



## FABRICAÇÃO DIGITAL: MODELOS DE PRODUÇÃO E DESIGN PARA OTIMIZAÇÃO DE PLANOS DE CORTE

### DIGITAL MANUFACTURING: PRODUCTION AND DESIGN MODELS FOR OPTIMIZING CUTTING PLANS

MAGALHÃES, Paulo Ricardo Domingos<sup>1</sup>,  
ALVES, Gilfranco<sup>2</sup>,

#### Resumo

O artigo examina o uso das tecnologias de fabricação digital na produção local, tendo como estudo de caso a empresa Cofab, estabelecida em 2020. A empresa adota dois modelos de produção distintos: desenvolvimento de uma linha de produtos *flat pack* e serviços de corte e usinagem sob demanda. O objetivo é investigar essas abordagens, buscando estratégias para otimizar o uso de matéria-prima na fabricação subtrativa. Foram analisados a matéria-prima utilizada e o resíduo gerado em sete meses de produção *flat pack*, resultando na criação de peças a partir dos retalhos com propósitos de estabelecer uma produção responsável (ODS 12). A metodologia inclui a análise dos modelos de produção por fabricação digital segundo Barros (2014), Gershenfeld (2016), Bernado e Cabral (2016), e para auxílio do experimento é usado a pesquisa em *design* de produto conforme proposto por Milton e Rogers (2013)

**Palavras-chave:** fabricação digital, modelos de produção, *design flat pack*, otimização, estratégias de produção.

#### Abstract

This paper examines the use of digital manufacturing technologies in local production, using the case study of the company Cofab, established in 2020. The company adopts two distinct production models: development of a flat pack product line and on-demand cutting and machining services. The objective is to investigate these approaches, seeking strategies to optimize the use of raw materials in subtractive manufacturing. The raw materials used and the waste generated in seven months of flat pack production were analyzed, resulting in the creation of parts from the scraps with the purpose of establishing responsible production (ODS 12). The methodology includes the analysis of production models by digital manufacturing according to Barros (2014), Gershenfeld (2016), Bernado and Cabral (2016), and the research in product design as proposed by Milton and Rogers (2013)

**Keywords:** Digital manufacturing, local production, flat pack design, optimization, production strategies.

---

<sup>1</sup> Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, ORCID: 0009-0005-4336-6031, paulo.domingos@ufms.br

<sup>2</sup> Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, ORCID: 0000-0002-7288-5173, gilfranco.alves@ufms.br

## 1 Introdução

A fabricação digital não só aprimora o controle dos processos de produção, como também transforma significativamente como as indústrias operam. Borges (2016) argumenta que, com a instalação de máquinas CNC (máquinas de controle numérico) no canteiro de obras elimina-se a necessidade de intermediários entre o projeto de arquitetura e a produção.

Como resultado, observa-se uma maior proximidade entre o projetista e o processo de fabricação. Segundo Barros (2014), a fabricação digital abre espaço para pequenas indústrias competirem com o modelo convencional baseado na produção em massa, economias de escala e distribuição globalizada, estabelecendo novos padrões de produto e consumo.

As tecnologias já consolidadas vêm se tornando mais acessíveis para médios e pequenos produtores, para grupos de pesquisas acadêmicos e, em alguns casos, para consumidores em geral, permitindo investigar sua aplicação em novos modelos de produção de artefatos físicos (Barros, 2014, p. 62).

A abertura para novos padrões de consumo, apesar de positiva, expõe algumas limitações como a compreensão ainda superficial das tecnologias por parte dos *designers* e pequenos produtores e estabelecimento de padrões de produção. Gershenfeld (2016) argumenta sobre a necessidade de uma alfabetização para a fabricação digital, pois o processo requer uma variedade de novas competências, como o uso de *software* CAD e CAM, familiaridade com *hardware* aditivo e subtrativo, e o conhecimento das propriedades dos materiais. Além disso, exige habilidades como *design thinking*<sup>1</sup>, criatividade, colaboração, solução de problemas e resiliência, e por fim é necessário integrar esses conhecimentos e habilidades de forma eficaz, o que ainda é um desafio, dada a diversidade de disciplinas e domínios envolvidos.

