

## INJEÇÃO SANDUÍCHE USANDO MADEIRA PLÁSTICA A PARTIR DE MATERIAIS RECICLADOS

Gabriel Silva Póvoa ([povoagabriel@gmail.com](mailto:povoagabriel@gmail.com)) – Universidade de Brasília, UnB.

Dianne Magalhães Viana ([dianne.magav@gmail.com](mailto:dianne.magav@gmail.com)) – Universidade de Brasília, UnB.

### RESUMO

Em um cenário de crescente interesse da sociedade pela proteção do clima e sustentabilidade, materiais reciclados e de base natural, como os componentes de madeira plástica (*wood plastic composites* - WPC) têm ganhado espaço. Estes são compósitos contendo madeira e polímeros termoplásticos, podendo haver variações com farinha de madeira e plásticos termofixos. Apesar de muitas propriedades positivas, tais materiais podem ser difíceis de serem aplicados em muitas áreas devido a características higroscópicas que ocasionam inchaço de partículas próximas à superfície e emissão de odores. Uma forma de evitar esse problema e eliminar as propriedades negativas do WPC, e, assim, expandir o seu uso, seria envolvê-lo com um polímero puro pelo processo de injeção sanduíche. Porém, tal solução é ainda muito pouco explorada na literatura e seu uso é pouco difundido. Diante do exposto, o presente trabalho consiste em apresentar e discutir um procedimento para moldagem por injeção sanduíche para obter compósitos de madeira plástica, utilizando resíduos poliméricos e fibras naturais.

Palavras chave: *injeção sanduíche; madeira plástica; reciclagem; compósitos; coinjeção*

## 1. INTRODUÇÃO

Segundo relatório da *World Wildlife Found* (WWF, 2019), baseado em dados do Banco Mundial, o Brasil é o 4º maior produtor de lixo plástico no mundo, com 11,3 milhões de toneladas, atrás apenas dos Estados Unidos, da China e da Índia. Além disso, o país apresenta um dos menores índices de reciclagem, de apenas 1,28% do total de lixo plástico produzido. Este valor está bem abaixo da média global de reciclagem que, para o mesmo parâmetro, corresponde a 9%.

Além do problema do descarte, o Brasil também é país que mais perdeu cobertura florestal no mundo em termos absolutos, desde o começo do século 21. Segundo dados publicados pela *Food and Agriculture Organization* (FAO, 2020), indicam que 52 milhões de hectares de vegetação foram desmatados. O problema do desmatamento é mais um para incrementar a lista de problemas brasileiros que precisam de uma solução que seja interessante e ecologicamente sustentável, que desafogue o mercado da madeira.

Com o intuito de sanar esses problemas, dentre os novos materiais que surgiram nas últimas décadas, os Compósitos de Madeira Plástica (WPC), fabricados utilizando resíduos de diversos tipos de polímeros e fibras vegetais têm encontrado espaço substituindo, principalmente, o uso de madeira natural.

Por ser um biocompósito, ou seja, constituído por fases de origem natural, o seu desenvolvimento é primordial na redução dos impactos ambientais causados pelo intenso consumo de materiais sintéticos obtidos a partir de fontes fósseis, além de diminuir o acúmulo de resíduos naturais permitindo valorizar de forma sustentável a cadeia de produção agrícola e também na intenção de se reduzir custos de produção dos materiais plásticos (PIMENTEL, 2016).

Sendo assim, a madeira plástica se mostra uma solução viável economicamente, competitiva e com vantagens em relação à madeira convencional, podendo ser classificada, de acordo com o documento da Agenda 21 Global (BRASIL, 2000), como uma tecnologia ambientalmente saudável, isto é, que protege o meio ambiente, é menos poluente, usam os recursos de forma mais sustentável, reciclam mais seus resíduos e que tratam os dejetos residuais de uma maneira mais aceitável do que as tecnologias que vieram substituir.

Assim, esse biocompósito tem se estabelecido no mercado da construção civil como um dos materiais mais sustentáveis, versáteis e flexíveis. Entre 10 e 15% do mercado europeu de

compósitos é constituído por WPC, e compósitos de fibra natural. (CARUS e EDER, 2012). No entanto, segundo Moritzer e Martin (2016), os processos convencionais de fabricação desses materiais, como a extrusão, injeção e compressão, não evitam os problemas mais comuns, como a absorção de umidade, aumento da emissão de odores e texturas superficiais pobres, que dificultam seu uso em muitas áreas de produtos.

