram validados por meio do design de produtos sustentáveis em uma perspectiva de ciclo fechado. A preocupação com os aspectos ambientais, sociais, econômicos e com a adequação tecnológica ao contexto das MPEs moveleiras foram os principais aspectos que nortearam a Tecnologia Ligno desde suas diretrizes iniciais.

O desenvolvimento da Tecnologia Ligno envolveu diversos procedimentos metodológicos que foram divididos em quatro grandes fases, após o levantamento bibliográfico, a saber: a) diagnóstico sobre a situação dos resíduos; b) desenvolvimento do material compósito; c) desenvolvimento e fabricação de produtos para aplicação do novo material; d) aprimoramento da tecnologia e estudos para implantação em escala industrial. A partir dessas premissas, e considerando “[...] a necessidade de iniciar um processo nas condições dadas pelo ambiente específico onde ele terá de ocorrer [...]” (DAGNINO; BRANDÃO; NOVAES, 2004, p. 36), é que foi desenvolvido o novo material compósito, não citotóxico, utilizando um processo de baixa complexidade, passível de ser operacionalizado no âmbito das próprias empresas e capaz de gerar produtos em baixa ou média escala de produção. O desenvolvimento de produtos foi resultado de um processo de design, que partiu da investigação do contexto, de suas características e condições, procurando soluções de projeto adequadas às dinâmicas identificadas nos diagnósticos.

3 Desenvolvimento da tecnologia Ligno

Diagnóstico sobre a situação dos resíduos

Estudos realizados pelos autores em Micro e Pequenas Empresas (MPes) moveleiras do Brasil, resultaram em diagnósticos sobre o setor moveleiro em Belo Horizonte, Ubá-MG, Uberlândia-MG e Macapá-AP (CORRÊA *et al.*, 2016; CASTRO; CARDOSO, 2010; BRAGA *et al.*, 2017; CASTRO, 2013). Os dados coletados, por meio de revisão bibliográfica, análise documental, inquéritos, observação direta, coleta e análise dos dados, permitiu compreender os principais problemas e desafios enfrentados pelas empresas de móveis bem como identificou oportunidades para melhoria e inserção de novas tecnologias e inovações adequadas para a realidade das MPes.

As análises dos polos moveleiros de Belo Horizonte e Uberlândia, em MG, demonstraram que a maior parte das indústrias moveleiras no Brasil (97%) são Micro e Pequenas Empresas de origem familiar, que empregam mão-de-obra semiartesanal e que produzem, principalmente, móveis residenciais sob medida e por encomenda, projetados por designers e arquitetos contratados pelas marcenarias ou pelos próprios consumidores (BRAGA, 2017; CORRÊA, 2016). A madeira maciça e os painéis de madeira reconstituída de *Medium Density Fiberboard* (MDF) são as principais matérias-primas utilizadas pelas marcenarias.

Os processos de produção dessas empresas geram grandes volumes de resíduos de madeira e derivados – em média as empresas geraram mensalmente 3,56t e 0,6t de resíduos respectivamente (CORRÊA, 2016; BRAGA, 2017). Para evitar os custos da destinação adequada em aterros industriais, muitas MPes realizam o descarte de modo irregular em terrenos baldios ou aproveitam a alta inflamabilidade do material para destinar como combustível para uso em fornos de padaria ou pizza, dentre outros (CORRÊA, 2016; BRAGA, 2017). A dimensão do problema gerado pelos resíduos é mais compreendida quando verificamos que, no Brasil, existem 18.220 empresas especializadas na fabricação de móveis com predomínio de madeira e derivados (BRAINER, 2019).

Apesar da Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) ter instituído a responsabilidade compartilhada pelo ciclo de vida dos produtos, a legislação ainda não sujeita os fabricantes de painéis a estruturar e implementar sistemas de logística reversa em um contexto mais amplo da cadeia produtiva (BRASIL, 2012). O grande volume de resíduos e a destinação irregular impactam negativamente o meio ambiente, a sociedade e a economia quando consideramos que:

os habitantes, principalmente, das áreas periféricas das cidades, têm convivido com o despejo irregular de resíduos; recursos públicos são empregados para a limpeza frequente de pontos irregulares de descarte; e que os painéis de madeira reconstituída possuem em sua composição, a resina ureia-formaldeído – material tóxico e cancerígeno segundo a *International Agency for Research on Cancer* (IARC)¹.

