

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

NÁDYA ZANIN MUZULON

UM ESTUDO SOBRE PROBLEMA DE CORTE BIDIMENSIONAL APLICADO A  
UMA PEQUENA INDÚSTRIA MOVELEIRA NA REGIÃO NORTE DO PARANÁ

JANDAIA DO SUL

2019

NÁDYA ZANIN MUZULON

UM ESTUDO SOBRE PROBLEMA DE CORTE BIDIMENSIONAL APLICADO A  
UMA PEQUENA INDÚSTRIA MOVELEIRA NA REGIÃO NORTE DO PARANÁ

Monografia como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel em Engenharia, no curso de graduação em Engenharia de Produção, da Universidade Federal do Paraná.

Orientadora: Prof. Dra. Juliana Verga Shirabayashi.  
Coorientador: Prof. Dr. Jair da Silva.

JANDAIA DO SUL

2019

M994e Muzulon, Nádyá Zanin  
Um estudo sobre problema de corte bidimensional aplicado a uma  
pequena indústria moveleira na região norte do Paraná. / Nádyá Zanin  
Muzulon. – Jandaia do Sul, 2019.  
46 f.

Orientadora: Profa. Dra. Juliana Verga Shirabayashi  
Coorientador: Prof. Dr. Jair da Silva  
Trabalho de Conclusão do Curso (graduação) – Universidade Federal do  
Paraná. Campus Jandaia do Sul. Graduação em Engenharia de Produção.

1. Corte bidimensional. 2. Otimização. 3. Indústria moveleira. I.  
Shirabayashi, Juliana Verga. II. Silva, Jair da. III. Título. IV. Universidade  
Federal do Paraná.

CDD: 658.5



## UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

**PARECER Nº** NADYA/2019/UFPR/R/JA/CCEP  
**PROCESSO Nº** 23075.079917/2019-87  
**INTERESSADO:** NADYA ZANIN MUZULON

## TERMO DE APROVAÇÃO DE TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO.

Título: UM ESTUDO SOBRE PROBLEMA DE CORTE BIDIMENSIONAL APLICADO A UMA PEQUENA INDÚSTRIA MOVELEIRA NA REGIÃO NORTE DO PARANÁ.

Autor(a): Nádyá Zanin Muzulon

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado como requisito parcial para a obtenção do grau no curso de Engenharia de Produção, aprovado pela seguinte banca examinadora.

Juliana Verga Shirabayashi (orientadora)

Jair da Silva (co-orientador)

Bruno Luís Honigmann Cereser

Marco Aurélio Reis dos Santos



Documento assinado eletronicamente por **JULIANA VERGA SHIRABAYASHI, PROFESSOR DO MAGISTERIO SUPERIOR**, em 03/12/2019, às 11:22, conforme art. 1º, III, "b", da Lei 11.419/2006.



Documento assinado eletronicamente por **MARCO AURELIO REIS DOS SANTOS, PROFESSOR DO MAGISTERIO SUPERIOR**, em 03/12/2019, às 11:33, conforme art. 1º, III, "b", da Lei 11.419/2006.



Documento assinado eletronicamente por **JAIR DA SILVA, PROFESSOR DO MAGISTERIO SUPERIOR**, em 05/12/2019, às 11:59, conforme art. 1º, III, "b", da Lei 11.419/2006.



Documento assinado eletronicamente por **BRUNO LUIS HONIGMANN CERESER, PROFESSOR DO MAGISTERIO SUPERIOR**, em 05/12/2019, às 14:19, conforme art. 1º, III, "b", da Lei 11.419/2006.



A autenticidade do documento pode ser conferida [aqui](#) informando o código verificador **2351796** e o código CRC **A6982B04**.

Dedico este trabalho a Deus que me sustenta todos os dias, aos meus pais, que incentivaram incondicionalmente essa formação, aos demais familiares e amigos pela torcida e aos mestres e doutores que contribuirão para o enriquecimento dessa educação.

## **AGRADECIMENTOS**

Não podia começar este agradecimento sem antes louvar a Deus, pelas promessas cumpridas nesses cinco anos de graduação e pela benção de chegar até este momento tão importante de minha vida. Agradeço imensamente meus pais por todo apoio durante esses anos, pelo amor e carinho incondicional, pela confiança que depositaram em mim, pelo apoio irrestrito nessa busca por uma boa educação e formação. Sou grata a minha irmã e meu namorado, que sempre estiveram dispostos a me auxiliar em momentos de dificuldades e estiveram na torcida junto com meus amigos para que este dia chegasse. Agradeço a todos que participaram dessa fase, pela compreensão nos momentos difíceis e por me incentivarem a sempre seguir em frente em busca desse sonho.

Sou grata a Pascotto Ambientes Planejados pelo apoio nesse estudo e por toda troca de conhecimento e informações que foram essenciais para o sucesso da pesquisa.

Por fim, e de suma importância, agradeço aos mestres e doutores que participaram e contribuíram para minha formação, e de maneira especial a minha orientadora, obrigada pelos ensinamentos, pela troca de sabedoria, pelas lições, pela dedicação de cada um, de modo a enriquecer essa formação.

“Há uma força motriz mais poderosa que o vapor, a eletricidade e a energia atômica: a vontade.”

Albert Einstein

## RESUMO

Este estudo tem por objetivo propor soluções para o problema de corte bidimensional das placas de *Medium Density Fiberboard* (MDF) de uma indústria moveleira, de modo a construir padrões de corte que minimizem a perda de materiais e consequentemente custos, com auxílio de heurísticas. Diante disso, foi iniciado um estudo de caso em uma empresa de móveis da região norte do Paraná. Tal estudo foi dividido em várias etapas, a saber: pesquisa bibliográfica; definição do problema; coleta de dados na empresa; metodologia de solução; testes computacionais; análise e melhoria das soluções obtidas. O problema foi modelado como um problema de corte bidimensional e as soluções foram obtidas por uma simulação, com auxílio do algoritmo *Hybrid First Fit* (HFF) e do software *SketchCut Lite*. Para testar o desempenho do método foram escolhidos dois móveis, um armário de banheiro interino na cor branca (BRTX) e o outro sendo um balcão na cor *Mezo Castani* e branco (BRTX), para ambos móveis, foram obtidos padrões de corte satisfatórios em relação ao praticado de forma empírica pela empresa. Para o armário de banheiro e o balcão em parte Mezo Castani, os padrões com melhor desempenho foram o HFF orientado por comprimento. Para o balcão na parte em BRTX o melhor padrão foi o HFF orientado por largura rotacionado. Com o auxílio do SketchCut Lite também foi possível obter um resultado gráfico desses padrões, facilitando a visualização dos itens na etapa de corte e economizando tempo. Além disso a abordagem do algoritmo FFDH, orientado nas duas direções, largura e altura foi de extrema importância para exploração de melhores resultados.

Palavras-chave: Corte bidimensional. Otimização. Indústria moveleira.

## **ABSTRACT**

This study aims to propose solutions to the two dimensional cutting problem of Medium Density Fiberboard (MDF) boards of a furniture industry, in order to build cutting patterns that minimize material loss and consequently costs, with the aid of heuristics. Therefore, a case study was started in a furniture company in northern Paraná. This study was divided into several stages, namely: bibliographic research; problem definition; data collection in the company; solution methodology; computational tests; analysis and improvement of the solutions obtained. The problem was modeled as a two-dimensional cutting problem and the solutions were obtained by a simulation, using the Hybrid First Fit (HFF) algorithm and the SketchCut Lite software. To test the performance of the method, two furniture were chosen, one bathroom cabinet fully white (BRTX) and another counter in the color Mezo Castani and white (BRTX), for both furniture, a satisfactory cut patterns has been obtained compared to the empirically practiced by a company. For the bathroom cabinet and part Mezo Castani counter, the best performing standards were the length-oriented HFF. For the counter in the BRTX part, the best standard was the rotational width oriented HFF. With the aid of SketchCut Lite it was also possible to obtain a graphic result of these patterns, making it easier to view the items in the cutting step and saving time. Moreover, the FFDH algorithm approach, oriented in both directions, width and height, was extremely important in order to explore better results.