É usado como estudo de caso a empresa *Cofab*, com sede em Campo Grande MS, e que iniciou suas operações em 2020. A empresa participou do edital FUNDECT/MCTI, o CENTELHA MS 1 (2019-2021), como empresa de inovação tecnológica, devido a aplicação da fabricação digital para desenvolvimento de mobiliários de pequeno e médio porte, e serviços de corte e usinagem utilizando uma ampla gama de materiais.

Este estudo investiga, portanto, a partir de conhecimentos práticos e teóricos, a promoção de novas abordagens de projeto e processos de *design* mais sustentáveis a partir do uso da fabricação digital, além de expor algumas das estratégias adotadas pela empresa *Cofab* com foco nas aplicações de técnicas de *design* para tecnologia subtrativa,

---

<sup>1</sup> O *design thinking* é fundamentado em princípios essenciais, incluindo empatia, experimentação e prototipação, que visam entender as necessidades dos usuários, gerar ideias criativas e testar soluções. Esse processo é realizado em quatro fases: imersão, ideação, prototipação e realização. SEBRAE (2022).

de modo a enfrentar desafios relacionados à gestão de resíduos e ao aproveitamento mais eficiente de matéria-prima.

## 2 Por uma metodologia baseada em modelos de produção + fabricação digital

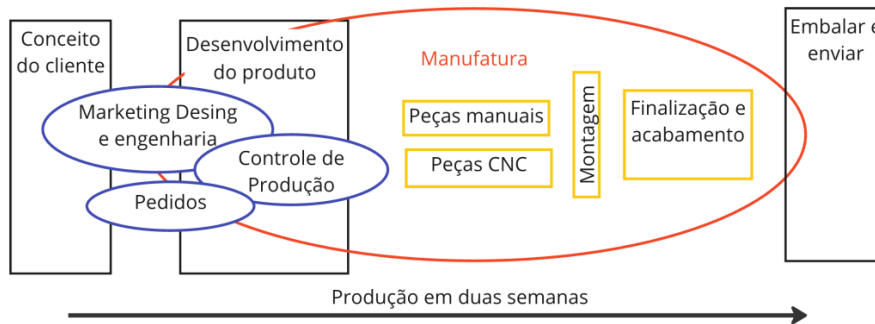
Barros (2014) observa um panorama global na produção de mobiliário, sendo ele dominado por grandes indústrias especializadas com produtos padronizados, linha de produção rígida e produção em grande escala. Enquanto ao longo do século XX, a produção artesanal perdeu espaço para as grandes indústrias devido à dificuldade de competir em termos de economia de escala, Mitchell e Watt (2009) sugerem uma mudança nesse cenário, com a ascensão de modelos de produção mais flexíveis e adaptados às demandas individuais dos consumidores. Esses novos modelos surgem como resposta aplicação de novas tecnologias e às deficiências das produções em larga escala, que enfrentam desafios como falta de flexibilidade, excesso de estoque e impactos ambientais. Nesse contexto, a fabricação digital, se torna uma ótima aliada devido a aproximação entre o projetista e o processo de produção, podendo estabelecer soluções mais eficiente, permitindo uma resposta mais ágil e customizada às necessidades dos consumidores e de problemas ambientais.

As indústrias que integram fabricação digital com *softwares* avançados de *design* e métodos contemporâneos de produção, estão na linha de frente da inovação. Bernado e Cabral (2014) apontam o exemplo de empresas de produção aberta e compartilhada que estão crescendo no mundo, como por exemplo, a *Opendesk*, empresa americana que opera uma plataforma com uma biblioteca de *designs* de móveis, permitindo que sejam fabricados em diferentes locais ao redor do mundo, conectando *designers*, produtores e consumidores.

