

***Design* para fabricação digital: Diretrizes para reduzir impactos na produção de objetos *Flat pack*.**

*Design for Digital Fabrication: Guidelines for Reducing Impacts
in the Production of Flat Pack Objects.*

AUTORIA

Paulo Ricardo Domingos Magalhães
UFMS, Brasil
paulo.domingos@ufms.br
Gilfranco Alves
UFMS, Brasil
gilfranco.alves@ufms.br

PALAVRAS-CHAVE

Fabricação digital;
Design flat Pack;
Retalhos;
Sustentáveis;
Ecodesign.

RESUMO

Com o avanço das tecnologias de fabricação digital, os métodos de se projetar e se produzir têm passado por transformações significativas. Este artigo faz a análise da produção de *design Flat Pack* para comercialização e investiga o aproveitamento de retalhos e sobras de material como estratégia para a sustentabilidade na produção local. A abordagem qualitativa combina revisão teórica e análise experimental por meio de prototipagem e simulações digitais. O objetivo é estabelecer diretrizes projetuais que minimizem o desperdício e otimizem a utilização de matéria-prima, alinhando-se aos princípios do *Ecodesign*. O artigo também ressaltou a importância de abordar a sustentabilidade não apenas como uma diretriz técnica, mas como um objetivo integral ao processo de *design* e fabricação. Os resultados destacam o potencial da fabricação digital na redução de impactos ambientais e na promoção de processos mais eficientes e sustentáveis.

KEYWORDS

Digital Fabrication;
Flat Pack Design;
Scraps or offcuts;
Sustainable;
Ecodesign.

ABSTRACT

With the advancement of digital manufacturing technologies, design and production methods have undergone significant transformations. This article analyzes the production of Flat Pack designs for commercialization and investigates the use of scraps and leftover materials as a strategy for sustainability in local production. The qualitative approach combines theoretical review and experimental analysis through digital prototyping and simulations. The objective is to establish design guidelines that minimize waste and optimize the use of raw materials, in line with the principles of Ecodesign. The article also emphasized the importance of addressing sustainability not only as a technical guideline, but as an integral objective of the design and manufacturing process. The results highlight the potential of digital manufacturing in reducing environmental impacts and promoting more efficient and sustainable processes.

1. Introdução

A relação entre *design*, tecnologia e sustentabilidade tem adquirido crescente relevância no desenvolvimento de soluções ambientais responsáveis. Segundo Correa e Souza (2024), desde a revolução industrial até a atualidade, a crise ambiental é consequência do uso descontrolado dos recursos naturais para atender as demandas do consumo de massa. Nesse contexto é necessário o uso de estratégias como o *Ecodesign*¹ que ajudam no planejamento mais consciente, voltado para redução de impactos ambientais nas etapas de desenvolvimento, manufatura e mesmo no uso dos produtos.

Com o avanço e a disseminação dos meios digitais, o modo de se projetar e de se produzir vem passando por grandes transformações. Barros (2011) acredita que novos processos de projetos e produção surgem na medida em que novas tecnologias são incorporadas à arquitetura e ao *design* de produto. Tecnologias como a fabricação digital já são consideradas responsáveis pela terceira Revolução Digital, que, segundo Neil Gershenfeld (2017), caracteriza-se pelo controle direto da produção física de "átomos", através da manipulação de dados digitais, os "bits". Isso permite transformar informações digitais em produtos físicos de forma precisa. Para isso, são utilizadas tecnologias como CAD (Desenho Assistido por Computador) e CAM (Manufatura Assistida por Computador), que, por meio de *softwares* especializados, permitem o controle direto sobre o processo de produção. Esse fluxo é conhecido como "*file to factory*" (arquivo para fábrica), e consiste na transferência direta de projetos digitais para máquinas CNC (Controle Numérico Computadorizado), sem a necessidade de intervenção manual significativa. Esse avanço possibilita alta customização e eficiência produtiva, ao mesmo tempo em que aproxima os projetistas dos processos de fabricação.

Barros (2011) acredita na possibilidade dessa proximidade permitir o desenvolvimento de sistemas dinâmicos e flexíveis, em oposição aos objetos estáticos e de difícil reconfiguração, ampliando as possibilidades de adaptação e otimização da produção. Essa flexibilidade de produção pode se tornar central para os conceitos de *Ecodesign* e *Design* para Sustentabilidade trazidos por Silva (2021), nos quais

1 Manzini e Vezzolli (2002) definem o *Ecodesign* como um processo que contempla os aspectos ambientais, com objetivo de projetar ambientes, desenvolver produtos e executar serviços, de alguma forma irão reduzir o uso dos recursos não renováveis, ou ainda, minimizar o impacto ambiental durante seu ciclo de vida.

destaca a importância de compreender o ciclo de vida dos produtos, que engloba desde a extração das matérias-primas, passando pelas fases de projeto, manufatura, distribuição e uso, até a completa degradação de seus componentes, reforçando a necessidade de se considerar o impacto de cada etapa produtiva.

Com base nesse cenário, o presente artigo investiga, por meio de experiências práticas e revisão bibliográfica, a integração de tecnologias de fabricação digital subtrativa e princípios de *design* que possam otimizar o aproveitamento de materiais. O foco está na criação de valor nos retalhos e sobras gerados nos processos de corte CNC Router e laser, explorando seu potencial como recurso para a sustentabilidade. Dessa forma, busca-se promover diretrizes e boas práticas que reduzam o desperdício e incentivem a reutilização eficiente desses materiais no design sustentável. É usado como princípio metodológico a Pesquisa Através do *Design* (PAD).

Segundo Milton e Rodgers (2013), enquanto a investigação científica se baseia e utiliza explicações matemáticas abstratas, a PAD utiliza imagens representativas, modelos físicos e protótipos 3D na concepção e desenvolvimento de objetos que não existem ainda.