**Keywords:** Two-dimensional cut. Optimization. Furniture industry.

## LISTA DE FIGURAS

|                                                                                                                 |    |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| FIGURA 1 - FASES DE UM ESTUDO DE PESQUISA OPERACIONAL .....                                                     | 17 |
| FIGURA 2 - CLASSIFICAÇÃO DOS PROBLEMAS DE CORTE.....                                                            | 20 |
| FIGURA 3 – MODELO DE CORTE GUILHOTINADO.....                                                                    | 22 |
| FIGURA 4 – PARTE INFERIOR DE UMA PLACA .....                                                                    | 24 |
| FIGURA 5 - EXEMPLO FFD .....                                                                                    | 25 |
| FIGURA 6 - EXEMPLO FFDH.....                                                                                    | 27 |
| FIGURA 9 - ENQUADRAMENTO DA PESQUISA .....                                                                      | 28 |
| FIGURA 10 - ETAPAS DA PESQUISA .....                                                                            | 30 |
| FIGURA 11 – FLUXOGRAMA DA EMPRESA .....                                                                         | 32 |
| FIGURA 12 – ARMÁRIO DE BANHEIRO EM BRTX (BRANCO).....                                                           | 33 |
| FIGURA 13 – PADRÃO DE CORTE UTILIZADO PELA EMPRESA PARA<br>PRODUÇÃO DO ARMÁRIO DE BANHEIRO BRTX .....           | 34 |
| FIGURA 14 – BALCÃO <i>MEZO CASTANI</i> COM BRTX (BRANCO).....                                                   | 35 |
| FIGURA 15 – PADRÃO DE CORTE UTILIZADO PELA EMPRESA PARA<br>PRODUÇÃO DO BALCÃO <i>MEZO CASTANI</i> COM BRTX..... | 36 |
| FIGURA 16 - PADRÃO DE CORTE DIRECIONADO POR COMPRIMENTO .....                                                   | 37 |
| FIGURA 17 - PADRÃO DE CORTE DIRECIONADO POR LARGURA.....                                                        | 38 |
| FIGURA 18 - PADRÃO DE CORTE DIRECIONADO POR COMPRIMENTO .....                                                   | 39 |
| FIGURA 19 - PADRÃO DE CORTE DIRECIONADO POR LARGURA.....                                                        | 40 |
| FIGURA 20 - PADRÃO DE CORTE DIRECIONADO POR LARGURA.....                                                        | 41 |

## LISTA DE TABELAS

|                                                                                           |    |
|-------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| TABELA 1 – LISTA DE ITENS PARA PRODUÇÃO DO ARMÁRIO DE BANHEIRO                            | 33 |
| TABELA 2 – LISTA DE ITENS PARA PRODUÇÃO DO BALCÃO .....                                   | 35 |
| TABELA 3 – RESULTADOS DOS PADRÕES PARA PRODUÇÃO DO ARMÁRIO DE<br>BANHEIRO .....           | 42 |
| TABELA 4 – RESULTADOS DOS PADRÕES PARA PRODUÇÃO DO BALCÃO EM<br><i>MEZO CASTANI</i> ..... | 43 |
| TABELA 5 – RESULTADOS DOS PADRÕES PARA PRODUÇÃO DO BALCÃO EM<br>BRTX .....                | 43 |

## LISTA DE ABREVIATURAS OU SIGLAS

|          |                                                   |
|----------|---------------------------------------------------|
| ABEPRO   | - Associação Brasileira de Engenharia de Produção |
| ABIMOVEL | - Associação Brasileira da Indústria Moveleira    |
| BRTX     | - Branco Texturizado                              |
| FFD      | - <i>First Fit Decreasing</i>                     |
| FFDH     | - <i>First Fit Decreasing Height</i>              |
| FO       | - Função Objetivo                                 |
| HFF      | - <i>Hybrid First Fit</i>                         |
| MC       | - <i>Mezo Castani</i>                             |
| MDF      | - <i>Medium Density Fiberboard</i>                |
| MEI      | - Microempreendedores Individuais                 |
| PCBir    | - Problemas de Corte Bidimensional Restrito       |
| PL       | - Programação Linear                              |
| PO       | - Pesquisa Operacional                            |

## SUMÁRIO

|                                                                   |           |
|-------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>1 INTRODUÇÃO .....</b>                                         | <b>12</b> |
| 1.1 JUSTIFICATIVA .....                                           | 13        |
| 1.2 OBJETIVOS .....                                               | 14        |
| 1.2.1 Objetivo geral .....                                        | 14        |
| 1.2.2 Objetivos específicos.....                                  | 14        |
| 1.3 ESTRUTURAÇÃO DO TRABALHO .....                                | 15        |
| <b>2 REVISÃO DE LITERATURA .....</b>                              | <b>16</b> |
| 2.1 PESQUISA OPERACIONAL .....                                    | 16        |
| 2.2 PROGRAMAÇÃO LINEAR.....                                       | 18        |
| 2.3 PROBLEMA DE CORTE .....                                       | 19        |
| 2.3.1 Problemas de corte na Indústria Moveleira .....             | 23        |
| 2.4 SOLUÇÕES PARA PROBLEMA DE CORTE .....                         | 23        |
| 2.4.1 <i>Hybrid First Fit</i> (HFF).....                          | 24        |
| 2.4.1.1 <i>First Fit Decreasing</i> (FFD).....                    | 25        |
| 2.4.1.2 <i>First Fit Decreasing Height</i> (FFDH) .....           | 26        |
| <b>3 MATERIAL E MÉTODOS .....</b>                                 | <b>28</b> |
| 3.1 ENQUADRAMENTO DA PESQUISA .....                               | 28        |
| 3.2 FERRAMENTAS DE COLETA DE DADOS .....                          | 29        |
| 3.3 FERRAMENTAS DE ANÁLISE DE DADOS.....                          | 29        |
| <b>4 ANÁLISE DE DADOS.....</b>                                    | <b>31</b> |
| 4.1 DESCRIÇÃO DA EMPRESA.....                                     | 31        |
| 4.2 DESCRIÇÃO DO CASO.....                                        | 32        |
| 4.2.1 Confecção do Armário de Banheiro na cor BRTX .....          | 32        |
| 4.2.2 Confecção do Balcão da cor <i>Mezo Castani</i> e BRTX ..... | 34        |
| 4.3 APLICAÇÃO DO <i>HYBRID FIRST FIT</i> (HFF) .....              | 37        |
| 4.3.1 Aplicação do HFF para confecção do armário de banheiro..... | 37        |
| 4.3.2 Aplicação do HFF para confecção do balcão .....             | 38        |
| 4.5 COMPARAÇÃO ENTRE OS RESULTADOS OBTIDOS .....                  | 41        |
| <b>5 CONSIDERAÇÕES FINAIS .....</b>                               | <b>44</b> |
| <b>REFERÊNCIAS.....</b>                                           | <b>45</b> |

## 1 INTRODUÇÃO

Na atualidade a competitividade empresarial é grande motivadora para geração de negócios e inovação, sendo também um desafio a ser enfrentado pelas empresas diariamente. Assim, para potencializar resultados e se destacar perante seu segmento, as empresas devem reforçar suas vantagens e ficarem atentas a problemas práticos que muitas vezes passam despercebidos, fazendo com que as mesmas não atinjam suas metas (POLDI; ARENALES, 2007). Diante disso, as organizações podem contar com ferramentas auxiliaadoras, entre elas, a Pesquisa Operacional (PO), definida como aplicação de métodos científicos à problemas complexos visando auxiliar nas tomadas de decisões (SHIRABAYASHI et al., 2018).

O surgimento da denominação Pesquisa Operacional, também traduzida em Portugal como “Investigação Operacional”, foi em meados de 1934 com a invenção de radares na Inglaterra, porém, a análise científica se revelou durante a Segunda Guerra Mundial, onde cientistas de diversas áreas como matemáticos, físicos e engenheiros se uniram para resolver problemas estratégicos, logísticos e táticos a fim de avaliar e reposicionar adequadamente os radares do sistema de defesa aérea da Grã-Bretanha (ARENALES et, al., 2015). Após a guerra, os estudiosos envolvidos continuaram a realizar pesquisas e desenvolver modelos para auxiliar na tomada de decisão em uma variedade de problemas provenientes de setores públicos e privados. Atualmente, este ramo da Matemática é bastante utilizado em diversas áreas e processos das organizações (SHIRABAYASHI et al., 2018).

Assim, diante da aplicabilidade e versatilidade da Pesquisa Operacional, ela se consolida como algo fundamental para a Engenharia de Produção, em particular nos problemas de planejamento e execução (POLDI; ARENALES, 2007).

Diante do exposto, este trabalho visa abordar problemas de corte cujas indústrias moveleiras enfrentam em seu dia a dia. Para estas, a redução dos custos de produção, desperdícios de materiais e otimização dos processos estão, frequentemente, associados à utilização de estratégias adequadas de cortes. Esse tipo de problema está presente em diversos processos industriais e é essencial para o planejamento da produção em indústrias que produzem peças de tamanhos e materiais variados, sendo estas de papelaria, vidraçaria, metalúrgica, plástica, têxtil ou moveleira, por exemplo, onde melhorias no processo de produção podem

representar inúmeras vantagens econômicas e operacionais (SALVADEO; BRESSAN, 2015).

Tendo em vista que o problema de corte é classificado como um problema da classe NP-difícil, trabalhos realizados por Gilmore e Gomory impulsionaram os estudos de problemas de corte, com a introdução da técnica de geração de colunas. Diante disso, novas técnicas e métodos de resolução foram sendo desenvolvidos e adaptados a partir destes trabalhos (LEAO, 2009).

Basicamente, o problema de corte avalia a melhor forma de produzir itens menores, demandados, provenientes do corte de um objeto maior. Ou seja, o objetivo é produzir uma quantidade de itens menores a partir do corte de um objeto maior, atendendo a demanda especificada desses itens com menor custo e desperdício possível (POLDI; ARENALES, 2010).

Assim, tal problemática incentivou essa pesquisa buscar a resposta para a seguinte pergunta: “Como gerar planos de cortes para o processo de produção de móveis de material *Medium Density Fiberboard* (MDF), em uma pequena indústria moveleira situada no norte do Paraná, de modo a minimizar seu desperdício e melhor aproveitar seus recursos?”

## 1.1 JUSTIFICATIVA

O estudo de problemas com esse perfil de corte é essencial para o planejamento da produção em indústrias como as do setor moveleiro, onde é possível obter soluções quanto à forma de cortar objetos para a produção dos itens nas quantidades solicitadas, rearranjando geometricamente esses itens de modo que a perda de material seja mínima, diminuindo assim o custo de produção.