Contrapondo-se à produção industrial os movimentos de desenvolvimento e compartilhamento online de *open hardware*, como o *Open Source Ecology*, *Wikihouse*, *Thingiverse*, *Yeggi*, *Instructables*, *SketchChair*, *Open Desk*, entre tantos outros, aliados a espaços de produção com- partilhada, como os *FabLabs*, *Tool Libraries*, *Free Farms*, *Comunity Workshops*, estão crescendo no mundo todo e trazem a promessa de uma nova revolução industrial descentralizada. (Bernado e Cabral, 2014, p. 320).

Mitchell e Watt (2009) caracterizam uma manufatura contemporânea quando esta possui uma linha de produção curta, redução de etapas da manufatura, customização rápida, equipe empoderada e que utiliza *softwares* de *design*. Para um modelo de produção customizado e eficiente, eles sugerem uma organização da manufatura conforme a figura abaixo (figura 1).

**Figura 1 - Modelo de produção customizada e eficiente**

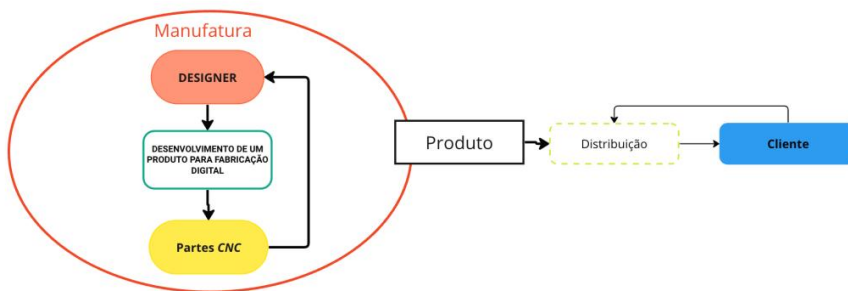


Fonte: Mitchell P; Watt H 2009. Tradução autores.

Com base no diagrama de Mitchell e Watt (2009) e no recorte de experiência prática da empresa Cofab, foi possível compreender dois modelos distintos da aplicação da fabricação digital na produção local.

Ao primeiro modelo, sugere-se a denominação de Modelo Fechado de Produção (MFP), no qual o *designer* faz parte do processo de manufatura e concentra-se no desenvolvimento do equilíbrio ideal entre concepção e produção de um produto. Isso é obtido através da integração de estratégias de *design* nos processos de fabricação digital, que envolvem prototipagem e análise de modelos digitais. O objetivo é criar produtos mais eficientes e sustentáveis para distribuição no mercado (Figura 2).

**Figura 2 - Diagrama Modelo Fechado de Produção (MFP)**

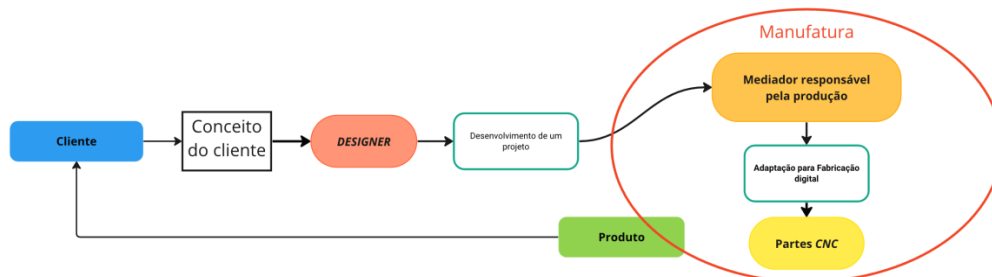


Fonte: autores 2024

Nesse modelo de produção a incorporação da fabricação digital no processo de *design* abre um campo de experimentação, que com as técnicas certas pode proporcionar um ambiente ideal para produção, com objetivo de desenvolver uma linha de produto que forneça materiais padronizados, com apoio de modelos digitais e padrões de produção focados na sustentabilidade.

O segundo modelo se diferencia pela abertura da fabricação digital para uma ampla gama de usuários e novos *designers*, como, marceneiros, arquitetos, engenheiros, organizadores de eventos, gráficas, *makers*, entre outros, desenvolverem seus produtos e projetos de forma customizada. A esse processo, propõe-se chamar de Modelo Segmentado de Produção (MSP) (Figura 3).