A pesquisa por meio do *design* (prática experimental) é considerada a ação de levar "algo" de fora do trabalho de *design* e traduzi-lo por meio de um meio específico. Esse tipo de trabalho, comumente chamado de "pesquisa baseada em prática", é frequentemente interdisciplinar por natureza e pode variar desde uma ideia ou conceito até um novo material ou processo. Nesse caso, o pesquisador estará envolvido na criação de trabalhos dentro de um campo de interesse, bem como na reflexão e contextualização desses trabalhos. Esse método reflexivo gera uma perspectiva que é tanto interna quanto externa ao objeto da pesquisa. Nesse tipo de pesquisa, a singularidade e/ou o valor estarão contidos na conexão entre o texto escrito e os objetos projetados. (Milton e Rodgers, 2013 p. 12).

Cabe ainda definir que a pesquisa foi estruturada em duas etapas metodológicas. A primeira está centrada na avaliação de uma linha de produtos desenvolvidos por CNCs *router* e *laser*, oferecidos no mercado local. Para tal, são usadas ferramentas como a *Autopsia de Produto* de Milton e Rogers (2013), que consistem em método de compressão das decisões de *design* que foram tomadas em um produto existente, para entendimento dos materiais usados, técnicas de fabricação e processos usados no

desenvolvimento de um produto além da prototipagem rápida possibilitada pelo processo de fabricação digital. Com isso é feita a análise dos impactos gerados durante a linha de produção de móveis e objetos de pequeno e médio porte; A segunda etapa da pesquisa concentrou-se na elaboração de soluções práticas, a partir de diretrizes de *Ecodesign* (Silva, 2021) adaptadas para fabricação digital, objetivando reduzir os retalhos de corte e a consequente redução de desperdício, com base em novos produtos e técnicas aprimoradas de planos de corte.

Portanto, esses resultados reforçam a importância de estratégias integradas que aliem inovação tecnológica à responsabilidade ambiental, e deste modo espera-se que este artigo possa contribuir para o avanço de práticas produtivas mais sustentáveis.

2. Fabricação digital: uma oportunidade para o *Ecodesign*

De acordo com Silva (2021), o impacto de um produto é, em grande parte, determinado na fase de projeto, quando são tomadas decisões que irão influenciar a forma de uso, especificação de materiais, processos de fabricação, durabilidade, logística de distribuição, descarte ou reuso. Ele também destaca que a compreensão do Ciclo de Vida de um produto abrange desde a extração das matérias-primas, manufatura, distribuição, uso e degradação final de seus componentes, sendo fundamental a compreensão dessas etapas pelo *designer*. Corrêa e Souza (2024) definem *Ecodesign* conforme Manzini e Vezzolli (2002), como aquele produto que incorpora aspectos de sustentabilidade em alguma etapa do seu ciclo de vida, seja no âmbito ambiental, social ou econômico, e esse processo deve contemplar desenvolver produtos que, de alguma forma, irão reduzir ou uso dos recursos naturais e minimizar o impacto ambiental no seu ciclo de vida.

Dentro desse contexto, a fabricação digital pode se tornar uma aliada na criação de padrões mais eficientes em todos os aspectos da produção. Um exemplo disso é o *Design Flat Pack*, que já incorpora diversos requisitos de *Ecodesign* ao longo de seu ciclo de vida. Esse método consiste na produção de

objetos a partir de componentes planos, utilizando instruções simples para montagem por encaixes, reduzindo a necessidade de ferramentas e elementos adicionais, como pregos e dobradiças

O princípio de *Design Flat Pack* permite uma abordagem em diversas fases do ciclo de vida do produto. Na fase de obtenção de matéria prima é possível especificar materiais provenientes de fontes renováveis, tais como chapas de compensado, MDF ou madeiras. A possibilidade de montagem e desmontagem das peças com ferramentas simples acarreta uma série de fatores positivos no ciclo de vida do produto desde a fase da distribuição, diminuindo o volume para transporte e embalagem. Já na manufatura há a necessidade de menos ferramentas e componentes do produto, e na fase de uso é possível estimular o reparo e manutenção de partes, enquanto na fase de fim de vida, é possível a sua desmontagem para reciclagem ou descarte adequado. Esses princípios, incorporam práticas de *Ecodesign* e otimização de processos possibilitados pela fabricação digital, podem reduzir o impacto ambiental e promover a criação de soluções inovadoras e criativas para problemas produtivos, como sobras e descartes de matéria-prima.

Na seção a seguir, trataremos os experimentos realizados na empresa COFAB localizada em Campo Grande MS, a qual no período de 2021 a 2023 desenvolveu produtos e móveis usando máquinas CNC *router* e laser. Esse período permitiu não apenas a aplicação prática de conhecimentos teóricos, mas também a exploração de novas possibilidades no campo do *design* e da fabricação de móveis.

2.1 *Open source* para a produção local

Indústrias que integram fabricação digital e métodos contemporâneos tendem cada vez mais a liderar a inovação no setor. Bernado e Cabral (2014) destacam empresas como a *Opendesk*, tendo no Brasil seus produtos comercializados pela *Studio Dlux*, que utiliza uma biblioteca de designs *open source*, permitindo a fabricação local e distribuída, conectando *designers* e produtores globalmente. Segundo Souza (2020), o conceito *open source*, surgido nos anos 1990, promove o uso, modificação e redistribuição colaborativa de códigos e *designs*, fomentando a produção intelectual coletiva. Essa

filosofia foi usada para a produção dos primeiros protótipos deste estudo, e para isso foram analisados projetos de *design flat pack* da *Opendesk*, como a mesa *Studio Desk* e a cadeira *Roxanne Chair*, que possuem o plano de corte (Figuras 1). Os protótipos foram produzidos a partir de planos de cortes modelos 3d disponibilizados pela própria *Opendesk*. Isso possibilitou explorar os ajustes em encaixes, montagem e acabamentos, em *designs* já validados, iniciando a compreensão dos desafios e soluções na fabricação de produtos *Flat pack*.

Figura 1. Plano de corte *design flat pack* da *Opendesk* e execução do autor.



Fonte: autores, 2025.