Atualmente, os resíduos compostos por pedaços de MDF, são passíveis de reaproveitamento dentro do próprio processo produtivo das MPEs, utilizando as peças como parte visível ou oculta dos móveis desenvolvidos por encomenda ou ainda empregando os pedaços no design de novos produtos fabricados em pequena escala (ABREU *et al.*, 2009; PEREIRA, *et al.*, 2010). No entanto, os resíduos de pó e pequenas aparas, principalmente de MDF, são totalmente descartados pelas marcenarias, pois não existem tecnologias adequadas para a transformação e o reaproveitamento desses rejeitos fabris que sejam compatíveis com a realidade industrial da maior parte das MPEs de móveis do Brasil. Observa-se que as empresas estão introduzindo, gradativamente, alta tecnologia em seus processos produtivos como *Computer Numeric Control* (CNC), que usina peças controlada por computador, mas a maior parte ainda dispõe de uma mescla de equipamentos semiautomáticos como seccionadoras e coladeiras de borda e equipamentos ultrapassados ou fora de conformidade com as normas de segurança do trabalho NR12 (BRAGA, 2017; FIEMG, 2002). Também foi possível verificar que o uso de alta tecnologia nem sempre é adequada para a realidade das MPEs moveleiras. Nesse sentido, verificou-se ociosidade de equipamentos de alta tecnologia nas MPEs, devido a fatores como: necessidade de mão de obra especializada, alto custo de manutenção, personalização dos móveis e, conseqüentemente, pequena escala de produção.

A falta de tecnologias para a transformação e o reaproveitamento de pó e aparas de madeira e MDF, que sejam adequadas para o contexto das MPEs e, conseqüentemente, a inexistência de valor para esses materiais tornou os empresários convictos sobre a inutilidade desses resíduos fabris. Essa percepção criou uma cultura de desperdício e uma série de problemas persistentes e difíceis de resolver denominados por Rittel e Webber (1973) como “problemas capciosos”. Por outro lado, verifica-se que esses problemas podem ser convertidos em oportunidades com o desenvolvimento de tecnologias e inovações orientadas pela sustentabilidade que promovam a reinserção desses materiais na cadeia produtiva e passem a gerar valor para os resíduos de pó a aparas minimizando os impactos ambientais, sociais e econômicos das MPEs moveleiras. Dessa forma, considera-se que uma tecnologia não deve ser desenvolvida apenas para atender a uma demanda ou oportunidade de mercado das MPEs, mas também deve conter objetivos relacionados à aspectos econômicos, sociais, culturais e ambientais para que de fato essa tecnologia seja adotada.

¹ A Agência Internacional de Pesquisa em Câncer é uma agência intergovernamental que faz parte da Organização Mundial de Saúde das Nações Unidas: <https://www.iarc.who.int/>

Desenvolvimento do material compósito

A fase de desenvolvimento do material compósito, compreendeu a seleção dos resíduos, testes com diferentes tipos de adesivos e a fabricação de placas para a realização dos ensaios de microdureza, flexão e citotoxicidade para caracterização do material compósito. Valendo-se do diagnóstico realizado, os experimentos utilizaram dois tipos de resíduos gerados pelas indústrias moveleiras pesquisadas (MDF e madeira maciça de Peroba e Jequitibá). Dois tipos de adesivo Poliuretano vegetal e poliacetato de vinila (PVA) foram testados para aglutinar os resíduos. A resina a base de Poliuretano vegetal, originada do óleo de mamona, é bi-componente, isenta de solventes e não libera vapores tóxicos. O adesivo de PVA é aquoso e atóxico (CORRÊA e POLICARPO, 2019; CORRÊA, *et al.* 2020).

Após os experimentos utilizando diferentes proporções de resíduo e adesivo (12 tratamentos), constatou-se que tanto os resíduos de madeira quanto os de MDF apresentam viabilidade para reaproveitamento. Quanto aos adesivos, o PVA evidenciou ser mais adequado, devido a facilidade para misturar e aglutinar os resíduos; por ser quatro vezes mais econômico do que o poliuretano vegetal; e por apresentar melhores resultados nos testes de resistência à flexão estática, com média de 4,16 Mpa para as placas com PVA e 3,09 Mpa para as placas com poliuretano vegetal. Os melhores resultados do compósito foram obtidos empregando-se 60% de resíduo e 40% de adesivo em relação ao peso total da mistura - resíduo e adesivo. (CORRÊA, *et al.* 2020).

Desenvolvimento e fabricação de produtos para a aplicação do novo material

O desenvolvimento de produtos objetivou experimentar as possíveis aplicações do compósito Ligno e demonstrar o seu potencial para gerar valor por meio do design, transformando os resíduos em recursos. Para tanto, os estudos procuraram atender aos objetivos iniciais de: inovação social, adequação tecnológica, viabilidade econômica e melhoria ambiental. Os requisitos de design sustentáveis são particularmente apropriados para inovar em um contexto social, econômico e ambiental. Por isso, o processo de ideação de produtos, como alternativa para aplicação do compósito Ligno, contemplou um conjunto de estratégias de design sustentáveis apresentadas por autores como Behrendt *et al.* (1997); Bhamra (2007); Brezet e Hemel (1998); Fiksel (2009); Manzini e Vezzoli (2008).