Figura 3 – Diagrama Modelo Segmentado de Produção (MSP)



Fonte: autores 2024

O MSP se diferencia pelo fato de o desenvolvimento do projeto acontecer fora da manufatura, seja por amadores, ou até projetistas com menos experiência em fabricação digital. Nesse modelo, geralmente não são contemplados durante o processo de projeto as melhores técnicas, materiais, formatos e especificações de projeto para uso de ferramentas de controle numéricos (CNCs). Ao receber o projeto desenvolvido fora da manufatura, é necessário um mediador para adaptação do projeto para fabricação digital e desenvolvimento do produto. Esse modelo, também abrange uma ampla variedade de materiais, como no exemplo a seguir: uma marcenaria pode solicitar cortes de MDFs, enquanto uma gráfica pode necessitar de cortes de PVC expandidos, e uma produtora de eventos pode utilizar acrílico. Essa diversidade de demandas resulta em uma maior complexidade na gestão dos retalhos gerados pela equipe de manufatura.

Ambos os processos de produção enfrentam o desafio do aproveitamento de retalhos, porém, o MFP se destaca pela sua capacidade de controle dos impactos. Isso se deve à integração do *designer* desde a concepção ao processo de produção, permitindo a seleção dos melhores materiais, *designs* e processos para aprimorar e otimizar a produção.

Para o estudo de caso, foi investigado a partir do MFP, como estabelecer técnicas de *design* e ferramentas necessárias para aprimorar o processo de projeto. Tal metodologia pode oferecer ao *designer* a oportunidade de compreender e influenciar diretamente o processo de produção, visando a criação de produtos com melhor desempenho econômico e ambiental.

Portanto, buscou-se desenvolver soluções eficientes para a reutilização de retalhos, integrando as experiências práticas de uma indústria local e a teoria de *Design* de Produto

(Milton, Rodgers 2013). Para os autores a pesquisa em *design* se difere da pesquisa científica ao se concentrar no que deveria existir, utilizando imagens, modelos físicos e protótipos para criar e evoluir soluções. Enquanto a pesquisa científica busca verdades universais, a Pesquisa em *Design* busca melhorar o mundo através de propostas adequadas, auxiliando no desenvolvimento de novos produtos, avaliação do ciclo de vida, desde a sua concepção até o descarte, possibilitando compreender possíveis impactos e permitindo esforços de melhoria direcionados.

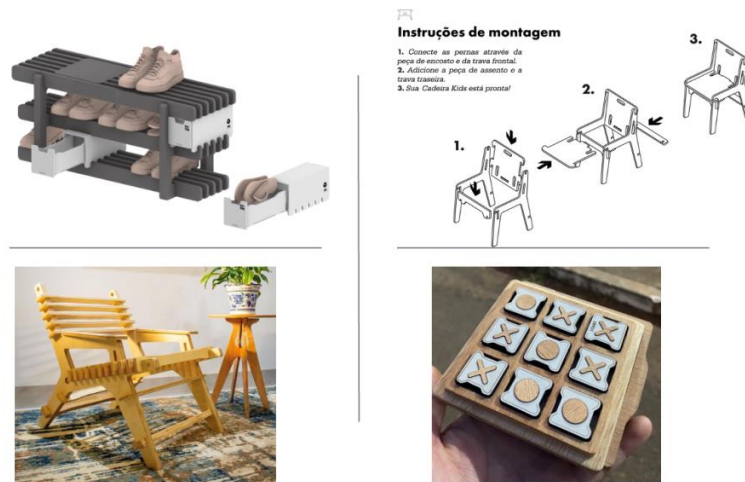
### 3 Desenvolvimento do trabalho: estudo de caso

Durante os meses de março a outubro de 2021, o pesquisador atuou como bolsista na modalidade Fixação e Capacitação de Recursos Humanos - Fundos Setoriais – SET da FUNDECT MS. Durante esse período, o bolsista desenvolveu na empresa Cofab uma linha de produção que combinava técnicas de manufatura com fabricação digital, visando o desenvolvimento de móveis de pequeno e médio porte.