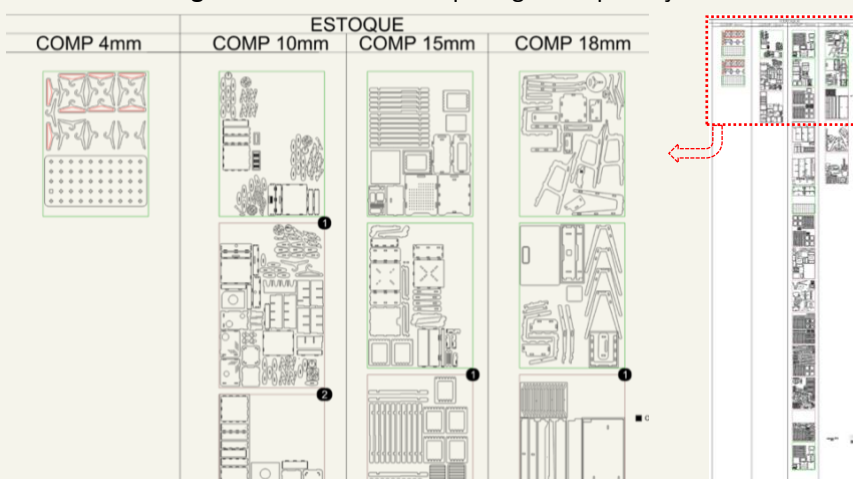
No plano de corte dos mobiliários desenvolvidos pela *Opendesk*, é possível identificar um alto índice de espaços vazios na chapa, devido ao formato mais complexo das peças e suas dimensões. A chapa de compensado utilizada tem uma área total de 3,52 m², sendo 1,2 m² destinados às peças da *Studio Desk* e 0,5 m² para a cadeira *Roxane Chair*. No total, as peças ocupam 1,7 m² de matéria-prima, resultando em sobras de 1,82 m², o que representa um desperdício de 51,7%. Essa análise das sobras é fundamental

para identificar oportunidades de otimização no uso de materiais, como o reposicionamento das peças no plano de corte ou a criação de designs que minimizem o desperdício.

A partir da análise das primeiras produções, que usaram como referência modelos já consolidados, foi possível iniciar a manufatura de peças de *design* autoral para produção.

Na fase de manufatura, foi criada uma biblioteca digital do estoque de matéria-prima no *software Rhinoceros*, centralizando em um único arquivo todas as chapas disponíveis e planos de corte executados (Figura 2). Esse arquivo facilitou a gestão do estoque e otimização dos processos produtivos, fornecendo dados visuais e numéricos, como áreas utilizadas e descartadas.

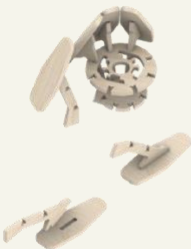
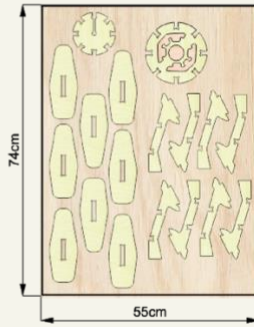
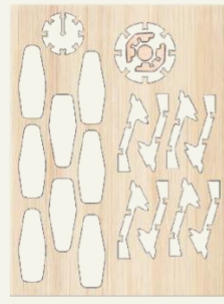
Figura 2. Recorte do estoque digital da produção



Fonte: autores, 2025.

Foram usadas 24 chapas de compensado naval e compensado *amescla*, com espessuras variando entre 4mm e 18mm, para produzir 31 modelos diferentes de móveis de pequeno e médio porte. Os dados gerados incluíram tipos de materiais, áreas utilizadas e descartadas, e planos de corte visualizados no *software Rhinoceros* (Figura 3). O cálculo de desperdício considerou a área total da matéria-prima subtraindo-se a área das peças cortadas, categorizando resíduos como retalhos de placa, fragmentos e pó residual. O exemplo do abajur ilustra essas categorias, destacando o impacto do fresamento e dos encaixes na geração de resíduos.

Figura 3. Abajur: plano de corte e cálculo de retalhos.

Abajur	RP Peças produzidas 0,151m ²	RP Retalho Placa 0,256 m ²	RS Retalho solto 0,005 m ²
			 
Legenda	○ Área Total (AT): 3,52 m²		
Cálculo peças e material	● Área Peças (Pç): Pç - RS 0,156 - 0,005 m ²		
	○ Retalho Total = (AT - Pç) +(RS+PR) = RT RT = (0,407 - 0,151) + (0,005+PR) = 0,256 m²		

Fonte: autores, 2025.

Os retalhos, em placa e fragmentos soltos, são acumulados junto com os resíduos dos outros marceneiros que usam o galpão de produção, sendo necessário em torno de 1 caçamba a cada 2 meses, porém variável conforme a produção mensal. O pó pode ser colhido durante o processo de usinagem por um coletor de pó residual instalado na máquina e enviado junto com a coleta de lixo sólidos da construção civil (Figura 4).

Figura 4. Retalhos acumulados / caçamba de descarte

Fonte: autores, 2025.

Apesar do *design flat pack* possibilitar o *nesting*², suas formas de encaixe irregulares e complexas influenciam na produção de retalhos de difícil reuso. Durante a pesquisa foi buscado o uso de *plugins*, como o *OpenNest*, para auxiliar na ordenação das peças e na automatização do processo de plano de corte. No entanto, devido à complexidade das formas e das linhas de vetores de diferentes rebaixos, cortes, vincos, linhas externas, linhas internas, percursos de vetores, e encaixes, o *software* apresentou limitações no processamento desses dados. Assim, seguindo a lógica da PAD buscou-se, então, saídas mais ágeis para atender a otimizações dos planos de cortes como a ordenação manual das peças.

Na tabela abaixo é possível perceber as potencialidades e desafio na produção de móveis e objetos com a tecnologias de máquinas CNC *router* e laser.