Uma forma de eliminar esse problema é encapsulando o WPC com um polímero puro, processo conhecido por injeção sanduíche, ou coinjeção, como apresentado no estudo de Moritzer e Martin (2016), que avaliou a adequação da madeira plástica como o componente principal desse método de fabricação. Este processo confere as propriedades negativas de absorção de umidade e emissão de odores do WPC sejam compensadas pelo polímero de revestimento.

Porém, mesmo o procedimento de coinjeção tendo a capacidade de expandir o uso do WPC não apenas nos principais setores onde é aplicado atualmente, mas também em outros que exigem maiores condições de resistência a intempéries do material, tal aplicação é dificilmente encontrada na literatura e explorada industrialmente, mesmo que as vantagens ecológicas e fabris sejam consideradas extensas.

Diante do exposto, o trabalho desenvolvido consiste em apresentar e discutir o processo de coinjeção e a obtenção da madeira plástica com o objetivo de propor um fluxograma do procedimento para servir como elemento precursor na disseminação do uso de madeira plástica enclausurado com polímeros. Na seção 2 são abordados os elementos constitutivos da madeira plástica e do processo de coinjeção. Na seção 3 são abordados aspectos relacionados ao processo de obtenção de um produto final que possui, em seu núcleo, madeira plástica, a partir da escolha matéria-prima e das características dos processos.

## **2. REVISÃO TEÓRICA**

### **2.1 COMPÓSITOS DE MADEIRA PLÁSTICA**

De acordo com Callister (2002), os compósitos são uma classe de materiais, em que há a mistura imiscível de dois ou mais componentes. Compósitos de Madeira Plástica (WPC), ou compostos verdes, ou simplesmente madeira plástica, são um novo grupo de materiais que estão gerando interesse em diversas aplicações, que vão desde dormentes para ferrovias e tampas de bueiros, até moveis, cercas, bancos, espreguiçadeiras, lixeiras e até artefatos utilizados na construção civil (TRIGUEIRO e BOCARDI, 2012).

Segundo Chanda e Roy (2006), os WPCs são definidos como materiais compósitos contendo madeira e polímeros termoplásticos, havendo também variações com farinha de madeira e plásticos termofixos, como no caso da baquelite e produtos aglomerados, como papelão.

Para a mistura ocorrer, normalmente é usado um agente de acoplamento para promover a interação entre a matriz, que é uma resina polimérica, e as fibras, usadas como elementos de reforço (DE PAOLI, 2008).

Vale destacar que não existe uma matéria-prima típica que deva ser usada para fabricar WPC. Por isso, os materiais selecionados dependem do custo, disponibilidade, valor de mercado do produto e requisitos de desempenho do mesmo. Ademais, outro fator de suma importância é a região na qual esse material está sendo produzido, como, por exemplo, as madeiras nativas ou comuns do local para aquisição das fibras, uma vez que o mercado local é normalmente influenciado pela matéria-prima cultivada na região.

## **2.2 POLÍMEROS**

Os polímeros podem ser classificados quanto à sua característica de fusibilidade, isto é, a propriedade desses materiais fundirem. Os termoplásticos são aqueles que possuem capacidade de amolecer e fluir ao serem submetidos a um aumento de temperatura e pressão. Por terem essa propriedade, podem ser aquecidos e solidificados em formas definidas. Esta alteração é uma transformação física e reversível. Enquanto isso, os polímeros termofixos são os que amolecem uma vez com o aquecimento, ao passar pelo processo de cura, no qual sofrem uma transformação química irreversível, formando ligações cruzadas. Ao aquecer novamente um polímero termofixo, este não mais altera seu estado físico (CANEVAROLO JR., 2002).