Além disso, de acordo com a Associação Brasileira da Indústria Moveleira (ABIMOVEI), a produção de móveis no Brasil em 2017 passou a ocupar o 5º lugar no ranking mundial, com aproximadamente 17.000 companhias, sendo a maioria micro e pequenas empresas situadas no Sul e Sudeste, com crescimento de 2,9% em volume de móveis produzidos no Paraná em 2019. Em janeiro deste mesmo ano, as vendas também alcançaram R\$7,1 bilhões e as exportações somaram US\$10,8 milhões (MUNDO DO MARKETING, 2019).

Diante deste cenário, é possível notar a representatividade do Brasil no mercado de móveis, este setor se encontra vigoroso para alcançar um crescimento

no mercado interno e externo, porém a dedicação de pesquisas e publicações de estudos acadêmicos sobre problemas de corte bidimensional voltados à indústria moveleira são minorias.

Logo, a escolha deste tema também visa contribuir para o meio acadêmico com aplicações práticas das ferramentas de planejamento de corte que a Pesquisa Operacional proporciona, complementando o acervo deste tipo de estudo e auxiliando em pesquisas futuras, não só em problemas de corte, mas também para outros problemas de otimização combinatória.

## 1.2 OBJETIVOS

Nesta seção serão apresentados o objetivo geral e os objetivos específicos da pesquisa.

### 1.2.1 Objetivo geral

Este trabalho tem por objetivo geral testar métodos de geração de padrões de corte para o problema de corte bidimensional das placas de MDF de uma indústria moveleira, principalmente as de móveis planejados que possuem grande variedade de produtos e pouca condição de adquirir máquinas de corte que já geram esses padrões, de modo a construir padrões de corte que minimizem a perda de materiais, com auxílio de programas computacionais e heurísticas.

### 1.2.2 Objetivos específicos

Para atingir o objetivo geral, propõe-se como objetivos específicos:

- a) Estudar diferentes métodos utilizados atualmente para geração de padrões de corte bidimensional;
- b) Avaliar as características da empresa moveleira e coletar dados necessários para o estudo;
- c) Testar heurísticas que geram padrões de corte, utilizando dois móveis como modelos;
- d) Avaliar e comparar os resultados obtidos.

### 1.3 ESTRUTURAÇÃO DO TRABALHO

Essa monografia foi estruturada em 5 capítulos, como descrito a seguir:

O Capítulo 1 inicia-se com uma introdução e contextualização do problema de corte e como este está relacionado com a Pesquisa Operacional e com o ambiente organizacional. Acompanhado da problemática da pesquisa, justificativa e objetivos geral e específicos.

O Capítulo 2 é composto pela revisão de literatura, com definições e conceitos de Pesquisa Operacional e suas fases de implementação; introdução a Programação Linear; exploração sobre problema de corte, como este é classificado e como é abordado pelo setor moveleiro; além de propostas de heurísticas para resolução do problema.

O Capítulo 3 expõe os materiais e métodos utilizados no estudo, apresentando o enquadramento da pesquisa, as ferramentas utilizadas para coleta e análise de dados, e por fim, os passos percorridos para alcançar os objetivos propostos.

No Capítulo 4 é descrita a empresa selecionada para o estudo, bem como apresenta e analisa os resultados da aplicação das heurísticas e demais ferramentas no estudo.

O Capítulo 5 traz um resumo dos principais resultados, assim como sugestões para trabalhos futuros.

## 2 REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1 PESQUISA OPERACIONAL

De acordo com a Associação Brasileira de Engenharia de Produção (ABEPRO):

“Compete à Engenharia de Produção o projeto, a implantação, a operação, a melhoria e a manutenção de sistemas produtivos integrados de bens e serviços, envolvendo homens, materiais, tecnologia, informação e energia. Compete ainda especificar, prever e avaliar os resultados obtidos destes sistemas para a sociedade e o meio ambiente, recorrendo a conhecimentos especializados da matemática, física, ciências humanas e sociais, conjuntamente com os princípios e métodos de análise e projeto da engenharia.” (ABEPRO, 1998, p.1)

Deste modo, com o avanço tecnológico, internacionalização e globalização da economia exige-se cada vez mais das capacitações técnicas dos Engenheiros de Produção, para que assim, estes possam auxiliar nas tomadas de decisão das empresas brasileiras, contribuindo para sua sobrevivência e sucesso, principalmente nas pequenas e médias empresas, que possuem alto índice de mortalidade precoce, chegando a 42% no ano de 2014, desconsiderando os Microempreendedores Individuais (MEI), de acordo com dados do DataSebrae (2016).

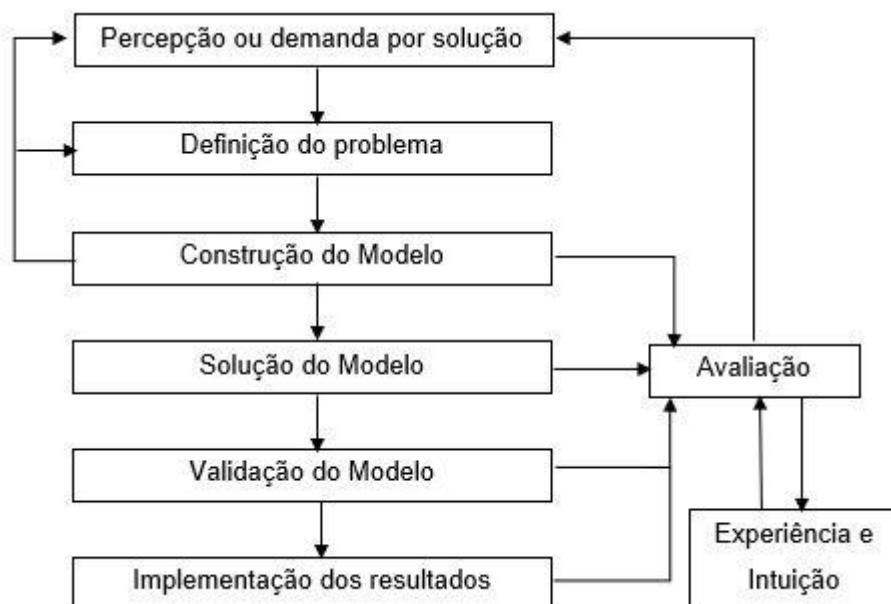
Assim, como área do conhecimento da Engenharia de Produção, está a Pesquisa Operacional, se mostrando cada vez mais necessária com a globalização e seu ambiente competitivo, tornando indispensável a adequada utilização de recursos garantindo sucesso nos investimentos e abordagens matemáticas que minimizam incertezas (LEIGUS; FENERICH; MORAIS, 2009). Ela ainda pode ser subdividida em: Programação Matemática; Processos Estocásticos; Simulação de Sistemas de Produção e Avaliação e Apoio à Tomada de Decisão, esta última sendo a abrangência desse estudo (ABEPRO, 1998).

Embora o termo Pesquisa Operacional tenha surgido na Segunda Guerra Mundial quando cientistas de diversas áreas se reuniram para discutir problemas táticos e estratégicos, acredita-se que as primeiras práticas foram durante a primeira revolução industrial (LEIGUS; FENERICH; MORAIS, 2009). Entre as definições da Pesquisa Operacional, de acordo com Andrade (2002, p.1, apud LEIGUS; FENERICH; MORAIS, 2009), tem-se “Ramo da ciência administrativa que fornece instrumentos para a análise de decisões”.

Logo, a Pesquisa Operacional estuda e busca soluções para problemas cotidianos por meio de modelagens matemáticas. Sua vantagem é que esta permite a simulação e experimentação de cenários, possibilitando uma melhor avaliação antes da tomada de decisão (ANDRADE, 2015).

Para que um trabalho do ramo da Pesquisa Operacional seja bem desenvolvido é essencial cumprir algumas etapas, não de forma rígida, mas de acordo com a complexidade de cada problema. Andrade (2015) propõe o fluxograma da FIGURA 1, com as fases de um estudo de Pesquisa Operacional.

FIGURA 1 - FASES DE UM ESTUDO DE PESQUISA OPERACIONAL.



FONTE: Adaptado de Andrade (2015).

Na fase “Descrição do problema” deve-se levar em consideração os objetivos do problema estudado, a identificação das alternativas de decisões existentes e o reconhecimento das restrições e exigências do problema. Vários tipos de modelos podem ser utilizados para solução do problema, cabe ao analista escolher o mais apropriado e construí-lo com base na descrição do problema (ANDRADE, 2015). A sua solução dependerá do tempo de processamento e precisão dos algoritmos, a solução pode ser viável, quando satisfaz todas as restrições e pode ser solução ótima se resultar no melhor valor da função objetivo (TAHA, 2008). Vale ressaltar que, dependendo do método de resolução escolhido, pode-se mostrar que não há solução melhor do que a encontrada, como por exemplo nos casos resolvidos por simplex, ou

se não for possível identificar todas as alternativas de solução, a solução vai ser ótima apenas em relação as opções apresentadas (TAHA, 2008).

Se o modelo utilizado fornece uma representação aceitável do comportamento do sistema e uma resposta que contribua para a qualidade da decisão tomada, este pode ser validado. Vale lembrar que a etapa de validação não se aplica a sistemas inexistentes.

A etapa mais crítica do estudo é a implementação da solução, onde o modelo pode demonstrar necessidades de correção ou reformulação em alguma de suas partes. E por fim, é necessária uma avaliação final dos resultados obtidos (ANDRADE, 2015).