A possibilidade de criar painéis como subproduto foi analisada, entretanto, essa alternativa não se mostrou viável, devido a demanda por alta tecnologia e capacidade produtiva e por considerar que os resíduos (pó e aparas) provenientes dos processos de usinagem dos novos painéis continuariam a ser gerados. A partir dessa constatação, determinou-se que os produtos desenvolvidos a partir da Tecnologia Ligno deveriam atender a um conjunto de requisitos de design sustentáveis com o objetivo de reaproveitar os resíduos remanescentes da produção moveleira e evitar a geração de novos resíduos com a aplicação da Tecnologia Ligno no contexto de produção das MPEs.

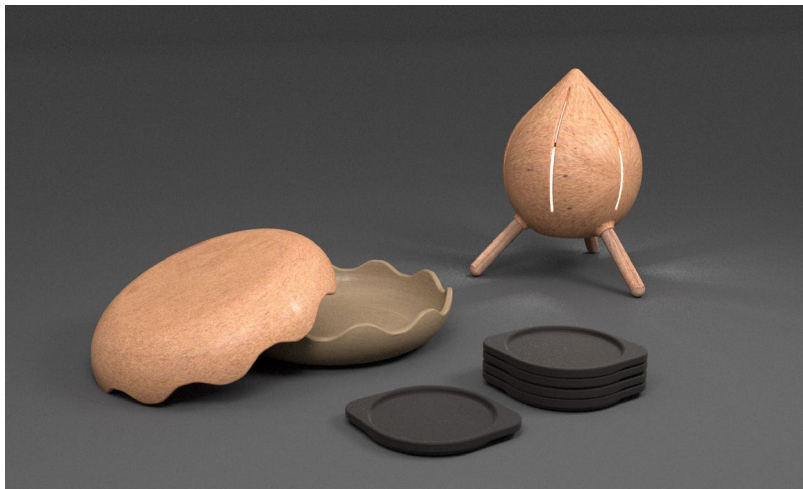
Para atender às questões apontadas, a Tecnologia Ligno propõe o uso do processo de manufatura do compósito por termoformagem, por ser uma transformação de baixo impacto e que necessita de investimento relativamente baixo. Esse processo de transformação do compósito permite que a morfologia dos produtos resultantes seja exatamente a mesma da contraforma do molde utilizado.

O uso de processo de fabricação dos produtos em molde fechado é uma característica importante da sustentabilidade, pois dispensa a necessidade de novos processos produtivos como a usinagem, não desperdiça o compósito durante a fabricação e não gera novos resíduos. Além disso, o processo pode gerar produtos de alto valor agregado e com formas complexas.

A possibilidade de criar produtos com formas complexas é uma estratégia relevante e pertinente que difere, consideravelmente, as aplicações do compósito Ligno dos painéis de madeira reconstituída utilizados na fabricação de móveis. Portanto, no que diz respeito às aplicações, o compósito Ligno apresenta vantagens por se diferenciar da tipologia de trabalhos mais comuns da indústria moveleira (móveis produzidos a partir de painéis) e por seu potencial de gerar diferentes tipos de produtos como acessórios, organizadores, iluminação, objetos decorativos, dentre outros.

Do ponto de vista socioeconômico, compreende-se que o design de produtos concebido para atender ao contexto de cada região ou marcenaria pode ser uma importante estratégia de competitividade e de diferenciação para as MPEs com perspectiva de gerar novos empregos. Do ponto de vista ambiental, observa-se que a fabricação dos produtos realizada pelas próprias marcenarias, emprega um recurso local reaproveitado (resíduos), que provêm do próprio processo produtivo e minimiza o uso de matérias-primas virgens. Além disso, a fabricação local dispensa sistemas de coleta e recolha do produto e minimiza os impactos que seriam gerados pelo transporte de grandes volumes de resíduos das marcenarias para novas plantas industriais.

Diante do exposto, na fase de geração de alternativas de produtos foram desenvolvidos diversos estudos que possibilitassem a maior experimentação possível do novo material. A Figura 1 apresenta alguns dos estudos selecionados: luminária de mesa, tigela *bowl*, e porta-copos.



*Figura 1: Imagem dos produtos selecionados - tigelas bowl, apoios para copo e luminária de mesa.
Fonte: Acervo dos autores*

Os produtos *bowl* e porta-copos são empilháveis e foram produzidos com o uso exclusivo do material compósito (monomaterial) e a luminária agrega apenas os acessórios elétricos necessários para a iluminação. Os produtos empilháveis (*bowl* e porta-copos) otimizam o espaço de estocagem e facilitam o transporte. A tigela *bowl* apresenta versatilidade de uso pois quando colocada em conjunto com outra peça sobreposta compõe um tipo de caixa ou tampa. Por outro lado, a luminária demonstra a alta capacidade de conformação do compósito.