Como a degradação da celulose da madeira ocorre entre 200 °C e 280 °C, geralmente são usados em WPCs, polímeros processados abaixo da temperatura mínima dessa faixa. Segundo Kieling, Santana e Santos (2019), o polímero mais usado para madeira plástica, seja com o material virgem ou reciclado, é o polietileno (PE). Além disso, todos os tipos de polietileno, como o PEBD (polietileno de baixa densidade), PEAD (polietileno de alta densidade) e PELBD (polietileno linear de baixa densidade), são candidatos a serem usados como matéria-prima. Outro polímero de fácil obtenção e uso é o polipropileno (PP) que, segundo De Paoli (2008), para seu uso é necessária uma maior proporção de aditivos para evitar a degradação, que é dos maiores problemas enfrentados por esse material na etapa do processamento, visto a sua baixa resistência oxidativa.

## 2.3 FIBRAS

Algumas das fontes mais comuns de matérias-primas de madeira reciclada adequadas para compostos incluem: resíduos de madeira primária (como resíduos de madeira de serrarias); resíduos de madeira secundária (como móveis, armários e portas); e resíduos de madeira pós-consumo, que podem incluir qualquer coisa, desde resíduos de construção e demolição a embalagens, engradados e paletes (CHANDA e ROY, 2006). De acordo com Kieling, Santana e Santos (2019), também são usados com fibras vegetais: fibras de coco, bambu, borra de café, sabugo de milho, casca de algodão, entre outras.

Para a produção de WPC, são utilizadas preferencialmente fibras curtas ou partículas. Para produtos que requerem alta rigidez a carga de madeira deve ser da ordem de 50% a 70% da mistura. Para produtos que requerem maior flexibilidade ou maleabilidade, a concentração de madeira deve ser menor (MUZEL, 2017).

No Brasil, dentre as madeiras mais utilizadas para fabricação de madeira plástica, se destaca a *Pinus elliottii*, uma das espécies mais plantada nas regiões Sul e Sudeste, usada para produção de celulose e papel. Também, em menor escala, há a *Pinus taeda*, usada na produção de madeira para processamento mecânico e extração de resina, além de ser usada na construção de barcos, postes e construção civil (BATTISTELLE; VIOLA; BEZERRA, 2014)

## 2.4 ADITIVOS

Diferentes tipos de aditivos são usados em WPCs, seja para auxiliar a operação de processamento, como os lubrificantes, para fornecer estabilidade de processamentos e preservação em serviços de longo prazo, os chamados estabilizadores de calor e luz, e para melhorar as propriedades mecânicas, os agentes de acoplamento.

Compatibilizantes ou agentes de acoplamento são polímeros contendo grupos funcionais polares que interagem tanto com os grupos hidroxila da celulose quanto com as seções de cadeias não polares, as cadeias de hidrocarbonetos de poliolefina do WPC. Exemplos de compatibilizantes usados como aditivos em WPCs são: polietileno ou polipropileno enxertados com anidrido maleico (PE-g-MAH e PP-g-MAH, respectivamente), polietileno enxertado com trimetoxivinilsilano e copolímeros análogos, e poliolefinas enxertadas com metilol fenólico. A melhor abordagem, por exemplo, é utilizar um PE enxertado para uma resina à base de PE, um PP enxertado para uma resina à base de PP e assim por diante. Os silanos de baixo peso

molecular podem ser adicionados ao enchimento de madeira por pulverização ou por mistura intensiva antes da mistura com o polímero (CHANDA e ROY, 2006).

## **2.5 INJEÇÃO DE MADEIRA PLÁSTICA**

O processo de injeção de madeira plástica é relativamente recente, sendo que, de acordo com Clemons (2002), a tecnologia de processamento de compósitos com fibras naturais e PP começou a ser desenvolvida em 1999, com a busca de materiais com boas propriedades mecânicas e baixa densidade para a indústria automobilística, mas ainda se limitava à processos de extrusão.

O processo de moldagem por injeção de WPC é semelhante à moldagem por injeção convencional de termoplásticos. O material a ser injetado deve ter boa homogeneidade e cerca de menos de 0,5% de teor de umidade. Requisitos de processamento incluem alta taxa de plastificação, curto tempo de preenchimento do molde e pequena faixa de temperatura de fusão (CHANDA e ROY, 2006).

Dois princípios importantes ao moldar WPCs e outros biocompósitos são: evitar o calor e o cisalhamento excessivos. O material tende a fluir muito rapidamente, mas devido a sensibilidade ao cisalhamento, deve-se evitar tempos de preenchimento demasiadamente curtos. Por outro lado, uma velocidade baixa implica em um intervalo maior de troca de calor, o que pode favorecer a degradação de componentes das matérias (HUNNICUTT, 2007).