## 2.2 PROGRAMAÇÃO LINEAR

Uma das técnicas mais utilizadas em PO é a Programação Linear (PL). Os modelos de otimização linear aparecem nas mais variadas áreas, tais como agricultura, planejamento da produção industrial, logística, telecomunicação, finanças, entre outras (ARENALES et al., 2015).

Segundo Teodoro (2003), a programação linear é capaz de modelar e resolver problema complexos em tempos razoáveis, podendo trazer benefícios de diminuição de custos e aumento de lucros. Seu objetivo é formular problemas na forma matemática, com funções e restrições formadas por equações e desigualdades lineares, buscando otimizar a função objetivo (F.O.), podendo ser esta de maximização ou minimização e satisfazer as respectivas restrições.

Segundo Carvalho (2014), é possível formular um problema linear geral na forma do modelo expresso pelo conjunto de equações e inequações expressas em (1) à (3).

$$\text{Função Objetivo (Máx. ou Mín.): } Z = \sum_{j=1}^n c_j x_j \quad (1)$$

$$\text{Satisfazendo as restrições: } \sum_{j=1}^m a_{ij} x_j \begin{cases} \geq \\ = \\ \leq \end{cases} b_i \quad (2)$$

$$\text{Sendo: } x_1, \dots, x_n \geq 0 \quad (3)$$

O índice  $i$  representa o número da linha e o índice  $j$  o número da coluna das respectivas variáveis e/ou constantes. Esses parâmetros também são importantes para formação do modelo, que pode ser composto por  $n$  variáveis principais ou de decisão  $x_j$ ,  $n$  coeficientes da função objetivo  $c_j$ ,  $m \times n$  coeficientes técnicos  $a_{ij}$  e  $m$  restrições com  $n$  incógnitas, onde  $n \geq m$  caracteriza um sistema indeterminado, por possuir mais incógnitas do que equações (CARVALHO, 2014).

Um modelo de PL também pode ser descrito em forma matricial, dada uma matriz  $M$  e os vetores  $a$ ,  $b$  e  $x$ , com o objetivo de minimizar ou maximizar a função objetivo, de acordo com a exigência de cada modelo (FEOFILOFF, 2018), veja em (4) e (5).

$$\text{Função Objetivo } \min cx \quad (4)$$

$$\text{Sob as restrições } Mx = b \text{ e } x \geq 0 \quad (5)$$

A terminologia ainda identifica uma solução como viável, aquela que respeita as restrições, e uma solução ótima aquela que encontra o mínimo ou máximo, ou seja, resulte no melhor valor da função objetivo (FEOFILOFF, 2018).

### 2.3 PROBLEMA DE CORTE

Acredita-se que os primeiros registros de estudos referentes ao problema de corte foram em meados da década de 1960, impulsionados por Gilmore e Gomory (LEAO, 2009). Este tipo de problema pode ser fácil de ser representado matematicamente, mas difícil de ser solucionado, embora haja um domínio finito de soluções, essas podem ser difíceis de ser enumeradas (TEMPONI, 2007). Assim, uma alternativa para solucionar esse tipo de problema é a utilização de métodos heurísticos, que não garantem uma solução ótima, porém, fornecem boas soluções para problemas de grande porte e em tempo mais ágil (MORABITO; PUREZA, 2007).

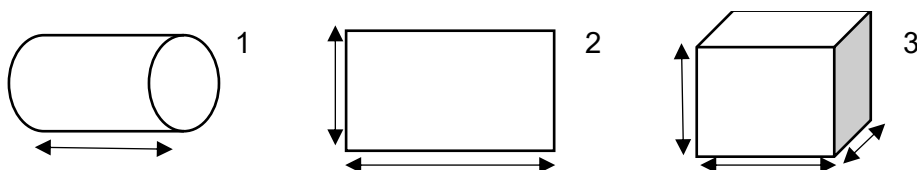
Analizando processos produtivos é difícil não notar uma etapa que envolva corte de materiais. Várias indústrias usam objetos maiores padronizados para serem cortados em tamanhos menores variados, em geral, não padronizados. Assim, de acordo com Poldi e Arenales (2010, p. 154):

“Problemas de corte de estoque consistem em cortar peças maiores (objetos) disponíveis em estoque com a finalidade de produzir peças menores (itens) para atender uma dada demanda, otimizando uma determinada função objetivo que pode ser, por exemplo, minimizar a perda de material, ou o custo dos objetos cortados”(POLDI; ARENALES, 2010).

Para resolver o problema de corte deve-se pensar no item cortado como um item alocado nesse objeto maior e, dependendo dos itens solicitados, é possível alocá-los no objeto de diferentes maneiras, desde que se respeite as restrições. A forma geométrica como os itens são arranjados em um objeto é chamada de padrão de corte e um padrão de corte é dito homogêneo se contém apenas um tipo de item, esse pode ser posteriormente representado na Matriz  $M$  em (5) (ARENALES; MORABITO, 2004).

Os problemas de corte podem ser classificados de três modos, unidimensional<sup>1</sup>, quando apenas uma direção é importante para o processo de corte, como barras e bobinas de comprimento  $L$ , que devem ser cortadas em partes menores  $l_1, l_2, \dots, l_n$ ; cortes bidimensionais<sup>2</sup>, com duas direções relevantes para o corte, largura e comprimento, como placas regulares maiores, para a produção de itens menores. Assim, as placas possuem dimensões  $L \times W$  (sendo,  $L$  comprimento, e  $W$  largura) e os itens a serem cortados variam até  $m$  itens diferentes:  $l_1 \times w_1, l_2 \times w_2, \dots, l_m \times w_m$ ; por fim, os cortes tridimensionais<sup>3</sup>, envolvendo maior complexidade e dificuldade geométrica, como carregamento de contêineres, nesses casos há três dimensões importantes para serem avaliadas,  $L \times W \times H$ , ou seja, comprimento, largura e altura, para empacotar  $l_1 \times w_1 \times h_1, l_2 \times w_2 \times h_2, \dots, l_m \times w_m \times h_m$ , itens diferentes (ARENALES; MORABITO, 2004). Veja a FIGURA 2.

FIGURA 2 - CLASSIFICAÇÃO DOS PROBLEMAS DE CORTE.



FONTE: A autora (2019).

Ainda sobre cortes bidimensionais, de acordo com Arenales et al. (2004), para modelarmos o problema, cada padrão de corte, supostamente conhecido, deve ter associado a si um vetor  $\alpha_j$ , cujas coordenadas  $\alpha_{ij}$  representam  $m$  números de itens do tipo  $i$  ( $l_i; w_i$ ) a serem cortados no padrão de corte  $j$ . Veja em (6)

$$\alpha_1 = \begin{pmatrix} \alpha_{11} \\ \alpha_{21} \\ \dots \\ \alpha_{m1} \end{pmatrix}; \alpha_2 = \begin{pmatrix} \alpha_{12} \\ \alpha_{22} \\ \dots \\ \alpha_{m2} \end{pmatrix}; \dots; \alpha_n = \begin{pmatrix} \alpha_{1n} \\ \alpha_{2n} \\ \dots \\ \alpha_{mn} \end{pmatrix}. \quad (6)$$

Para auxiliar na compreensão vale esclarecer que, ainda de acordo com Arenales et al. (2007), um vetor  $\alpha$  só representa um padrão de corte se a soma das áreas dos itens presentes no padrão não ultrapassarem o tamanho total do objeto mestre ( $L; W$ ) a ser cortado.

Assim, após gerar padrões de cortes é necessário decidir quantas vezes usar cada um deles, de modo a atender a demanda, isso é possível resolvendo o seguinte modelo matemático representado pelo conjunto de equações e inequações de (7) à (9) (ARENALES et al., 2007):

$$\text{Minimizar: } \sum_{j=1}^n c_j \cdot x_j \quad (7)$$

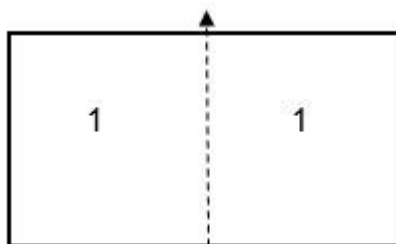
$$\text{S.a: } \sum_{j=1}^n a_{ij} \cdot x_j \geq d_i \quad (8)$$

$$x_j \in Z^+ \quad (9)$$

Onde,  $a_{ij}$  representa o número de itens  $i$  gerados com o padrão  $j$ , a variável de decisão  $x_j$  representa o número de objetos cortados de acordo com o padrão  $j$ ; a função objetivo (7) pode ter diferentes definições, dependendo do parâmetro  $C$ , como minimizar o custo de cada padrão de corte, minimizar a perda em cada padrão de corte ou, no caso desse estudo, minimizar o número de objetos cortados; a restrição (8) garante que a demanda seja atendida, nota-se que ela também permite produções de itens em excesso, em casos de demanda flexível; e a restrição (9) indica o tipo de variável (ARENALES, et al., 2007).

Diferentes fatores devem ser avaliados para cortes no caso bidimensional. Um padrão de corte pode ser guilhotinado se este dividir um retângulo maior em outros dois menores, ou seja, com um corte feito de uma extremidade a outra. Veja a FIGURA 3.

FIGURA 3 – MODELO DE CORTE GUILHOTINADO.



FONTE: A autora (2019).