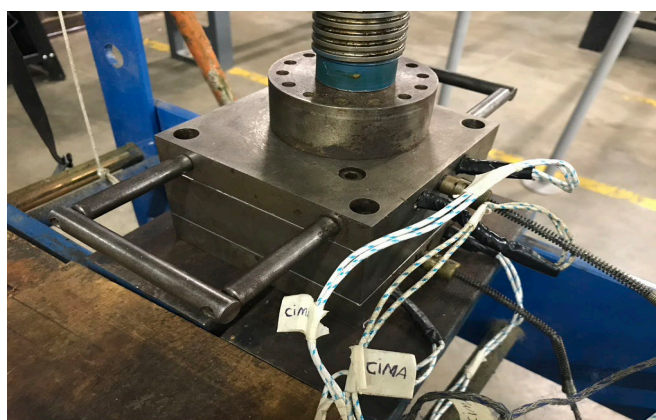
*Figura 2: Portacopo fabricado com resíduos de outros portacopos.
Fonte: Acervo dos autores*

A otimização do fim de vida também foi experimentada com a reciclagem dos produtos Ligno para a fabricação dos mesmos produtos (Figura 2). Observou-se que o compósito se mostrou um material com tecnologia de reciclagem eficiente, mantendo a qualidade e a resistência dos produtos, concedendo ao compósito uma perspectiva importante de ciclo fechado (ou economia circular).

A inovação, dentro de uma perspectiva social, pode surgir a partir de diversos contextos e estímulos e se situar nos mais variados âmbitos, inclusive no nível da comunicação. Destaca-se, assim, o potencial de inovação narrativa dos produtos feitos a partir do compósito Ligno. Na condição de mercadoria, o produto oscila entre seu valor de uso e seu valor de troca, pautado na produção ou no consumo. O produto fala por meio de sua forma, função, material, das maneiras como é apropriado, bem como por meio dos diferentes valores que a ele se associam (CASTRO, XIMENES, 2011).

Aprimoramento da tecnologia

Por último, fez-se o aprimoramento da tecnologia a partir de novos experimentos relacionados à quantidade de resíduo de MDF e adesivo, a possibilidade de pigmentação do compósito e ao tempo de prensagem. A partir de quatro amostras do novo material extraídas das placas fabricadas em molde fechado (Figura 3) foram realizados novos ensaios de microdureza, flexão e citotoxicidade para a caracterização do material.



*Figura 3: Molde fechado para fabricação do portacopos.
Fonte: Acervo dos autores*

Em relação à citotoxicidade, a toxicidade celular foi investigada com o uso de duas espécies de bactérias *Escherichia Coli* (ATCC 11229) e *Staphylococcus Aureus* (ATCC 6538), utilizadas como modelos para bactérias Gram-negativas e Gram-positivas, respectivamente. Os resultados preliminares dos halos de inibição formados mostraram a efetividade, no entanto, as amostras dos compósitos ensaiadas foram capazes de inibir parcialmente o crescimento microbiano em ambas espécies testadas.

Os resultados preliminares do ensaio de citotoxicidade indicam que as amostras dos compósitos não interferiram significativamente na viabilidade celular das bactérias testadas, isso sugere que o material não seja citotóxico.

Os ensaios de microdureza e flexão apresentaram variação significativa entre as amostras (conforme pode ser observado nas Figuras 4 e 5) demonstrando que a produção realizada em laboratório, em condições artesanais e não ideais, gera alguma imprecisão. Apesar disso, os resultados indicam que a Tecnologia Ligno apresenta potencial para ser aplicada em produtos para diversos tipos de uso, como em utensílios domésticos, iluminação, artesanato, componentes de cozinha, móveis, escritórios e brindes.

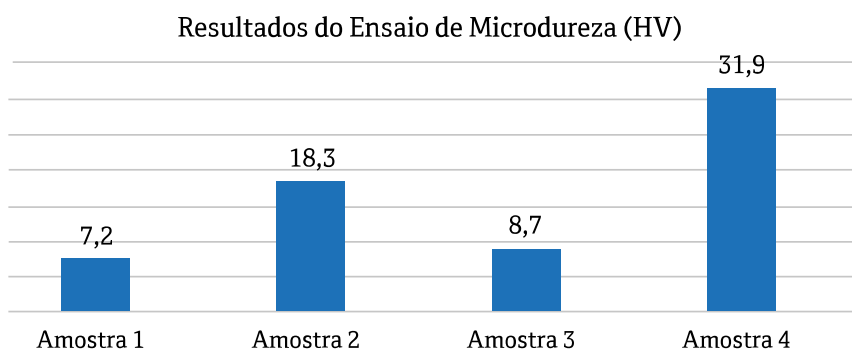


Figura 4: Gráfico demonstrando os resultados do Ensaio de Microdureza nas quatro amostras.
Fonte: Dos autores