Ademais, o bico usado no processo de moldagem deve ter um orifício o mais próximo possível do diâmetro do jito, para minimizar o cisalhamento. De acordo com Hunnicutt (2007), orifícios menores podem causar aumento de cisalhamento, bem como a descoloração causada pelo superaquecimento do material à medida que entra no molde.

## **2.6 INJEÇÃO SANDUÍCHE**

A moldagem por coinjeção é usada para produzir peças que possuem uma estrutura laminada com o material do núcleo embutido entre as camadas do material da pele. O processo envolve a injeção sequencial de materiais diferentes, mas compatíveis, fundidos em uma cavidade onde os materiais laminam e solidificam.

Uma pequena injeção de massa fundida de polímero da pele é primeira injetada no molde, seguida pela massa fundida de polímero do núcleo, que é injetada até que a cavidade do molde esteja quase cheia. O polímero de pele é então injetado pelo primeiro dispositivo para vedar o

componente e aumentar a pressão de retenção para a compensação do encolhimento (CHANDA e ROY, 2006).

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

#### 3.1 MATÉRIA-PRIMA

A escolha da formulação fibra-matriz, deve visar a obter uma combinação com boas propriedades mecânicas, boa compatibilidade, equilibrando a melhoria na resistência com a obtenção de um acabamento livre de falhas, além de visar à redução de custos.

A madeira é um material heterogêneo que possui diferentes tipos de células adaptadas a desempenharem funções específicas, dentre as quais pode-se citar a celulose, hemicelulose, lignina e extrativos em geral. Está sujeita a variações físico-químicas quando submetida ao calor. Sendo assim, os polímeros da madeira apresentam estabilidade térmica diferenciada em função da rede cristalina de cada um. A degradação desses polímeros se reflete em perda de massa. Para uma taxa de aquecimento lenta e atmosfera inerte, a maior perda de massa da celulose ocorre entre 300 °C e 400 °C, a perda da hemicelulose ocorre entre 250 °C e 350 °C, e da lignina entre 250 °C e 450 °C (ALÉ; KOTILAINEN; ZAMAN, 2007).

Fatores como a massa específica, o teor de umidade, a espécie de madeira, as dimensões da peça final, a forma da seção transversal e a intensidade do fluxo de calor influenciam a taxa de carbonização. O teor de umidade, por exemplo, retarda o processo de combustão até a evaporação da água presente no material (FIGUEROA e DE MORAES, 2009).

Sendo assim, os compósitos com resíduos de madeira podem ser combinados com polímeros de baixa temperatura de processamento, como o polipropileno (PP), poliésteres (PE) e policloreto de vinila (PVC), de forma a não danificar as partículas de madeira durante a fabricação do compósito (BATTISTELLE; VIOLA; BEZERRA, 2014).

Para análise do procedimento, será considerado como polímero matriz para fabricação de madeira plástica o polipropileno, por ser um polímero totalmente reciclável e possuir uma temperatura de amolecimento compatível para a produção de WPC, entre 130 e 171 °C (DE PAOLI, 2008).

A fibra a ser considerada é proveniente da mistura das espécies *Pinus taeda* e *Pinus elliotti*, madeiras bastante cultivadas no Sul e Sudeste do Brasil, e utilizadas na extração de resinas. Tal escolha deve-se à existência de estudos prévios que relacionam as propriedades das fibras



dessas madeiras em WPC, os quais podemos utilizar como base para a proposta de procedimento deste trabalho. Os autores Iwakiri e Keinert Júnior (1990) mostraram que não há diferenças significativas em termos de módulo de elasticidade e módulo de ruptura em espécies do gênero *Pinus*, e que a mistura dessas espécies não apresenta prejuízo qualitativo em termos destas propriedades, viabilizando assim a mistura e possibilitando maior volume de material a ser utilizado. Tal material é geralmente obtido por meio da moagem de resíduos de madeira que não contenham nenhuma impureza. E, de acordo com Battistelle, Viola e Bezerra (2014), possuem uma coloração clara e com granulometria uniforme.