No decorrer do período de bolsista, foi executado a usinagem e CNC *Router* de 24 chapas de compensado naval e compensado amescla, com espessuras variando entre 4mm à 18mm, para produzir 31 modelos diferentes de móveis de pequeno e médio porte.

Como princípio de projeto, foi adotado o design flat pack, também conhecido como produtos de embalagem plana ou móveis de kit. Esses produtos são projetados a partir de componentes planos que se encaixam, possibilitando uma montagem fácil seguindo instruções simples (figura 4). O processo de produção utiliza a técnica de "nesting", que, segundo Borhani e Kalantar (2021), 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. Os modelos de produtos desenvolvidos foram desde pequenos jogos de madeira, a abajures, poltronas, mesas, armários, entre outros. (figura 4).

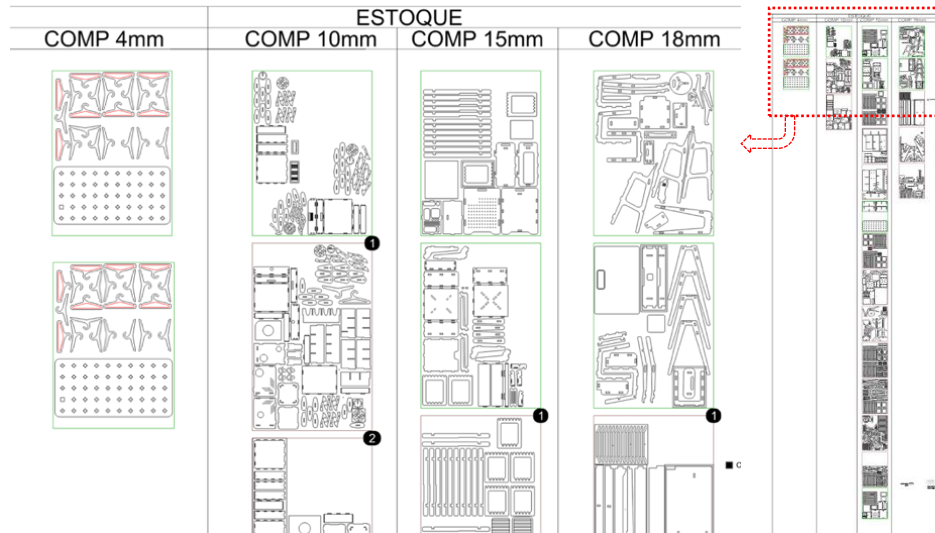
Figura 4 – Alguns modelos produzidos / Design Flatpack



Fonte: autores, 2024

Para compreender visualmente os impactos gerados nesses processos de produção foi desenvolvida uma biblioteca digital desse material no *software de modelagem digital Rhinoceros*. A partir deste procedimento, foi possível gerar dados visuais e numéricos dos tipos de materiais usados, valores em área das chapas utilizadas e descartadas, e visualização dos planos de cortes dos produtos desenvolvidos nesse período (figura 5).

Figura 5 - Recorte do estoque digital da produção



Fonte: autores, 2024

Ao examinar os planos de corte, a fabricação digital se torna essencial para a melhoria dos processos de manufatura, fornecendo informações precisas sobre o uso de matéria-prima e os resíduos gerados. Apesar do design *flat pack* possibilitar o *nesting*, suas formas de encaixe irregulares e complexas influenciam na produção de retalhos de difícil reuso. O *software Rhinoceros* e seus diversos *plug-ins*, como o *OpenNest*, auxiliam 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, como linhas externas, rebaixas e encaixes, o *software* apresentou limitações no processamento desses dados. E seguindo a lógica da Pesquisa em *Design* e a necessidade de soluções instantâneas aos retalhos gerados, buscou-se saídas para atender a otimizações dos planos de cortes como a ordenação manual das peças. Na tabela abaixo foi possível quantificar uma eficiência próxima de 55% das chapas totais usadas nesse período (Figura 6).

Figura 6 – Tabela de matéria prima utilizada.