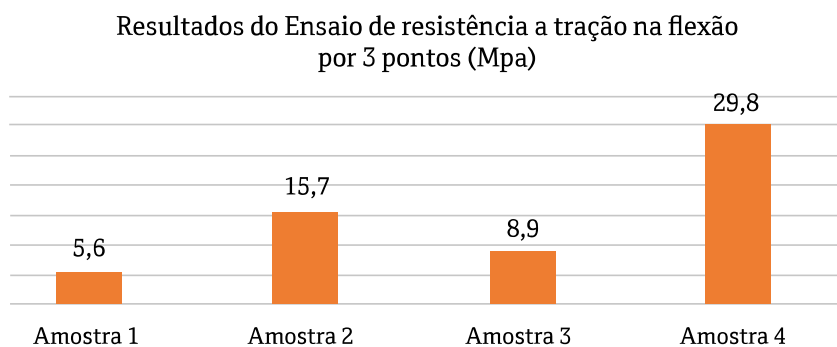


Figura 5: Gráfico demonstrando os resultados do Ensaio de resistência a tração na flexão por 3 pontos (Mpa).
Fonte: Dos autores

Um problema apresentado durante a conformação dos primeiros produtos foi a formação de vapor dentro do molde durante a prensagem, que ocasionou bolhas e falhas nas peças devido ao adesivo à base de água. Como forma de resolver essa imperfeição, foram realizados novos testes com a redução da temperatura do molde, a alteração na quantidade de adesivo e o aumento no tempo de prensagem. Os melhores resultados foram obtidos com a temperatura do molde em 80°C, proporção de 62% de resíduos de MDF e 38% de adesivo, e tempo de prensagem de 6 minutos.

A versatilidade de aplicação do compósito, é demonstrada: por sua capacidade de conformar objetos com formas complexas; pela possibilidade de alteração na coloração do produto, com a pigmentação do compósito feita com a aplicação de corantes à base d'água durante o processo; pela facilidade de usinagem; e pela possibilidade de criação de texturas em baixo ou alto-relevo a partir do molde (Figura 6).



*Figura 6: Tigelas bowl produzidas com resíduo de MDF cru e com pigmentos coloridos.
Foto: Jomar Bragança*

Destaca-se que a Tecnologia Ligno apresenta duas características importantes que a diferencia de outras soluções correlatas que empregam resíduos de madeira e PVA. A primeira diz respeito a possibilidade de acabamento superficial na cor preto fosco dos produtos, sem necessidade de pigmentação, o qual elimina uma etapa de acabamento. Por isso, foi possível gerar o pedido de patente para a tecnologia. A segunda característica é justamente a possibilidade de transformar resíduos em produtos prontos, diferentemente de diversas pesquisas e desenvolvimentos de novos materiais que não conseguem demonstrar as devidas aplicações em produtos nem a viabilidade em escala industrial.

De acordo com o método *Technology Readiness Level* (TRL), a Tecnologia Ligno é uma inovação que se encontra no nível 5 de maturidade tecnológica, ou seja, validação das funções críticas dos componentes em ambiente relevante, e precisa de investimentos para sua aplicação em escala industrial com o objetivo de avançar para o TRL nível 6 (demonstração de funções críticas do protótipo em ambiente relevante).

Nesse sentido, a fase de aprimoramento da tecnologia, em andamento, está implementando a Tecnologia Ligno em uma microempresa de marcenaria na cidade de Arapiraca/AL. Um dos principais desafios é a especificação e adequação dos equipamentos necessários para a produção em escala. Os equipamentos básicos indispensáveis para o emprego da tecnologia são: peneirador vibratório, encoladeira, molde (específico para cada produto) e prensa. Estimativas iniciais indicam que o capital investido para viabilizar uma produção em pequena escala seria de R\$80.000,00 (oitenta mil reais) e para uma produção automatizada, com maior escala de produção, corresponderia a R\$200.000,00 (duzentos mil reais). Esses cálculos foram realizados para a produção dos produtos Ligno, de pequeno porte, pois os valores dos moldes são mais acessíveis e favorecem a produção por parte das MPEs moveleiras. Portanto, o valor do investimento é determinado pela definição do produto (que influencia no valor do molde), pelo volume de produção e pelo grau de automatização desejado. Assim, o estudo de implantação da Tecnologia Ligno pretende analisar

a capacidade da MPE moveleira para investir e viabilizar a produção com a adaptação do modelo de negócio e de serviços. Abaixo, imagem do processo de fabricação do bowl, demonstrando a retirada do produto de dentro do molde (Figura 7).