### **3.2 MADEIRA PLÁSTICA**

O procedimento para a produção de uma peça utilizando compósito de madeira plástica como núcleo de uma injeção sanduíche é realizado em duas etapas de produção: a mistura da fibra e do plástico recicladas já secas ocorre por meio de uma extrusora, e a coinjeção de madeira plástica e polímero puro. De acordo com Clemons (2002), para produção de madeira plástica, as matérias-primas devem ser misturadas para que haja a dispersão das fibras vegetais no polímero fundido, de modo que uma fusão homogênea seja alcançada. A extrusora então comprime a mistura homogênea para passar pela matriz. Na sequência, a mistura pode ser imediatamente injetada no molde do produto final, processo em linha.

Dependendo da origem das fibras, é necessário que haja a identificação do material e, se possível, a separação de possíveis impurezas. Uma vez que a granulometria for uniforme, pode-se usar a técnica do peneiramento das partículas de madeira, descartando assim o material grosseiro, para que seja utilizada apenas a parcela com granulometria menor que um valor pré-estabelecido, geralmente menor que 2 mm, como utilizado por Maziero (2015).

Para secagem da madeira, em alguns casos, a umidade é removida como parte do próprio processamento, enquanto em outros, a secagem é realizada separadamente usando equipamentos adicionais, como pré-aquecedores, secadores de ar quente e forno de tubo rotativo, sendo o último o dispositivo mais adequado (CHANDA e ROY, 2006).

O mesmo princípio de secagem é necessário para o aproveitamento do plástico reciclado, uma vez que a presença de umidade pode resultar em um produto com porosidade, afetando as propriedades mecânicas. Porém antes, é necessário triturar peças grandes, para obter pequenos grânulos. Vale-se utilizar de peneiras para validar certa homogeneidade no tamanho dos grãos.



Os aditivos, no geral, são utilizados para auxiliar de processamento e otimizar o tempo de vida útil do produto. Para o caso do plástico reciclado de polipropileno (PP), o aditivo polipropileno enxertado com anidrido maleico (PP-g-AM) é o mais recomendado, pois apresenta ótima adesão entre a interface matriz/carga, como apresentado por Maziero (2015). Grupos derivados do anidrido maleico enxertados nas cadeias poliméricas têm capacidade de formação de ácidos carboxílicos. Assim, o enxerto de cadeias poliméricas em superfícies de agentes de reforço proporcionaria melhorias nas propriedades mecânicas de compósitos.

Nos estudos apresentados por Maziero (2015), foi evidenciado que usando 3% em massa de PP-g-AM em compósitos de matriz de PP e fibras lignocelulósicas como as do gênero Agave (sisal) houve aumento de 25% na tensão de escoamento e resistência à flexão do compósito, além de reduzir a absorção de água nas fibras da madeira.

Apesar disso, esta é uma etapa opcional, visto que alguns estudos, como o de Viola (2012) e Bastistelle, Viola e Bezerra (2014), mostraram a viabilidade da obtenção de madeira plástica utilizando apenas materiais reciclados de polipropileno e farinha de madeira de *Pinus taeda e elliotti*.

### 3.3 COINJEÇÃO E PARÂMETROS DE CONTROLE

Para análise do processo de coinjeção, deve ser selecionado o material que irá compor a pele. No caso desta análise, será o polipropileno homopolímero (PP-Ho) isostático virgem em grânulos, indicado para processos de moldagem por injeção (MAZIEIRO, 2015). Por ser um polímero de adição, esse não necessita de secagem prévia, uma vez que são formados a partir de um único monômero, através de uma reação de adição.

As propriedades mecânicas da peça moldada são influenciadas, pela temperatura do molde, temperatura do fundido, velocidade de injeção, pressão de injeção, tempo de injeção e desenho do molde, entre outras (MAZIEIRO, 2015). No Quadro 1, estão listados os principais fatores a serem controlados durante o processo, assim como suas unidades, para uma padronização do método, possibilitando a repetibilidade.

Esses fatores não dependem apenas dos materiais que serão utilizados. Para injeção de compósitos de madeira plástica com PP, por exemplo, são tipicamente usadas temperaturas de 171 a 188 °C para a zona alimentação, 182 a 199 °C para a zona de compressão e 199 a 210 °C para a ponteira (HUNNICUTT, 2007). Porém, a velocidade da rosca irá depender do comprimento desta, visto que o tempo varia de acordo com o período em que a mistura troca

calor com os aquecedores. Além disso, a dosagem e o tempo de resfriamento dependem da geometria do molde, assim como a pressão de injeção.