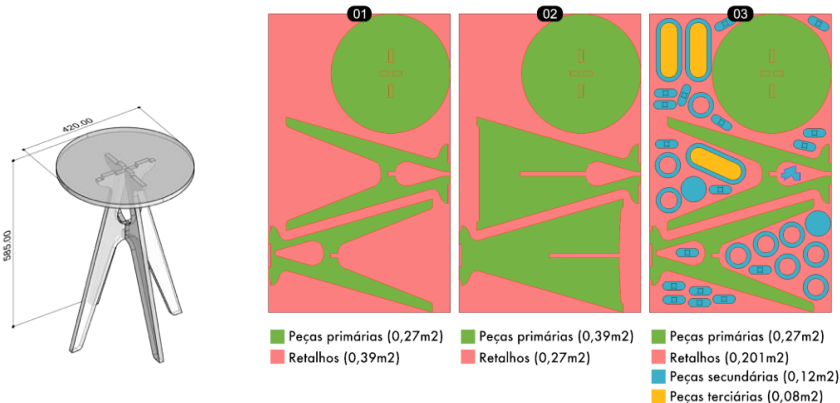
Compensados								
Espessura (mm)	4mm	10mm	10mm	15mm	15mm	18mm	18mm	Total
Tipo	Amescla	Amescla	Naval	Amescla	Naval	Amescla	Naval	
Total chapas usadas	2	1	2	4	10	2	3	24
Área unitário	3,52	3,52	4	3,52	4	3,52	3,52	
Área Matéria prima total	7,04	3,52	8	14,08	40	7,04	10,56	90,24
Produtos	2	6		18		5		31
Área usada	4,0568	1,0839	5,3152	8,51	22,3927	3,17	5,43	49,9586
Retalhos (M²)	2,9832	2,4361	2,6848	5,57	17,6073	3,87	5,13	40,2814
Porcentagem Retalhos (%)	42%	69%	34%	40%	44%	55%	49%	<b>45%</b>
Eficiência da chapa (%)	58%	31%	66%	60%	56%	45%	51%	<b>55%</b>

Fonte: autores, 2024

A análise dos dados na tabela é essencial para compreender e estabelecer novas abordagens nos processos e produtos desenvolvidos na linha de produção. Isso se alinha ao conceito de *design* interativo proposto por Milton e Rodgers (2013).

Propõe-se como exemplo o plano de corte de uma pequena mesa de apoio, com modelagem desenvolvida no *Rhinoceros* (figura 7). O plano de corte faz o uso de uma área de 0,67m<sup>2</sup> de compensado 15mm, e para montagem do mobiliário é necessário a produção de 3 peças que somadas ocupam 0,27m<sup>2</sup> da matéria prima, gerando aproximadamente 60% de resíduos (Figura 7-01). Para minimizar os retalhos podem ser tomadas algumas estratégias como: desenvolver um produto que faça um uso racional do material, sem comprometer sua funcionalidade e estética (Figura 7-02); desenvolver peças adicionais de produtos de escala menor e que possam ocupar espaços vagos do plano de corte (Figura 7-03).

Figura 7: Mesa de Apoio/ plano de corte



Fonte: Autores, 2024

No item 03 da figura acima, são definidas peças primárias representadas em verde, essenciais para atender à demanda, e as peças secundárias adicionais foram representadas em azul, e cortadas para otimizar o aproveitamento da matéria-prima, podendo ser armazenadas como estoque de produção. Nesse caso seria possível até a geração de peças terciárias, representadas em amarelo. Sugere-se que as peças secundárias e terciárias, devam fazer parte de um banco de dados de planos de cortes otimizados para serem utilizadas sempre que houver alguma possibilidade. Nesse exemplo além da mesa como peça primária, foi possível produzir peças adicionais para mais 3 produtos, sendo eles: porta chaves, cabideiro de parede e caixa em madeira (figura 8).