Figura 7: Processo de fabricação do bowl, demonstrando a extração do produto de dentro do molde. Fonte: Acervo dos autores

4 Considerações finais

A inovação da Tecnologia Ligno é definida pela diversidade de perspectivas adotadas para viabilizar o reaproveitamento dos resíduos moveleiros em um contexto social específico. Tal como afirma Vanderburgh (1985), a tecnologia deve ser o resultado do entrelaçamento simultâneo desta com as questões humanas, culturais e ambientais levando a transformações e ajustes permanentes.

Nesse sentido, o uso de estratégias de design sustentáveis possui potencial para estimular a inovação, pois introduz modificações e melhorias nos processos de produção e produtos e permite transformar os resíduos moveleiros em recursos, gerando valor para os refugos fabris por meio do design. A Tecnologia Ligno coloca em pauta o papel do design como mediador entre o contexto e a tecnologia, capaz de ajustar esta última à complexidade do ambiente em que ocorrem as interações e propor alternativas que considerem, sistematicamente, um intrincado de questões de ordem técnica, econômica, funcional, prática, mercadológica, narrativa, cultural, emocional e sustentável.

O design como mediador na relação entre a tecnologia e o ambiente, no processo seletivo que opera, demonstra que os produtos gerados poderão ser “espécies” bem-sucedidas não somente por sua qualidade técnica – condição necessária, mas não suficiente, conforme abordado por Dagnino, Brandão e Novaes (2004) – mas pela ampliação de seu valor de troca, em sintonia com um padrão de comportamento ético e emocional do consumidor, consciente dos imperativos de preservação ambiental. A Tecnologia Ligno não limita, portanto, seus objetivos à criação de um compósito ou a produtos, pois procura também despertar para a necessidade de atitudes em favor do meio ambiente, um apelo ético que explora os aspectos comunicacionais do design. O compósito carrega valores que transcendem sua materialidade, como elemento estético, a partir da exploração da qualidade expressiva do próprio material. Sua essência tecnológica e também simbólica, visível pela massa granulada, revela, por si própria, uma história de esforços de mitigação de impactos ao meio ambiente. Os produtos adquirem significado porque refletem a história de sua produção.

O potencial de transformação por meio da Tecnologia Ligno se torna evidente. A partir do reaproveitamento dos resíduos madeireiros, pode incentivar o reuso de matérias-primas oriundas do próprio processo produtivo, como também pode beneficiar a sociedade com a minimização do

descarte irregular de resíduos devido a conscientização sobre o valor desses materiais. Além disso, a cadeia produtiva proposta, baseada na economia circular, permite que após o uso e descarte, os produtos resultantes desse processo sirvam novamente como matéria-prima para a fabricação de outros produtos utilizando a mesma tecnologia. É certo que, conforme Braungart e McDonough (2002), a reciclagem é limitada, pois não torna os materiais benignos, entretanto, a reciclagem ainda é uma importante estratégia para minimizar a extração de matérias-primas virgens, para estender a vida útil dos materiais e aterros, gerar valor para os resíduos; e minimizar os impactos da destinação inadequada.

A viabilidade da tecnologia para atender ao contexto das micro e pequenas empresas, associações, cooperativas e ONGs, é demonstrada a partir da simplificação de etapas, processos e equipamentos para se obter os produtos e do baixo investimento necessário, se comparado com processos como a extrusão e a injeção. Além disso, o capital investido para a introdução da Tecnologia Ligno é adequado à realidade das MPEs moveleiras pois é compatível com o preço de grande parte do maquinário adquirido habitualmente por essas empresas.

A Tecnologia Ligno respeita as identidades locais, pois o processo de fabricação tem potencial para conciliar a produção em pequena, média ou larga escala, o que permite a adaptação da escala de produção e dos produtos desenvolvidos à realidade de cada localidade, região ou tipo de empresa. As marcenarias também podem ser beneficiadas com a diferenciação por meio do design de produtos sustentáveis e com a redução dos custos de destinação dos resíduos por meio da reciclagem de resíduos de madeira e derivados. Como a tecnologia transforma os resíduos em recursos, estimula a reutilização e, conseqüentemente, colabora com a sociedade prejudicada pelo descarte irregular dos resíduos.

Devido à capacidade do compósito em adquirir formas complexas, pesquisas futuras devem analisar a viabilidade econômica e ambiental para seu uso em substituição a outras matérias-primas virgens. Além disso, estudos futuros devem elaborar novas alternativas de design de produtos e melhorar o design dos produtos desenvolvidos; desenvolver a comunicação dos produtos de modo a informar sobre a origem de seus materiais com o objetivo de fomentar sistemas de recolha e reciclagem; realizar a análise do ciclo de vida do compósito e dos produtos Ligno; e principalmente, realizar a introdução da Tecnologia Ligno em uma empresa piloto visando novas melhorias.

Agradecimentos

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq); à Pró-Reitoria de Pesquisa da Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG); ao Sindimov-MG; à Universidade Federal de Uberlândia (UFU); e aos estudantes bolsistas e voluntários do projeto Ligno.