Tabela 01. Potencialidades e desafios na produção

Potencialidades	Desafios
• É possível desenvolver produtos que possam ser fabricados em escala industrial e replicados, desde que se disponha de uma máquina CNC <i>router</i>. A possibilidade do corte de diversas peças em diferentes formatos permite uma significativa agilidade e eficiência comparada a métodos tradicionais de marcenaria. • As matérias primas, compensado e MDF, possuem padronização da espessura e dimensões da chapa. O compensado apresentou uma boa resistência para produção de peças como cadeiras, bancos, mesas, além de resistência à água superior, comparada ao MDF. • A produção por encaixes permite uma padronização de montagem e acabamento das peças, além de agilizar todo o processo de produção.	• A máquina CNC deve ser bem calibrada nos eixos XYZ, com erros inferiores a 1mm para garantir encaixes e acabamentos precisos. • Tecnologias como mesa a vácuo, troca automática de fresas e esquadreamento automático aumentam a eficiência e precisão no corte. • Acabamentos como aplicação de formica, polimento e pintura demandam trabalho manual e ferramentas específicas (furadeiras, lixadeiras, grampos, colas, etc.). • É necessário aprimoramento em técnicas de carpintaria/marcenaria para agilidade e qualidade no processo. • O espaço produtivo deve incluir áreas para armazenamento de matéria-prima, montagem, acabamentos, prototipagem e estoque. • A geração de retalhos é causada por planos de corte complexos, resulta em perdas significativas de material (figura 1).

² Refere-se ao processo geométrico de transformar um volume de forma livre em componentes planos, que são alinhados e ordenados de forma a melhor otimizar o uso de matéria prima e que facilite a sua fabricação, montagem e transporte (Borhani e Kalantar, 2021).

Fonte: Autores, 2025.

O estudo evidenciou que, embora o *design flat pack* aliado à fabricação digital ofereça inúmeras vantagens, como agilidade, precisão e possibilidade de replicação em escala, ainda há desafios significativos a serem superados, especialmente no que diz respeito à geração de retalhos e à otimização do uso de matérias-primas. A próxima etapa da pesquisa se caracteriza nas estratégias usadas para melhorar a eficiência no uso da matéria prima.

3. Resultados e discussão: Estratégias de *design* para planos de corte CNC visando a redução de Resíduos

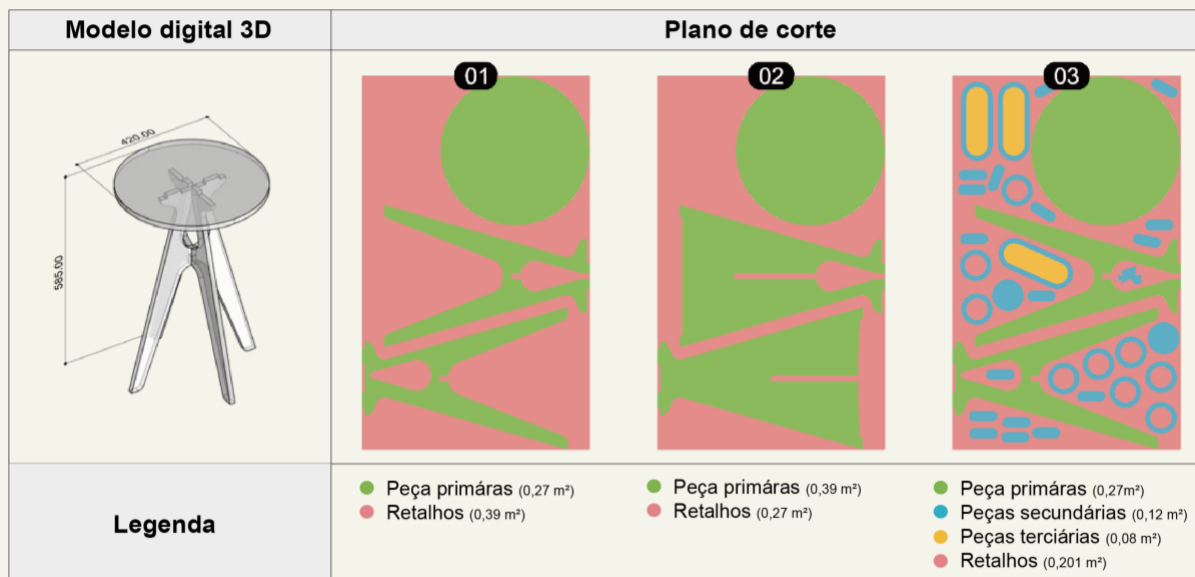
Nesta etapa, são avaliadas estratégias de *design* de produto para otimizar o uso de materiais e reduzir a quantidade de resíduos gerados durante o processo de fabricação. A aplicação da *Autópsia do Produto* (Milton e Rogers, 2017) permitiu avaliar materiais, técnicas e decisões de *design* em protótipos. Essa análise destacou estratégias de *design flat pack* que otimizam transporte e montagem, mas geram até 45% de desperdício devido a formas complexas de encaixe, possibilitando propor melhorias que aumentam a eficiência no uso de materiais. O objetivo é reduzir desperdícios sem comprometer a qualidade, funcionalidade e estética dos móveis produzidos, orientado pelas estratégias de *Ecodesign* de Silva (2021).

3.1 Maximização de ocupação do Plano de Corte

A maximização da ocupação do plano de corte tem como objetivo transformar a maior quantidade possível de material em peças e produtos, reduzindo ao mínimo a geração de retalhos. Essa estratégia pode ser aplicada de três maneiras principais, conforme ilustrado na Figura 5: (01) Corte das peças necessárias para a produção, priorizando a disposição inteligente das peças no layout da chapa; (02) Desenvolvimento de designs que otimizem o espaço disponível, criando formas de peças que ocupem o plano de corte de maneira mais eficiente, evitando formas esbeltas e complexas; e (03) Aumento do número de peças retiradas, produzindo peças menores, como porta-chaves, cabideiros ou caixas, para aproveitar áreas de retalhos que seriam descartadas. Para minimizar os

retalhos gerados, é essencial adotar estratégias como a otimização do design, que permite um melhor aproveitamento da chapa e a criação de peças adicionais que complementem o uso do material.