**Figura 8** - porta chaves, cabideiro de parede e caixa em madeira.

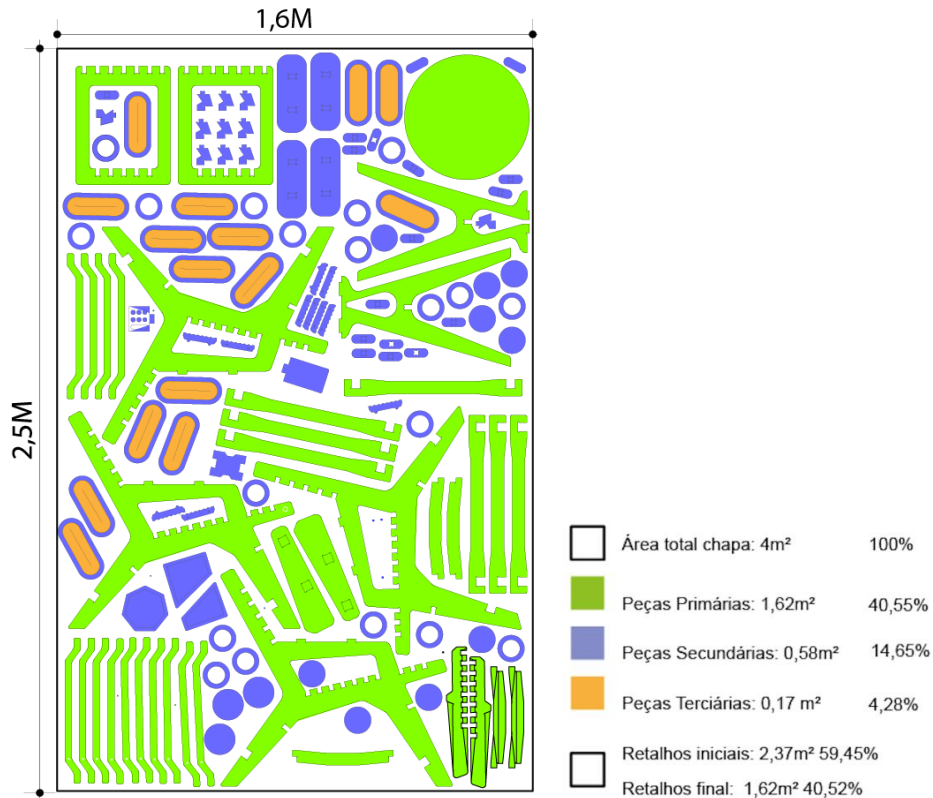


Fonte: Autores, 2024.

Nesse caso apresentado as peças terciárias foram projetadas e produzidas a partir das peças secundárias, que procuram possuir formas simples e que podem ser cortadas gerando um estoque até a montagem.

O processo de produção foi fundamental para reavaliar a abordagem de *design*, com foco na melhoria dos impactos ambientais dos produtos. Um exemplo dessa melhoria é a implementação de um plano de corte que aproveita ao máximo a matéria-prima disponível (figura 9).

Figura 9 - Plano de corte otimizado



Fonte: autores 2024

Ao otimizar o plano de corte da chapa de compensado acima, as peças primárias foram designadas para três produtos distintos sendo eles: partes de uma poltrona, uma sapateira e uma mesa de centro. Essas peças juntas representam 40,55% da matéria-prima total da chapa de compensado. A inclusão das peças secundárias e terciárias adicionou componentes para os mesmos produtos exemplificados anteriormente, a saber: cabideiro, caixas de madeira e porta-chaves. Essa adição resultou na utilização adicional de 18,93% da chapa, resultando na diminuição de 2,37m<sup>2</sup> para 1,61m<sup>2</sup> de retalhos gerados. Além disso, essa abordagem possibilitou a ampliação da variedade de produtos disponíveis.

Porém, como contrapartida o tempo de produção de um plano de corte com peças que aproveitem seus retalhos ocasiona um aumento significativo no tempo de máquina em execução do plano de corte, no manuseio de mais peças na manufatura e na necessidade de controle de estoque. No entanto, ao destinar os resíduos de forma mais eficiente, há uma redução de custos associados à solução dos retalhos, além de gerar mais produtos para venda e aumentar a receita. Essa compensação entre os benefícios ambientais e os desafios operacionais precisa ser cuidadosamente avaliada para garantir um equilíbrio

entre eficiência, sustentabilidade e ações estratégicas para um bom desempenho financeiro da empresa.