TABELA 1 – Variáveis do processo de coinjeção a serem controladas em cada injetora.

Fatores	Unidade
Pressão de injeção	bar
Velocidade da rosca	m/min
Tempo de injeção	s
Pressão de retorno	bar
Velocidade de injeção	cm/s
Temperatura de alimentação	°C
Temperatura de compressão	°C
Temperatura de dosagem	°C
Pressão de compactação	bar
Tempo de empacotamento	s
Temperatura do molde	°C
Tempo de resfriamento	s
Dosagem	cm <sup>3</sup>

Vale ressaltar também que as porcentagens de núcleo e pele podem variar. De acordo com Moritzer e Martin (2016), testes mostraram que o processamento de WPC como um componente central na moldagem por injeção de sanduíche pode ser descrito como bem-sucedido, porém o estudo evidencia que com o alto percentual de enchimento (60% em peso) não foi possível obter preenchimento completo do molde. Além do mais, a viscosidade do componente da pele tem uma influência decisiva no comportamento do enchimento no processo de moldagem por injeção em sanduíche.

Como forma de representar as relações entre os principais componentes, além de documentar o processo como um todo para um melhor entendimento, foi elaborado o fluxograma (Figura 1), onde é possível observar todas as etapas necessárias desde a obtenção da matéria-prima reciclada até a peça final.

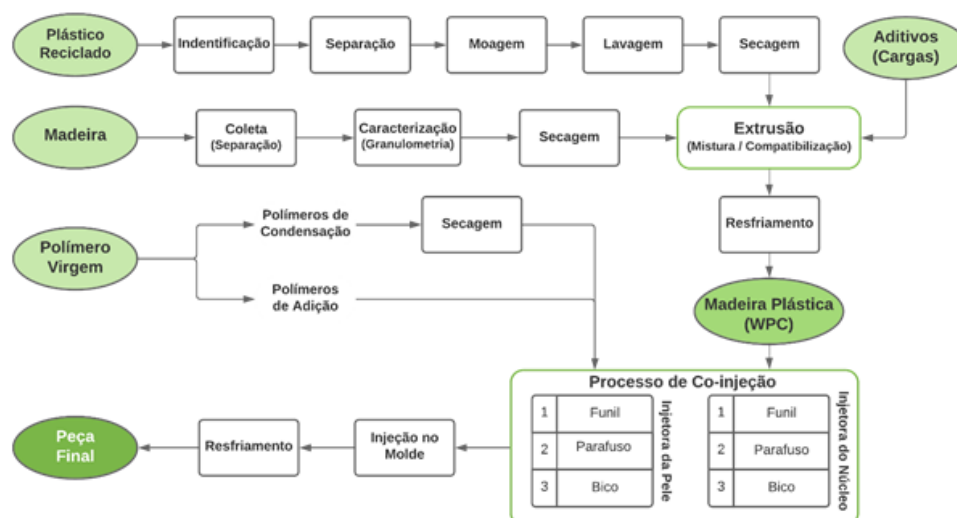


FIGURA 1 – Fluxograma do procedimento de obtenção de peça coinjetada utilizando madeira plástica e polímero virgem. Fonte: Autores (2021)

#### 4. CONCLUSÃO

A demanda por materiais baseados em matérias-primas renováveis tem aumentado constantemente nos últimos anos. Soluções criativas que sejam eficazes na reciclagem e reuso de parte desses resíduos torna-se cada vez mais urgente.

A madeira plástica surgiu com o intuito de ser uma solução viável economicamente, competitiva e com vantagens em relação à madeira convencional, porém, seu uso encontra algumas limitações em certas áreas.

Com o intuito de ampliar o uso desse material, expandindo as possibilidades de introduzi-lo no desenvolvimento de novos produtos sustentáveis, o processo de moldagem por injeção sanduíche permitiu, ao envolver a madeira plástica com um polímero puro, contornar muitos dos problemas que esse material teria em cenários em que a umidade é um problema.