Figura 5. Mesa de Apoio/Plano de Corte

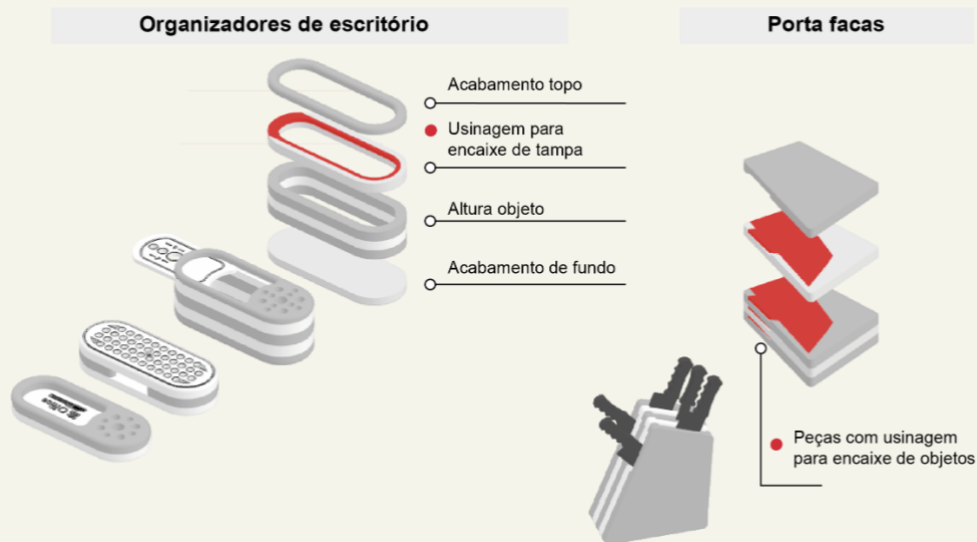


Fonte: Autores, 2025.

As peças foram categorizadas como: Primárias (verde): Essenciais para atender à demanda; Secundárias (azul): Para estoque de produção; Terciárias (amarelo): Projetadas a partir das peças secundárias para novos usos.

Considera-se interessante o uso da modularidade nas peças secundárias, que podem ser organizadas sobrepostas e podem formar diversos utensílios, como caixas, organizadores, objetos como porta facas e entre outros. Essa abordagem utiliza formas simples para aproveitar áreas de sobra nos planos de corte (Figura 06).

Figura 6. Modulação de uma Peça de Sobreposição



Fonte: Autores, 2025.

No exemplo acima (figura 6), é exemplificada a modulação de um organizador de escritórios, um porta facas. Essa estrutura modular oferece flexibilidade de uso, as peças podem possuir detalhes como rebaixos e formatos para se adaptar a diferentes necessidades e garantir o aproveitamento dos retalhos.

3.2 Substituição de Ferragens e Componentes por Peças de Retalhos de MDF

Alinhada à estratégia de desmaterialização (Silva, 2021), os procedimentos testados na pesquisa propõem a substituição de ferragens por peças de MDF cortadas a partir de retalhos. Exemplo: O Banco COFAB (Figura 7) foi produzido sem parafusos ou colagem, utilizando travas centrais e encaixes precisos.

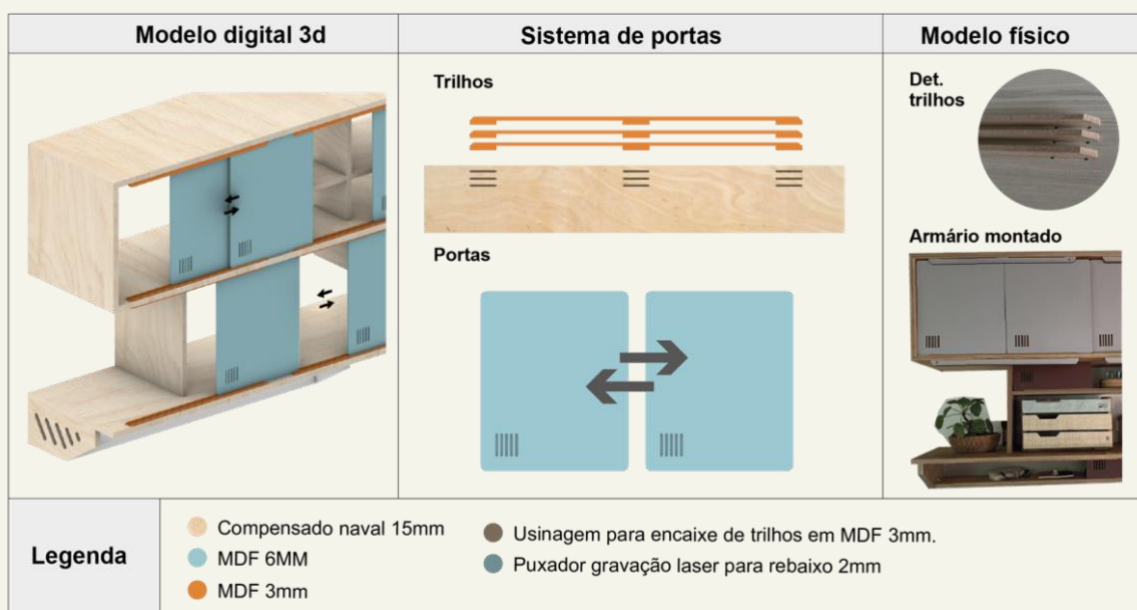
Figura 7. Banco COFAB

Plano de corte e usinagem		Esquema 3d	Modelo físico
			
Legenda - Compensado naval 18mm - Peças Banco 01		Peças de travamento	Produto montado sem ferramentas com acabamento em formica preta

Fonte: Autores, 2025.