Na FIGURA 3, a linha pontilhada representa o corte a ser feito no objeto retangular maior, fazendo com que este se transforme em dois itens retangulares menores do tipo  $x_1$ , logo se caracterizando como um corte guilhotinado. Assim, segundo Arenales (2004), o vetor  $\alpha$  representado em (10) também pode ser associado ao corte, contabilizando os itens presentes no padrão:

$$\alpha = (2; 0; 0; 0; 0) \quad (10)$$

Considerando cinco itens de tamanhos diferentes a serem cortados, o vetor  $\alpha$  em (10), representa um padrão com dois itens a serem cortados do tipo  $x_1$  e zero itens de  $x_2$ ,  $x_3$ ,  $x_4$  e  $x_5$ .

Arenales et al. (2004), também ressalta que o corte guilhotinado pode ser dividido em estágios, sendo o número de vezes que o objeto deve ser rotacionado em  $90^\circ$ , de forma a permitir que os cortes guilhotinados sejam realizados. Se, ao término do último estágio, todos os itens tiverem sido obtidos, o padrão de corte é dito exato, se for necessário um corte adicional (apara) o padrão é dito não exato.

Também é importante ressaltar que, ao gerar padrões, a área não ocupada por peças pode ser classificada de duas formas, como sobras ou perdas. As sobras são partes do material que podem ser reaproveitadas para produção de outro produto, já as perdas são materiais com difícil reutilização, por serem extremamente pequenos e retalhados (FIGUEIREDO; RANGEL, 1965). Ao definir um padrão de corte também é interessante obter sobras com tamanhos inteiros significativos, de modo a melhor reaproveitar posteriormente.

### 2.3.1 Problemas de Corte na Indústria Moveleira

No cenário nacional, as indústrias de móveis estão presentes em todos os estados brasileiros, porém sua maior concentração está no Sul e Sudeste, predominantemente micro e pequenas empresas. A diversidade varia desde empresas que possuem equipamentos modernos e produção totalmente automatizada, até empresas que possuem seu processo totalmente manual e artesanal. Também é comum encontrar nesse setor empreendimentos que possuem equipamentos modernos e robustos em um mesmo local do processo produtivo (RANGEL; FIGUEIREDO, 2009).

O setor moveleiro, assim como qualquer indústria, enfrenta desafios para aumentar sua produtividade e lucratividade, buscando sempre melhor qualidade e redução de custos. Assim, um fator relevante para atingir tais objetivos é melhor aproveitar a matéria prima, rearranjando itens a serem cortados com bons padrões de corte (FIGUEIREDO; RANGEL, 1965).

A orientação dos objetos a serem cortados também é relevante, pois, quando os itens para a produção do móvel são cortados em *Medium Density Fiberboard* (MDF) colorido ou desenhado, este possui uma orientação, no qual se invertida, compromete a qualidade e a estética do produto final, o que se enquadra no caso deste estudo. De acordo com Teodoro (2003) essa característica é o que define se o problema é orientado ou não, ou seja, se o item pode ou não ser inversamente rotacionado.

## 2.4 SOLUÇÕES PARA PROBLEMA DE CORTE

De acordo com Poldi e Arenales (2007), alguns algoritmos exatos são mencionados na literatura para encontrar a solução ótima e inteira de problemas de corte, porém, são limitados em tempo, espaço e à problemas de pequeno porte. Diante disso, buscando soluções rápidas e boas, serão abordadas nesse estudo um método heurístico, a fim de comparar e identificar sua eficiência em relação ao praticado pela empresa estudada.

### 2.4.1 Hybrid First Fit (HFF)

O algoritmo *Hybrid First Fit* (HFF), abordado por Teodoro em 2003, é um algoritmo híbrido entre o algoritmo *First Fit Decreasing* (FFD), para cortes unidimensionais e o *First Fit Decreasing Height* (FFDH), para cortes bidimensionais. Seu objetivo é maximizar a área ocupada da placa com itens a serem cortados. O Algoritmo 1 contém uma descrição do algoritmo HFF.

Algoritmo 1.

Entrada: Informações da placa e itens.

1º Aplique o algoritmo FFDH para criar faixas.

2º Empacote as faixas em placas usando o algoritmo FFD.

3º Retorne padrões encontrados.

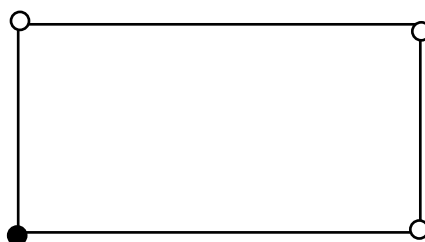
Saída: Conjunto de padrões.

Fim do algoritmo.

Assim, este método cria faixas, ou seja, linhas de corte de uma extremidade a outra (guilhotinado) utilizando o FFDH, recomendado para problemas de corte bidimensional, e posteriormente realoca essas faixas nas placas mestres, segundo o FFD, recomendado para problemas de corte unidimensionais.

Para melhor entendimento dos algoritmos, toda vez que citado o termo “parte inferior” refere-se a posição mostrada na FIGURA 4.

FIGURA 4 – PARTE INFERIOR DE UMA PLACA.



FONTE: A autora (2019).

O canto esquerdo inferior da placa, preenchido, representa a parte inferior da placa, onde começa a alocação das peças. Nas próximas seções isso será melhor abordado.

### 2.4.1.1 First Fit Decreasing (FFD)

O algoritmo FFD é recomendado para casos unidimensionais, seu objetivo é a maximização da área ocupada por itens na placa onde ordena os itens de maneira decrescente, fixa o objeto maior em uma orientação e posiciona o primeiro item na parte inferior do objeto maior, e segue fazendo o mesmo para os itens seguintes (TEODORO, 2003). Veja a descrição no Algoritmo 2.

Algoritmo 2.

Entrada: Informações das dimensões da placa e dos itens, onde as placas e os itens têm o mesmo comprimento.

1º Faça uma ordenação decrescente dos itens pela largura.

2º Aloque o primeiro item na parte inferior da placa.

3º Enquanto existirem itens não empacotados faça.

3.1 Tente empacotar o item, acima dos itens anteriores que já foram alocados nas placas anteriores, na ordem em que foram requeridas até então. Se não couber:

3.1.2 Empacote o item em uma nova placa.

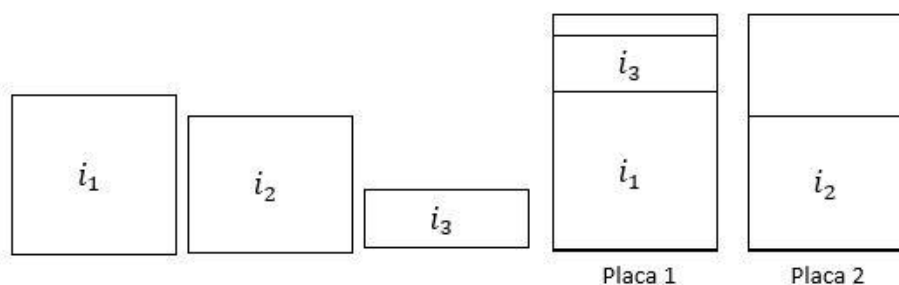
4º Retome padrões encontrados.

Saída: Conjunto de padrões.

Fim do algoritmo.

A FIGURA 5 traz um exemplo de aplicação do Algoritmo 2.

FIGURA 5 - EXEMPLO FFD.



FONTE: Adaptado de Teodoro (2003).

Na FIGURA 5, os itens  $i_1$ ,  $i_2$  e  $i_3$  devem ser obtidos cortando-se a placa mestre, sendo todos de mesmo comprimento. Dessa forma, de acordo com o Algoritmo 2, o item  $i_1$  deve ser alocado primeiro na parte inferior da placa mestre, posteriormente o item  $i_2$  deve ser alocado a cima do item  $i_1$ , se couber, no exemplo como não coube, este requer uma nova placa, e por fim o item  $i_3$  deve ser posicionado a cima do  $i_1$ , se couber, ou caso contrário, a cima do  $i_2$ , neste caso, sendo alocado na placa 1. Após todos itens serem alocados teremos como saída os padrões de corte gerados.

#### 2.4.1.2 *First Fit Decreasing Height* (FFDH)

O algoritmo FFDH, também abordado por Teodoro (2003), é recomendado para casos bidimensionais, esse também visa a maximização da área ocupada pelos itens a serem cortados, considerando duas direções do objeto mestre no momento de gerar padrões. O Algoritmo 3, contém uma melhor descrição.

Algoritmo 3.

Entrada: Informações da placa e itens.

1º Faça uma ordenação decrescente dos itens pela altura.

2º Aloque o primeiro item no canto inferior esquerdo da placa e trace a primeira faixa.

3º Enquanto houver itens não empacotados faça:

3.1 Tente empacotar o próximo item na faixa ao lado dos anteriores, por ordem de criação, se não couber:

3.1.1 Empacote o item em uma nova faixa, com a faixa na altura do item sendo empacotado.

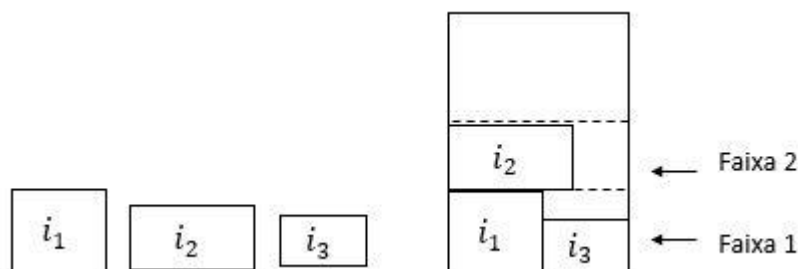
4º Retorne faixas geradas.