Referências

- ABREU, L. B. et al. Aproveitamento de resíduos de painéis de madeira gerados pela indústria moveleira na produção de pequenos objetos. **Revista Árvore**, Viçosa-MG, v.33, n.1, p.171-177, 2009.
- ALLEN, P. Evolution, innovation and economics. *In*: DOSI, G.; FREEMAN, C.; NELSON, R.; SILVERBERG, G.; SOETE, L. (ed.) **Technical Change and Economic Theory**. Londres e Nova York: Pinter, 1988. p. 560-589.
- BEHRENDT, S. *et al.* **Life cycle design: a manual for small and medium sized companies**. New York: Springer, 1997.
- BHAMRA, T. **Design for sustainability: a practical approach**. England: Gower, 2007.
- BRAGA, J. C. et al. Insertion of Sustainable Strategic Design in the Furnishings of Micro and Small Enterprises. **The International Journal of Designed Objects**, v. 11, n. 3, p. 1–16, 2017. Disponível em: https://cgscholar.com/bookstore/works/insertion-of-sustainable-strategic-design-in-the-furnishings-of-micro-and-small-enterprises?category_id=cgrn. Acesso em: 16 jul. 2020.
- BRAINER, M. S. de C. Setor moveleiro. **Caderno Setorial ETENE**. Ano 4, n. 89, p. 1-19, julho 2019.
- BRAUNGART, M.; MCDONOUGH, W. **Cradle to cradle: remaking the way we make things**. New York: North Point Press, 2002.
- BREZET, H.; HEMEL, C. VAN. **Ecodesign: a promising approach to sustainable production and consumption**. Paris: UNEP, 1998.
- BRASIL. Lei n. 12.305, de 02 de agosto de 2010. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos. **Diário Oficial da União**, Brasília. 2012, p. 73.
- CIATEC A.C. **Proceso y producto obtenido a partir de una mezcla aserrín y polímero reciclado utilizando desperdicio del procesado de madera**. MX n. MX2011008552 (A), 12 ago. 2011, 20 fev. 2013.
- CASTRO, M. L.; Design na busca da sustentabilidade em aglomerados produtivos: a experiência na produção de móveis no Amapá. **Cadernos de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo**, v. 13, n. 1, p. 1-20, 2013. Disponível em: <http://editorarevistas.mackenzie.br/index.php/cpgau/article/view/Castro.2013.1/4470>. Acesso em: 10 Jul. 2020.
- CASTRO, M. L.; CARDOSO, J. Inovação tecnológica e inovação narrativa: caminhos para o design no polo moveleiro de Ubá. **Interações (Campo Grande)**, v. 11, n. 2, p. 205–213, dez. 2010. Disponível em: Inovação tecnológica e inovação narrativa: caminhos para o design no polo moveleiro de Ubá. Acesso em 09 de jul. 2020.
- CASTRO, M. L.; XIMENES, T. Diseño e innovación en la Amazonia brasileña diseño en síntesis: Reflexiones sobre la cultura del diseño. **Segunda época**, Año 20, n.44-45, p. 82-99 Otoño 2010-Primavera 2011.
- CORRÊA, G. R. et al. Ligno Project: development of composite waste material from wood and MDF applied to the design. *In*: **Proceedings of the 2o International Conference on Sustainable Smart Manufacturing**. Manchester: Taylor & Francis, 2020.
- CORRÊA, G. R. et al. Resíduos da indústria moveleira: diagnóstico nas empresas associadas ao Sindimov-MG. *In*: CONGRESSO PESQUISA E DESENVOLVIMENTO EM DESIGN, 12, 2016, Belo Horizonte. **Anais...** Belo Horizonte: Blucher, 2016. p 4.214-4.225. Disponível em: <https://www.proceedings.blucher.com.br/article-details/resduos-da-industria-moveleira-diagnostico-nas-empresas-associadas-ao-sindimov-mg-24598>
- CORRÊA, G. R.; POLICARPO, A. de O. Ligno: material compósito com resíduo de madeira. *In*: CONGRESSO DE PESQUISA E DESENVOLVIMENTO EM DESIGN, 13, 2018, São Paulo. **Anais...** São Paulo: Blucher, 2019. P. 145-159. Disponível em: <https://www.proceedings.blucher.com.br/article-details/ligno-material-compesito-com-resduo-de-madeira-30384>. Acesso em: 09 Jul. 2020.

DAGNINO, R.; BRANDÃO, F. C.; NOVAES, H. T. Sobre o marco analítico-conceitual da tecnologia social. *In: Tecnologia social: uma estratégia para o desenvolvimento*. Rio de Janeiro: Fundação Banco do Brasil, 2004. p. 15-64. Disponível em: <https://sinapse.gife.org.br/download/tecnologia-social-uma-estrategia-para-o-desenvolvimento>. Acesso em 15 de julho de 2020.