#### 4 Conclusão

O artigo procurou destacar, como a partir de um Modelo Fechado de produção (MFP), é possível integrar estratégias para controlar os impactos da produção, enquanto o Modelo Segmentado de Produção (MSP) enfrenta desafios de gestão, devido à diversidade de demandas. A pesquisa de mestrado que originou o artigo, visa aprimorar ambos os processos, permitindo aos *designers* influenciar a produção para criar produtos mais eficientes e sustentáveis. As soluções para reutilização de retalhos são desenvolvidas com base na Teoria de *Design* de Produto focando em soluções plausíveis e adequadas. Além disso, as práticas desenvolvidas nesse período estão alinhadas com o ODS 12 da ONU (2024), que promove o consumo e a produção sustentáveis. Nesse contexto, é possível integrar as informações geradas pelos planos de corte ao ciclo de relatórios das empresas, facilitando a adoção de práticas mais sustentáveis na gestão de materiais e resíduos.

A metodologia proposta consistiu na análise dos dados gerados nos planos de cortes, tanto para controlar o que é produzido e descartado quanto para repensar a abordagem de solução de problemas, como a gestão de resíduos. Além disso, foi possível criar peças de formas simples, que são comercialmente viáveis utilizando retalhos e otimizando a matéria-prima, com o objetivo de promover a sustentabilidade e impulsionar a economia local, destacando-se a redução do impacto ambiental.

Por fim pretende-se ainda, que a pesquisa produzida e recordada nesse artigo possa gerar diretrizes para utilização de outros profissionais envolvidos em processo da mesma natureza. Para prosseguimento da pesquisa de mestrado será levada em consideração a otimização e a automação do processo de *nesting* por meio do *grasshopper*.

#### 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**. Porto Alegre, 2011.

BARROS, Alexandre Monteiro; SILVEIRA, Natália Schmitt. **A fábrica mínima: tecnologias digitais para a produção local e customizada de artefatos físicos**. p. 1947-1958. In: Anais do 11º Congresso Brasileiro de Pesquisa e Desenvolvimento em *Design* Blucher *Design Proceedings*, v. 1, n. 4]. São Paulo: Blucher, 2014. ISSN 2318-6968, DOI 10.5151/designpro-ped-00201.

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

BORGES, Marina; **Fabricação digital no Brasil e as possibilidades de mudança de paradigma no setor da construção civil**. Tecnologia da Informação e Comunicação no Ambiente Construído. 2016. DOI: <https://doi.org/10.1590/s1678-86212016000400106>.

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](https://papers.cumincad.org/cgi-bin/works/paper/acadia21_318)>>. Acesso em 18 agosto 2024.

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 de abril de 2022.

MITCHELL, Phil; WATT, Harry; **Strategies for the New American Furniture Industry**. 2009. North Carolina State University. Raleigh, North Carolina. Disponível em <<https://content.ces.ncsu.edu/strategies-for-the-new-american-furniture-industry>> Acesso 05 abril de 2024.

MILTON Alex; RODGERS Paul; **Research Methods for Product Designers**. 2013.

OPENDESK; **Sobre a Opendesk**. Disponível em: <<https://www.opendesk.cc/about>> Acesso 25 agosto de 2024.

ONU; ODS 12. **Consumo e produção responsáveis; Garantir padrões de consumo e de produção sustentáveis**. Disponível em: << <https://brasil.un.org/pt-br/sdgs/12>>> Acesso 25 agosto de 2024.

SEBRAE; **Entenda o conceito de design thinking e como aplicá-lo aos negócios**. Disponível em <<<https://sebrae.com.br/sites/PortalSebrae/artigos/design-thinking-inovacao-pela-criacao-de-valor-para-o-cliente,c06e9889ce11a410VgnVCM1000003b74010aRCRD>>> Acesso 20 de abril de 2024.