Saída: Conjunto de faixas.

Fim do algoritmo.

A FIGURA 6 traz um exemplo de aplicação do Algoritmo 3.

FIGURA 6 - EXEMPLO FFDH.



FONTE: Adaptado de Teodoro (2003).

Na FIGURA 6, os itens  $i_1$ ,  $i_2$  e  $i_3$  devem ser cortados na placa mestre, sendo todos de tamanhos diferentes. Dessa forma, de acordo com o Algoritmo 3, o item  $i_1$  deve ser alocado primeiro no canto inferior esquerdo da placa mestre e uma faixa deve ser traçada nessa altura, posteriormente o item  $i_2$  deve ser alocado ao lado do item  $i_1$ , se couber, como no exemplo não coube, este foi posicionado acima do  $i_1$  e traçou-se uma nova faixa sobre ele. Por fim, o item  $i_3$  deve tentar ser posicionado ao lado do  $i_1$ , ao lado do  $i_2$ , ou caso contrário, se não couber, uma nova faixa deve ser traçada para ele, nesse caso, foi alocado ainda na primeira faixa. Após todos itens serem alocados as saídas serão os padrões de corte gerados.

### 3 MATERIAL E MÉTODOS

#### 3.1 ENQUADRAMENTO DA PESQUISA

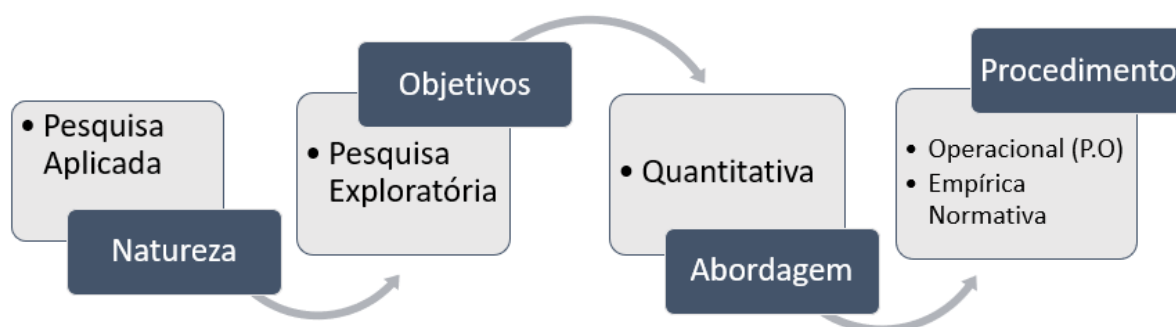
A classificação dessa pesquisa, quanto a natureza, objetivos, abordagem e procedimentos foi realizada com base nos conceitos de Silveira e Gerhardt (2009).

Logo, com relação a natureza, essa pesquisa enquadra-se como uma pesquisa aplicada, por gerar conhecimentos possíveis de serem aplicados na prática, dirigido a solução de problemas específicos. E com relação aos objetivos, pode ser classificada como exploratória, pois esta permite maior familiaridade com o tema, explorando formas de melhoria no processo já existente.

Ainda, seguindo uma abordagem de modelagem quantitativa, com procedimento operacional, a pesquisa utiliza de modelos matemáticos para formular estratégias e oportunidades, além de apoiar o processo de tomada de decisão (MORABITO; PUREZA, 2010).

De acordo com Morabito e Pureza (2010), esta ainda é classificada, de maneira mais específica, como uma pesquisa empírica normativa, por visar desenvolver estratégias e ações que melhoram a situação corrente, como é o caso deste estudo, que visa melhorar os padrões de cortes já gerados pela empresa. Veja a FIGURA 7.

FIGURA 7 - ENQUADRAMENTO DA PESQUISA.



FONTE: A autora (2019).

### 3.2 FERRAMENTAS DE COLETA DE DADOS

Para atingir o objetivo geral, de propor soluções para o problema de corte bidimensional das placas de MDF de uma pequena indústria moveleira, foram realizadas visitas técnicas na fábrica, a fim de conhecer o processo e os atuais planos de corte praticados por ela, para produção de alguns móveis.

Nesse estudo a quantidade de estágio para corte não será restringida, porém levando em consideração que o *Medium Density Fiberboard* (MDF) pode ser branco ou colorido/desenhado, dois modelos de móveis foram selecionados, um orientado e o outro todo liso e branco, de modo a abordar os dois possíveis casos, um com restrição de orientação e o outro não.

### 3.3 FERRAMENTAS DE ANÁLISE DE DADOS

Para a geração dos padrões de corte como sugere o algoritmo HFF, foi utilizado como auxílio o software, também oferecido como aplicativo, *SketchCut Lite* (TALI SOFTWARE, 2019).

O aplicativo, de acordo com o *Google Play* “é projetado com as características de materiais de folha de corte (madeira compensada, aglomerado de madeira, MDF, vidro, plásticos, painéis de madeira etc.)”, logo atende as necessidades desse estudo, sendo passível de ser utilizado para geração de padrões tanto para o móvel orientado quanto para o não orientado, assim, a partir das simulações, serão selecionados os melhores resultados para os dois modelos de móveis testados.

### 3.4 ETAPAS DA PESQUISA

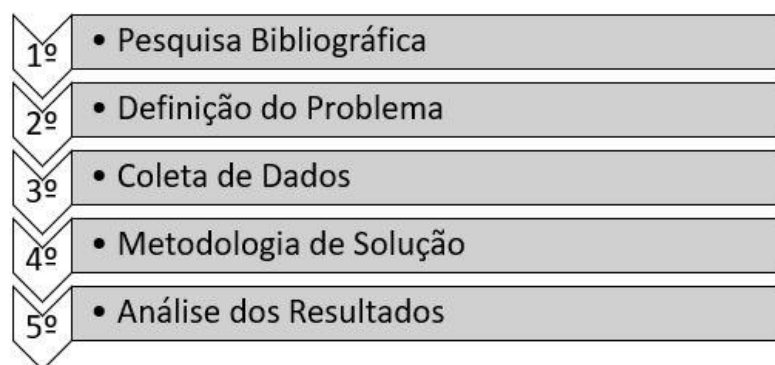
Primeiramente, se fez necessário um estudo sobre a definição do problema, sua complexidade e métodos de solução existentes na literatura, a fim de compreender o âmbito do tema corte, em particular corte bidimensional.

Em seguida, notou-se a necessidade de definir a empresa do segmento de móveis que forneceria as informações necessárias para o estudo, essa foi selecionada na região norte do Paraná. Assim, um acompanhamento do cotidiano da fábrica permitiu conhecer o processo produtivo e para testar as heurísticas foram escolhidos dois modelos específicos de móveis, que permitiram a realização do estudo.

Diante da literatura, o algoritmo HFF foi selecionado para solução do problema de corte bidimensional, aplicado à indústria moveleira, de modo a gerar padrões de corte para serem comparados entre si e com os padrões empíricos praticados atualmente pela empresa estudada.

Por fim, após se ter conhecimento dos resultados obtidos pela heurística e do praticado pela empresa, foi avaliado o padrão que obteve melhor desempenho, para então sugerir à fábrica a melhor a forma de cortar as peças para os móveis testados. Também foi avaliado a eficiência do algoritmo HFF e se esse se torna viável para gerar os padrões de corte dos móveis fabricados diariamente na empresa. Veja as etapas na FIGURA 8.

FIGURA 8 - ETAPAS DA PESQUISA.



FONTE: A autora (2019).

Assim, a FIGURA 8 apresenta o desenvolvimento da pesquisa em cinco etapas, sendo a primeira um levantamento bibliográfico do tema problema de corte e seus métodos de resolução. Em segundo a definição do problema após se construir uma base com o referencial teórico. Seguido em terceiro, pela coleta de dados na empresa selecionada para o estudo. Tendo como quarto a construção da solução para o problema selecionado. E por fim, a etapa cinco, sendo esta a comparação entre os resultados obtidos com o praticado pela empresa.

## 4 ANÁLISE DE DADOS

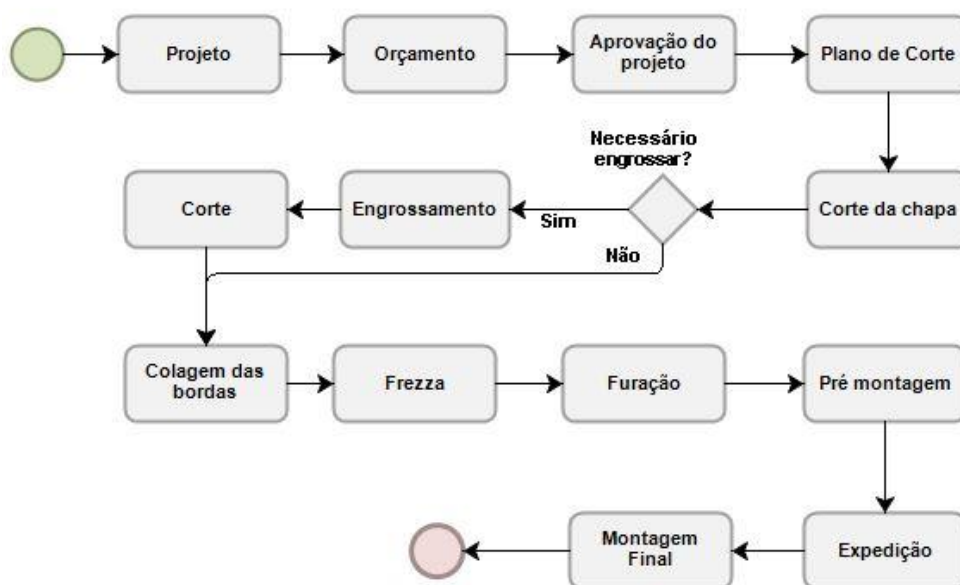
### 4.1 DESCRIÇÃO DA EMPRESA

A empresa selecionada para aplicação do estudo referente ao problema de corte bidimensional, foi a Pascotto Ambientes Planejados, uma empresa familiar com aproximadamente sete funcionários, que iniciou suas atividades no ano de 2013, atuando no ramo de móveis e ambientes planejados.