DOSI, G. **Mudança técnica e transformação industrial: A teoria e uma aplicação à indústria de semicondutores**. São Paulo: UNICAMP, 2006.

FAPESP - FUNDAÇÃO DE AMPARO À PESQUISA DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Processo de obtenção de compósitos termoplásticos com resinas virgens ou recicladas reforçados com farinha de resíduo de madeira e/ou MDF e suas aplicações em produtos perfilados e componentes moldados por injeção para indústria moveleira, construção civil, decoração e paletes**. BR PI 0802175-9 A2. 2009.

FIEMG - FEDERAÇÃO DAS INDÚSTRIAS DO ESTADO DE MINAS GERAIS. **Diagnóstico do pólo moveleiro de Ubá e região**. Belo Horizonte: IEL/MG, 2002.

FIKSEL, J. R. **Design for environment a guide to sustainable product development**. New York: McGraw-Hill, 2009.

HEXION INC. **Wood composites, methods of production, and methods of manufacture thereof**. US n. US7803855B2, 25 jan. 2007, 28 set. 2010.

INSTITUTO DE TECNOLOGIA SOCIAL. Reflexões sobre a construção do conceito de tecnologia social. *In: Tecnologia social: uma estratégia para o desenvolvimento*. Rio de Janeiro: Fundação Banco do Brasil, 2004.

LATOUR, B; VENN, C. Morality and technology: The end of the means. **Theory, Culture & Society**, v. 19, n. 5-6, p. 247-260, dez. 2002.

MANZINI, E.; VEZZOLI, C. **Desenvolvimento de produtos sustentáveis: os requisitos ambientais dos produtos industriais**. São Paulo: EDUSP, 2008.

MURRAY, R.; CAULIER-GRICE, J.; MULGAN, G. **The open book of social innovation**. London: Young Foundation/NESTA, 2010.

PEREIRA A. F.; CARVALHO L. S. C.; PINTO A. C. O. Resíduo de madeira: limites e possibilidades de seu uso como matéria-prima alternativa. *In: Anais do 9º Congresso Brasileiro de Pesquisa e Desenvolvimento em Design*. Universidade Anhembi Morumbi, 2010.

RITTEL, H.; WEBBER, M. M. Dilemmas in a general theory of planning. **Policy Sciences**. v. 4, n. 3, p. 155-169, 1973.

VANDERBURG, W. H. Technology, society, and culture: A framework for understanding. **Technology in Society**, v. 7, n. 4, p. 411-422, 1985.

Sobre os autores

Glaucinei Rodrigues Corrêa é doutor em Arquitetura pela Escola de Arquitetura da Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG). Professor da Escola de Arquitetura e Design da Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG). Atualmente é Diretor de Apoio à Gestão da Extensão da Pró-reitoria de Extensão da UFMG. Foi Coordenador do curso de Graduação em Design da UFMG. Pesquisador extensionista sobre os temas: design social, design e artesanato; materiais e processos de fabricação.

E-mail: glaucinei@ufmg.br

Lattes: <http://lattes.cnpq.br/9878675593298644>

Orcid: <https://orcid.org/0000-0002-4311-5444>

Juliana Cardoso Braga é doutora em Design pela Faculdade de Arquitetura, Urbanismo e Design da Universidade de Lisboa, Portugal em cotutela internacional com a Faculdade de Arquitetura, Artes e Comunicação da Universidade Estadual Paulista (FAAC/UNESP). Docente da Faculdade de Arquitetura, Urbanismo e Design da Universidade Federal de Uberlândia (FAUED/UFU) e coordenadora do Núcleo de Sustentabilidade da Universidade Federal de Uberlândia. Foi coordenadora do Curso de Design da UFU.

E-mail: juliana.braga@ufu.br

Lattes: <http://lattes.cnpq.br/1836228856080241>

Orcid: <http://orcid.org/0000-0002-2954-9756>

Maria Luiza Almeida Cunha de Castro é doutora em Ciências Sócio Ambientais pelo Núcleo de Altos Estudos da Amazônia da Universidade Federal do Pará (UFPA). Professora da Escola de Arquitetura e Design da Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG). Tem experiência nas áreas de Arquitetura e Urbanismo, e design, desenvolvendo atividades voltadas para os seguintes temas: arquitetura, Tecnologia da construção, inovação social e tecnológica; design de mobiliário e jóias; desenvolvimento sustentável.

E-mail: luizadecastro2000@gmail.com

Lattes: <http://lattes.cnpq.br/6663358391005315>

Orcid: <http://orcid.org/0000-0002-4947-9679>

Recebido em: 7 de dezembro de 2021

Aprovado em 30 de março de 2022

Publicado em 30 de junho de 2022