A partir deste estudo, espera-se que a utilização da madeira plástica como material núcleo em co-injeção seja mais explorada, visto o potencial de aplicação e benefícios tanto industriais, como ambientais.

Sendo assim, o procedimento descrito pode servir como elemento precursor na disseminação da aplicação de madeira plástica enclausurada com polímeros e como base para posteriores trabalhos e ensaios que investiguem a adequação de combinações de WPC como componente principal na moldagem por co-injeção.

## 5. AGRADECIMENTOS

Ao CNPq, ao DPI/UnB e ao DPG/UnB pelo suporte financeiro à pesquisa.

## 6. REFERÊNCIAS

ALÉN, R., KOTILAINEN, R., ZAMAN, A., Thermochemical behavior of Norway spruce (*Picea abies*) at 180-225 °C. **Wood Science and Technology**, 2007.

BATTISTELLE, R., VIOLA, N., BEZERRA, B., **Caracterização física e mecânica de um compósito de polipropileno reciclado e garinha de madeira sem aditivos**. Revista Materia, Rio de Janeiro, 2014.

BRASIL. Comissão de Políticas de Desenvolvimento Sustentável e da Agenda 21 Nacional. **Agenda 21 Brasileira: bases para discussão**. Brasília: Ministério do Meio Ambiente, 2000.

CALLISTER, W. D., **Ciência e Engenharia de Materiais: Uma Introdução**. John Wiley & Sons, Inc., 2002.

CANEVAROLO JR, S. V., **Ciência dos Polímeros – Um texto básico para tecnólogos e engenheiros**. 2ª edição. São Paulo: Artliber, 2002.

CARUS, M., EDER, A., **Wood-Plastic Composites (WPC) and Natural Fibre Composites (NFC): European and Global Markets 2012 and Future Trends in Automotive and Constructions**. Nova Institute, 2012.

CHANDA, M., ROY, S., **Plastics Technology Handbook, Fourth Edition**. CRC Press, 2006.

CLEMONS, C., **Wood-plastic Composites in the United States: The interfacing of two Industries**. Forest Products Journal, 2002.

DE PAOLI, M.A., **Degradação e Estabilização de Polímeros**. São Paulo: Artliber, 2008.

FIGUEROA, M. J., DE MORAES, P. D., **Comportamento da madeira a temperaturas elevadas**. Universidade Federal de Santa Catarina, 2009.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION (FAO). **Global Forest Resources Assessment 2020**. Rome, 2020.

HUNNICUTT, B., **Injection Molding Wood-Plastics Composites: Plastics Technology**, 2007. Disponível em: <<https://www.ptonline.com/articles/injection-molding-wood-plastic-composites>>. Acesso em 03 de mar. de 2021.

IWAKIRI, S., KEINERT JUNIOR, S., **Utilização de diferentes espécies do gênero Pinus para a produção de painéis “waferboard”**. IPEF 43/44: 65-69, 1990.

KIELING, G., SANTANA, G., SANTOS, M. C., **Compósitos de Madeira Plástica: Considerações Gerais**. Scientia Amazonia, 2019.

MORITZER, E., MARTIN, Y., **Innovative use of wood-plastic-composites (WPC) as a core material in the sandwich injection molding process**. University of Paderborn, 2016.

MUZEL, S. D., **Estudo da Usinagem dos Compósitos Plásticos de Madeira e Madeira Plástica**. Universidade Estadual Paulista, 2017.

MAZIERO, R., **Efeitos do Compatibilizante PP-g-AM nas Propriedades Mecânicas do Polipropileno reforçado com resíduos de Eucalyptus spp. e Pinus spp.** Instituto Federal do Espírito Santo, 2015.

PIMENTEL, L.E., **Biocompósitos: Uma alternativa sustentável para a construção.** Research Gate, 2016.

TRIGUEIRO, A.; BOCARDI, R., **Madeira plástica evita derrubada de árvores para fabricar móveis.** Jornal da Globo, Rio de Janeiro, 2012.

VIOLA, N., **Produção e Caracterização Física e Mecânica de Compósito de Madeira Plástica.** Universidade Federal Paulista, 2012.

WWF. World Wildlife Found. **Solucionar a Poluição Plástica: transparência e responsabilização.** Gland, Suíça, 2019.