A Pascotto está localizada na cidade de Marialva, região norte do Paraná, essa projeta e executa móveis para qualquer ambiente, como cozinha, sala, quarto, banheiro, escritório, entre outros.

Os setores da fábrica são divididos em Projeto do Produto, Produção e Expedição. O processo começa no orçamento e recebimento do pedido, onde o projetista irá planejar o *design* e demais características do móvel solicitado, juntamente com um orçamento para produção deste. Em seguida, após o pedido ser aprovado, a produção se inicia com o processo de corte das placas de MDF, estas com dimensões de 2750 X 1830 mm. Nessa etapa, os painéis retangulares maiores de MDF são cortados em itens menores necessários para fabricação do móvel, em geral, os padrões de corte para obtenção desses itens menores, são elaborados manualmente sem planejamento prévio. Após os itens serem cortados, esses seguem, se necessário, para uma etapa de engrossamento, responsável por engrossar os itens em outras espessuras, diferentes da normal de 15mm, de acordo com o design do produto. Posteriormente, seguem para colagem das bordas e *frezza* (acabamento). Após essas operações, os itens são agrupados, furados e pré-montados, seguindo para expedição e montagem final no espaço físico do cliente. Veja o fluxograma da empresa na FIGURA 9.

FIGURA 9 – FLUXOGRAMA DA EMPRESA.



Fonte: A autora (2019).

## 4.2 DESCRIÇÃO DO CASO

Diante da grande variedade de modelos de móveis produzidos pela empresa, para testar a heurística, decidiu-se optar por dois modelos distintos, um com placas de MDF externas estampadas e placas de MDF internas brancas e outro não estampado, com placas de MDF apenas brancas. A escolha de ambos os casos permitirá comparar a área aproveitada do material de MDF quando cortado de forma orientada e não orientada, assim como a eficiência dos algoritmos para cada caso e se estes propõem padrões de corte melhores do que os praticados pela empresa.

Os móveis escolhidos para o estudo estão representados na FIGURA 10 e FIGURA 12.

Os objetos mestres de MDF a serem cortados para confecção de ambos os móveis, possuem dimensões 2750 x 1830 mm.

### 4.2.1 Confecção do Armário de Banheiro na cor BRTX

A FIGURA 10 apresenta o design de um armário de banheiro na cor BRTX, mais conhecida como Branco Texturizado, logo nas simulações de padrões de corte,

os itens a serem cortados para a confecção do armário de banheiro podem ser alocados de forma orientada ou não, pois não comprometerá a estética final do produto.

FIGURA 10 – ARMÁRIO DE BANHEIRO EM BRTX (BRANCO).



Fonte: A empresa (2019).

Derivado do design, os itens menores a serem rearranjados para a produção deste armário estão representados na TABELA 1.

TABELA 1 – LISTA DE ITENS PARA PRODUÇÃO DO ARMÁRIO DE BANHEIRO.

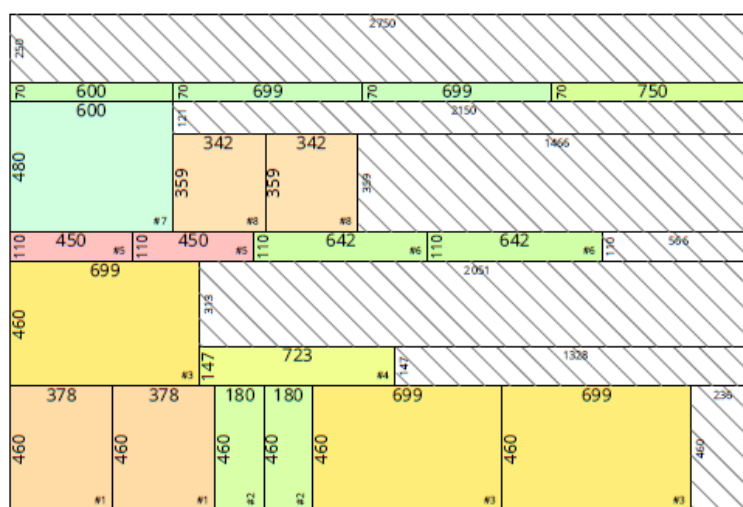
| ITEM | DEMANDA<br>(UN.) | LARGURA<br>(MM) | ALTURA<br>(MM) |
|------|------------------|-----------------|----------------|
| A    | 02               | 378             | 460            |
| B    | 02               | 180             | 460            |
| C    | 03               | 699             | 460            |
| D    | 02               | 699             | 70             |
| E    | 02               | 450             | 110            |
| F    | 02               | 642             | 110            |
| G    | 01               | 600             | 480            |
| H    | 01               | 600             | 70             |
| I    | 01               | 750             | 70             |
| J    | 02               | 342             | 359            |
| K    | 01               | 723             | 147            |

Fonte: Adaptado da empresa (2019).

Na TABELA 1, a primeira coluna intitula os itens a serem cortados, a segunda coluna possui as demandas de cada item, em unidades, que variam de 01 a 03 e na terceira e quarta estão representadas as dimensões respectivas a cada item.

O padrão de corte utilizado atualmente pela empresa, na produção desse armário de banheiro da FIGURA 10, está representado na FIGURA 11, sendo este construído de forma empírica pelos próprios funcionários do setor de corte.

FIGURA 11 – PADRÃO DE CORTE UTILIZADO PELA EMPRESA PARA PRODUÇÃO DO ARMÁRIO DE BANHEIRO BRTX.



Fonte: Adaptado da empresa (2019).

A FIGURA 11 mostrou-se a necessidade de 1 (uma) placa de MDF BRTX, com uma área ocupada de  $2,55 \text{ m}^2$ , sobra de  $2,481 \text{ m}^2$  e perda de  $0 \text{ m}^2$ .

#### 4.2.2 Confeção do Balcão da cor *Mezo Castani* e BRTX

A FIGURA 12 mostra o design de um balcão na cor *Mezo Castani* com BRTX, onde os itens da parte externa são na cor *Mezo Castani* e não podem ser rotacionados (invertidos) durante o corte, pois isso comprometerá a estética final do produto. Os itens da parte interna do balcão são na cor BRTX, podendo ser rotacionados como no caso do armário de banheiro, visto na subseção anterior.

FIGURA 12 – BALCÃO *MEZO CASTANI* COM BRTX (BRANCO).

Fonte: A empresa (2019).

Os itens menores a serem rearranjados para a produção deste balcão estão representados na TABELA 2.

TABELA 2 – LISTA DE ITENS PARA PRODUÇÃO DO BALCÃO.

| ITEM | DEMANDA<br>(UN.) | LARGURA<br>(MM) | ALTURA<br>(MM) | COR  |
|------|------------------|-----------------|----------------|------|
| A    | 06               | 670             | 400            | BRTX |
| B    | 04               | 615             | 400            | BRTX |
| C    | 06               | 615             | 70             | BRTX |
| D    | 02               | 615             | 380            | BRTX |
| E    | 02               | 705             | 425            | BRTX |
| F    | 02               | 1950            | 70             | BRTX |
| G    | 04               | 634             | 317            | MC   |
| H    | 02               | 300             | 640            | MC   |
| I    | 01               | 2000            | 425            | MC   |
| J    | 02               | 2000            | 50             | MC   |

Fonte: Adaptado da empresa (2019).

Na TABELA 2, a primeira coluna intitula os itens a serem cortados, a segunda coluna possui as demandas de cada item, em unidades, que variam de 01 a 06 e na terceira e quarta estão representadas as dimensões respectivas a cada item. Ainda na quinta coluna está a distinção de cor da placa de MDF que deve ser cortado cada item, sendo BRTX, branco e MC, *Mezo Castani*.