Outro exemplo inclui a usinagem de compensado de 15 mm para a criação de encaixes, nos quais são utilizadas peças de MDF de 3 mm como trilhos. Além disso, destaca-se a produção de portas com puxadores integrados, fabricados por meio de gravação a laser. Essa técnica cria um relevo na superfície da peça, permitindo uma área de pega funcional para o movimento da porta, conforme ilustrado na (Figura 8).

Figura 8. Sistema de trilhos em MDF



Fonte: Autores, 2025.

A diretriz proposta promove a desmaterialização, reduzindo a necessidade de componentes externos, como parafusos e colas. Além disso, reforça a sustentabilidade ao reaproveitar resíduos de produção, como retalhos de MDF, na criação de peças funcionais e estruturas modulares. A criação de encaixes funcionais como no caso do banco COFAB, evidencia como a integração de técnicas de usinagem e *design* pode resultar em produtos que dispensam parafusos e colas, ao mesmo tempo em que agregam valor estético e funcional. Além disso, a possibilidade de customização e acabamentos diferenciados, como arredondamento de bordas e aplicação de formica, amplia o potencial competitivo desses produtos no mercado.

3.3 Artefatos Compactos: Criando em Pequena Escala

Para essa estratégia foi explorado o desenvolvimento em pequena escala, para aproveitar os menores retalhos possíveis. Para tal, o uso da tecnologia de *CNC Corte à Laser* torna-se primordial pois

nela conseguimos precisão e cortes em pequena escala. Utilizando tecnologia CNC Corte à Laser, pequenos retalhos e sobras podem ser transformados em jogos como xadrez, dominó e brinquedos infantis. No entanto, o processo de corte e gravação pode exigir limpeza química posterior para melhorar o acabamento das peças. A produção de jogos requer muitas vezes a utilização de cores e elementos nas peças para dar dinâmica as regras da jogatina. Para isso foram criados elementos das peças usando material em fórmica e laminado de pet. Estes materiais de uso comum na marcenaria e seus retalhos, também são pouco explorados. Aqui a ideia foi criar peças menores de 1cm, e os materiais mostraram-se apropriados para esse tipo de acabamento (Figura 9).

Figura 9. Plano de Jogos criados a partir de retalhos em MDF e fórmica 6mm.



Fonte: Autores, 2025

Após a execução dos planos de corte na máquina laser, é necessária uma etapa de limpeza e montagem das peças, garantindo que os componentes sejam organizados e montados para que possam ser comercializados.

Figura 10. Jogos em exposição para venda em feira de artesanato local



Fonte: Autores, 2025.

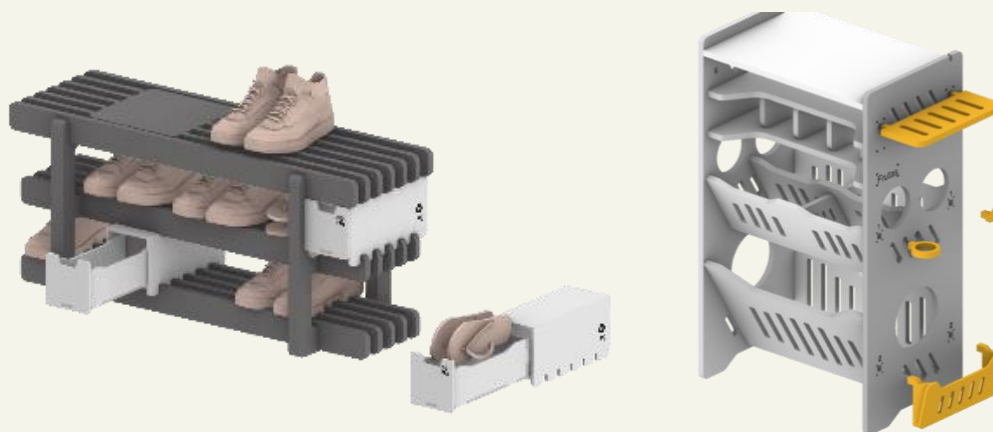
As peças produzidas, como jogos e brinquedos infantis, demonstram potencial para integração em feiras de artesanato local, proporcionando uma alternativa viável para a comercialização de produtos manufaturados. Essa prática não apenas fortalece a economia local, mas também promove a circulação de bens produzidos regionalmente, alinhando-se a princípios de sustentabilidade e valorização de cadeias produtivas de pequena escala.

3.4 Design para Previsibilidade

Segundo Silva (2021), promover uma conexão duradoura entre o usuário e o produto contribui para reduzir a substituição precoce, incentivando um uso mais consciente e prolongado. Essa conexão pode ser desenvolvida por meio de um *design* que estimule o vínculo afetivo com o objeto, aliando a possibilidade de personalização e instruções claras de uso.

A linha de móveis “Parasitas” exemplifica essa abordagem ao expandir a funcionalidade de objetos existentes, projetando peças que podem ser acopladas ou adaptadas a móveis já distribuídos. Dessa forma, é possível agregar novos usos e prolongar a vida útil do produto original, incentivando uma experiência mais integrada e sustentável entre o usuário e o objeto.

Figura 11. Sapateira e fruteira com acessórios.



Fonte: Autores, 2025.

Esta abordagem incorpora a modularidade como princípio essencial, caracterizando-se pela criação de produtos com componentes independentes e intercambiáveis. Tal concepção proporciona flexibilidade, adaptabilidade e possibilidade de expansão conforme demandas dos usuários, permitindo a integração de peças adicionais por meio de conexões padronizadas e interativas.

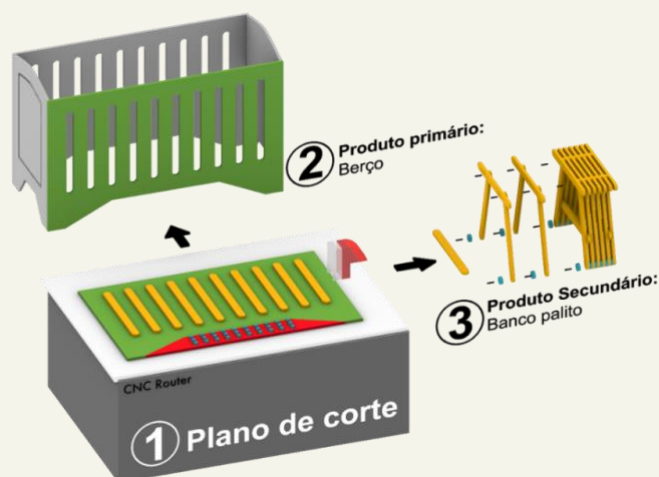
Conforme destaca Silva 2021, a modularidade é um dos conceitos chaves do *Ecodesign*. Ela envolve o desenvolvimento de módulos configuráveis, onde partes sujeitas a desgaste ou obsolescência podem ser facilmente substituídas ou atualizadas. Essa estratégia favorece práticas sustentáveis como manutenção, desmontagem, remanufatura, reuso e reciclagem, ampliando significativamente o ciclo de vida dos produtos.

3.5 Visualizar Função para os Retalhos Padronizados

O aproveitamento dos retalhos padronizados é um aliado na otimização de recursos, e isso se deve porque nessa estratégia conseguimos um alto aproveitamento da matéria prima, que pode já ter o formato ideal para se criar um produto secundário, ou que precise de alguma alteração de usinagem para se transformar em um novo produto. Na Figura 12, é exemplificado como o corte de uma peça lateral de

um berço gera resíduos padronizados, assim como essas peças ordenadas e montadas geram um novo produto, no caso um Banco Palito.

Figura 12. Produção Banco Palito



Fonte: Autores, 2025

Essa abordagem permite, não apenas reduzir o desperdício, mas também criar valor adicional nos planos de corte e na matéria prima considerada retalho, aproveitando ao máximo cada recurso e gerando peças complementares com o mesmo padrão de acabamento.

3.6 O Conceito de Boneca Russa e otimização via *Nesting*

Inspirado na boneca russa (onde bonecas surgem de dentro de outras), o *nesting* otimiza o material criando peças modulares. Essa técnica é ideal para objetos decorativos ou funcionais (Figura 13).

Figura 13. Plano de Corte Caixas Modulares



Fonte: Autores, 2025

Com essa abordagem, torna-se interessante desenvolver peças modulares, onde cada uma se encaixa dentro da outra, otimizando as áreas de corte. Portanto, o projeto da disposição das peças não é um coadjuvante no processo, mas um definidor da performance programada pelo *designer*.

3.7 "Use Conforme seu Entorno".

Esse método baseia-se no uso de materiais além das chapas de corte, para experimentar usar objetos do seu entorno. Sugere-se iniciar observando os recursos locais, como sobras de madeira, chapas de MDF, peças metálicas ou tijolos.

No exemplo da figura abaixo, é criado um *Hack* usando tijolos e sobras de compensado. O processo começa com o dimensionamento das peças no software para criar um encaixe que se ajuste ao tamanho padrão dos tijolos. Após a produção, o mobiliário final pode ser montado com o mínimo de fixação, facilitando a desmontagem e permitindo que as peças sejam reaproveitadas ou rearranjadas em outro ambiente.

Figura 14. Hack com Tijolos



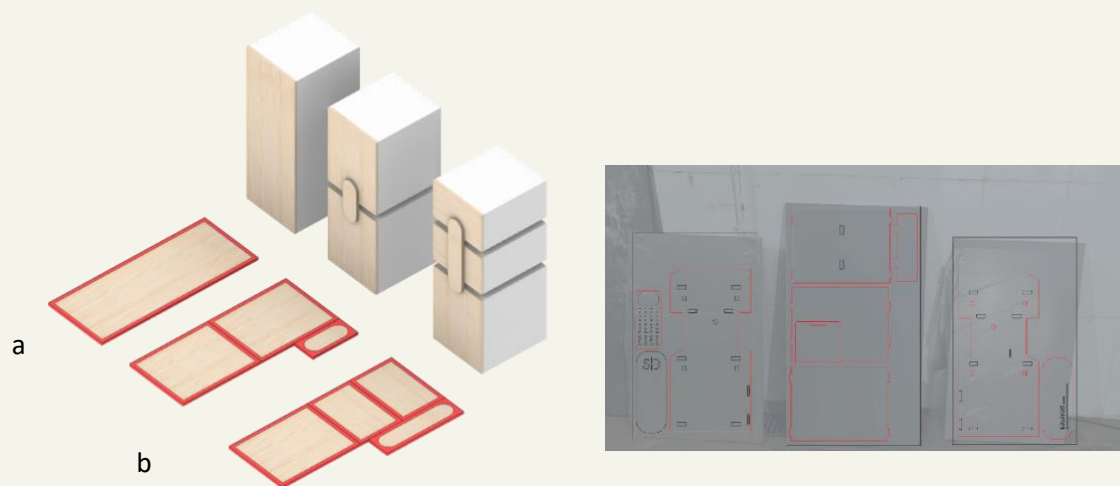
Fonte: Autores, 2025.

Ao integrar esses recursos ao *design*, é possível criar mobiliários e objetos que se adaptam às necessidades do ambiente, promovendo a reutilização de materiais que seriam descartados. Esse enfoque não apenas reduz o desperdício, mas também incentiva a experimentação e a inovação, ao desafiar o designer a pensar além das chapas de corte convencionais.

3.8"Adeque-se ao seu Retalho"

Dividir móveis em seções menores permite o uso de retalhos variados sem comprometer a estabilidade ou estética. Exemplos incluem móveis com laterais seccionadas e suportes laterais para resistência (Figura 15).

Figura 15. Diferentes configurações de um móvel e projeção do corte nos retalhos.



Fonte: Autores, 2025.

a. Formato Completo com Retalhos Grandes: Esta abordagem é ideal quando as peças de retalho possuem dimensões próximas ao tamanho final do móvel. Assim, o retalho pode ser adaptado ou recortado para formar partes inteiras do móvel sem necessidade de seccionar.

b. Seccionamento para Retalhos Menores: Quando os retalhos são menores que a dimensão final das peças, pode-se seccionar o design em partes menores que vão ser montadas com uma peça central para chegar nas dimensões necessárias.

A próxima etapa envolve a programação do plano de corte para cada peça, individualmente ou em conjunto, onde os planos de corte precisam ser projetados e alinhados de acordo com a disposição das peças na mesa da CNC (Figura 16). Esse alinhamento garante precisão na execução e otimiza o uso de material, respeitando as coordenadas e orientações definidas para cada corte.

Figura 16. Plano de Corte adequado aos retalhos e peça produzida



Fonte: Autores, 2025.

Ao adaptar o *design* às dimensões dos retalhos disponíveis, é possível reduzir o desperdício de materiais e promover uma produção mais sustentável. A programação para o uso dos retalhos pode parecer mais complexa, pois o posicionamento dos retalhos na mesa de corte CNC, precisam ser o mesmo definidos na programação para o corte automatizado. Com isso é possível garantir a eficiência no uso dos recursos para a criação de peças como o armário para apoio de ferramentas, conforme ilustrado à direita da Figura 16.

5. Considerações finais

Esta pesquisa destacou a relevância da fabricação digital como uma ferramenta estratégica para otimizar processos produtivos, reduzir desperdícios e promover práticas mais sustentáveis na marcenaria e na produção de objetos de *design*. Entende-se que a integração entre as tecnologias de fabricação digital e princípios de *Ecodesign* auxiliaram no uso com maior eficiência de matéria-prima e dos resíduos gerados.

O artigo buscou destacar a importância de abordar a sustentabilidade não apenas como uma diretriz técnica, mas como um objetivo integral ao processo de *design* e fabricação. A análise dos protótipos revelou que ajustes em projetos *open source* podem potencializar a eficiência de materiais, sugerindo que práticas colaborativas e distribuídas são promissoras para o futuro da produção. As diretrizes também corroboraram o que Correa e Sousa (2024) consideram um importante passo para o

desenvolvimento de projetos e novos produtos-serviços mais sustentáveis, ou seja, a proposta de estabelecer novos cenários que correspondam a estilos de vida sustentáveis. A comercialização das peças também indica que existe uma “economia verde” voltada a produtos sustentáveis, mas seria necessária uma disseminação em massa para que alcance um público cada vez maior.

Portanto, conclui-se que o trabalho contribui com diretrizes que reforçam a relação entre *Ecodesign* e fabricação digital como um caminho viável para a sustentabilidade, oferecendo subsídios para tomadas de decisão mais conscientes no uso de recursos. A relevância dessa abordagem está em sua capacidade de integrar inovação tecnológica e *design* com responsabilidade ambiental e viabilidade econômica, apontando para um futuro em que a produção de *design* possa ser criativa, eficiente e sustentável.

Agradecimentos

Agradecemos a Fundação de Apoio ao Desenvolvimento do Ensino, Ciência e Tecnologia do MS (FUNDECT), a CAPES, a Faculdade de Engenharia Arquitetura e Urbanismo e Geografia (FAENG), o Programa de Pós-Graduação em Eficiência Energética e Sustentabilidade (PPGEES), ao grupo de pesquisa algo+ritmo UFMS e a Universidade Federal de Mato Grosso do Sul (UFMS).

Referências

BARROS, Alexandre Monteiro. **Fabricação digital: Sistematização metodológica para o desenvolvimento de artefatos em ênfase em sustentabilidade ambiental**. Dissertação (Mestrado em *Design*) UFRGS, Porto Alegre, 2011.

BERNADO, Marcus; CABRAL, José; **Fabricação Digital e variedade fora do contexto industrial**. SiGraDi 2014 [Proceedings of the 18th Conference of the Iberoamerican Society of Digital Graphics - ISBN: 978-9974-99-655-7] Uruguay - Montevideo 12 - 14 November 2014, pp. 320-323

BORHANI, Alireza; KALANTAR, Negar; **Nesting Fabrication**. ACADIA 2021: Realignments: Toward Critical Computation [Proceedings of the 41st Annual Conference of the Association of Computer Aided Design

in Architecture (ACADIA) ISBN 979-8-986-08056-7]. Online and Global. 3-6 November 2021. edited by B. Bogosian, K. Dörfler, B. Farahi, J. Garcia del Castillo y López, J. Grant, V. Noel, S. Parascho, and J. Scott. 318-327. Disponível em: <<https://papers.cumincad.org/cgi-bin/works/paper/acadia21_318>>. Acesso: 10 jan. 2025.

CORREA, Silvia; MORAIS DE SOUSA, Cidoval. O *Ecodesign* e sua aproximação ao campo da Ciência, Tecnologia e Sociedade: O Ecodesign e sua aproximação ao campo da Ciência, Tecnologia e Sociedade. **Revista de Design, Tecnologia e Sociedade**, [S. l.], v. 11, n. 2, 2024. Disponível em: <https://periodicos.unb.br/index.php/design-tecnologia-sociedade/article/view/54791>. Acesso em: 27 jan. 2025.

GERSHENFELD, N. **How to Make Almost Anything: The Digital Fabrication Revolution**. 2012. Foreign Affairs v.91. Disponível em: <<<http://cba.mit.edu/docs/papers/12.09.FA.pdf>>> Acesso em 05, abril. 2022.

MANZINI, E.; VEZZOLI, C. **O desenvolvimento de produtos sustentáveis**: os requisitos ambientais dos produtos industriais. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo, 2002

MILTON Alex; RODGERS Paul; **Research Methods for Product Designers**. Londres; Laurence King Publishing LTDA, 2013.

OPENDESK; **Sobre a Opendesk**. Disponível em: <<https://www.opendesk.cc/about>> Acesso: 20 jan. 2025.

SILVA, Julio Cezar Augusto. **Design para sustentabilidade**: um guia para projetar soluções de baixo impacto ambiental. São Paulo: Editora Edgard Blucher Ltda. 2022.