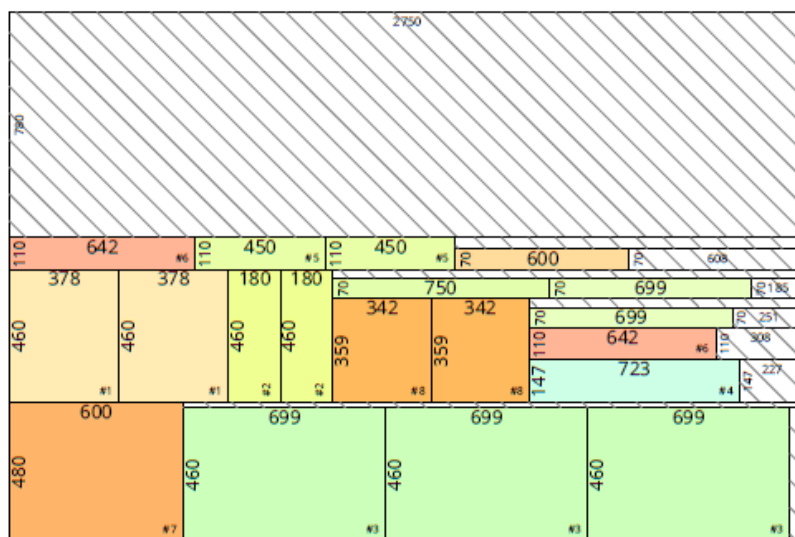
### 4.3 APLICAÇÃO DO *HYBRID FIRST FIT* (HFF)

O algoritmo HFF, por meio do *SketchCut Lite*, foi aplicado para geração de padrões de corte do armário de banheiro e do balcão e esses serão apresentados nas próximas subseções. Em todos os resultados das simulações, nos desenhos das representações dos padrões de corte a parte preenchida em colorido representam os itens a serem cortados, as partes preenchidas por traços com dimensões representam as sobras e os espaços preenchidos por traços sem dimensões expostas representam as perdas.

#### 4.3.1 Aplicação do HFF para confecção do Armário de Banheiro

Para gerar padrões de corte para o armário de banheiro, ao considerar a aplicação do FFDH por comprimento, com o auxílio do *SketchCut Lite* para resolução por meio do algoritmo HFF, foram gerados os seguintes padrões, representados na FIGURA 14.

FIGURA 14 - PADRÃO DE CORTE DIRECIONADO POR COMPRIMENTO.



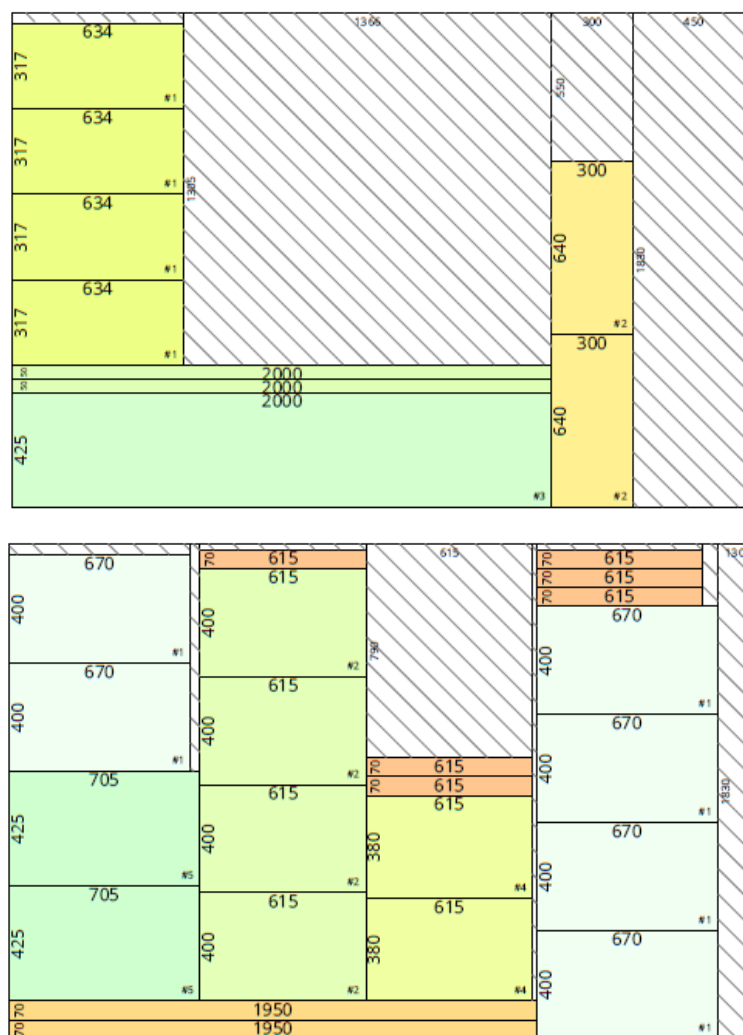
Fonte: *SketchCut Lite* (2019).

Na FIGURA 14, os espaços coloridos representam as peças a serem cortadas, com suas respectivas dimensões, e a área preenchida por traços representam as sobras e perdas. Assim, se obteve a quantidade de uma placa de MDF BRTX





FIGURA 17 - PADRÃO DE CORTE DIRECIONADO POR LARGURA.



Fonte: Fonte: *SketchCut Lite* (2019).

Assim como na FIGURA 16, a FIGURA 17 possui as peças a serem cortadas, preenchidas em colorido e as sobras e perdas preenchidas por traços. Sendo a primeira placa *Mezo Castani* e a segunda placa BRTX.

Esse padrão utilizou-se também 1 (uma) placa de MDF *Mezo Castani* e 1 (uma) placa de MDF BRTX, com uma área ocupada da *Mezo Castani* de  $2,237 \text{ m}^2$ , sobra de  $2,771 \text{ m}^2$  e perda de  $0,023 \text{ m}^2$ , e da BRTX  $4,19 \text{ m}^2$ , sobra de  $0,724 \text{ m}^2$  e perda de  $0,118 \text{ m}^2$ .

Como o balcão possui parte constituída na cor BRTX, essas peças a serem cortadas podem ser rotacionadas, sem comprometer a estética final do produto. Assim testando no *SketchCut Lite* padrões de corte rotacionados e orientados por altura não apresentaram diferenças nos resultados, porém rotacionados e orientados por largura

mostraram diferenças nos resultados, em relação ao não rotacionado da FIGURA 17. veja a FIGURA 18.

FIGURA 18 - PADRÃO DE CORTE ROTACIONADO E DIRECIONADO POR LARGURA.



Fonte: *SketchCut Lite* (2019).

Na FIGURA 18, é possível notar que as peças a serem cortadas em *Mezo Castani* podem se manter igual à da FIGURA 16 ou FIGURA 17, porém a placa de MDF BRTX resultou em algumas mudanças, com uma área ocupada de  $4,19 \text{ m}^2$ , sobra de  $0,681 \text{ m}^2$  e perda de  $0,16 \text{ m}^2$ .

#### 4.5 COMPARAÇÃO ENTRE OS RESULTADOS OBTIDOS

Tendo em vista que a empresa busca minimizar o desperdício da chapa e manter a parte que não for utilizada nas melhores condições para uso posterior, ou seja, com menor número de retalhos, segue alguns critérios, sendo respeitada a ordem, para escolha do melhor padrão:

**Critério 1:** Considerar o padrão com a maior área ocupada pelos itens. Esse critério visa evitar que os itens sejam rearranjados em diferentes placas, sendo que pode haver espaço suficiente em uma mesma placa para todos.

**Critério 2:** Considerar o padrão com maior área não ocupada inteira, de modo a melhor reaproveitar essa parte da placa para produção de outro móvel, posteriormente. Já que a empresa em estudo é de móveis planejados e possui grande variedade de modelos de móveis a serem produzidos, esse critério garante que a área

de sobra da chapa seja a maior, para melhor alocar itens de diferentes tamanhos posteriormente.

**Critério 3:** Considerar o menor percentual de perda da placa, em relação ao padrão de corte. Esse critério garante que após cumprido os critérios anteriores, a área de placa não reaproveitável seja a menor possível diante das opções de padrões.

Os testes realizados para a produção dos padrões de corte do armário de banheiro, com o auxílio do software *SketchCut Lite*, comparados com o método empírico usado pela empresa estão dispostos na TABELA 3.

TABELA 3 – RESULTADOS DOS PADRÕES PARA PRODUÇÃO DO ARMÁRIO DE BANHEIRO.

| <b>Modelo</b>      | <b>Área não<br/>ocupada<br/>inteira</b> | <b>Sobra</b> | <b>Perda</b> | <b>Total de<br/>Retalho</b> | <b>Total de Área<br/>Ocupada</b> |
|--------------------|-----------------------------------------|--------------|--------------|-----------------------------|----------------------------------|
| <i>Empírico</i>    | 13,66%                                  | 49,30%       | 0            | 49,30%                      | 50,70%                           |
| <i>Comprimento</i> | 42,62%                                  | 43,62%       | 5,68%        | 49,30%                      | 50,70%                           |
| <i>Largura</i>     | 35,64%                                  | 44,89%       | 4,41%        | 49,30%                      | 50,70%                           |

Fonte: A autora (2019).

Intuitivamente, olhando para TABELA 3, o padrão praticado pela empresa com menor percentual de perda, impulsiona o avaliador escolhe-lo como melhor, porém, a área de sobra desse padrão é mais retalhada em relação aos demais, dificultando sua utilização posterior. Por isso, os resultados descritos na TABELA 3, devem ser avaliados considerando os critérios de escolha. Para desempate do critério 1, o critério 2 elege o padrão orientado por Comprimento como o de melhor desempenho, assim podendo trazer melhor benefício para empresa

Para análise dos resultados dos padrões de corte para produção do balcão, segue a TABELA 4, referente aos cortes na placa *Mezo Castani* e a TABELA 5, referente aos cortes na placa BRTX.

TABELA 4 – RESULTADOS DOS PADRÕES PARA PRODUÇÃO DO BALCÃO EM MEZO CASTANI.

| <b>Modelo</b>      | <b>Área não<br/>ocupada<br/>inteira</b> | <b>Sobra</b> | <b>Perda</b> | <b>Total de<br/>Retalho</b> | <b>Total de Área<br/>Ocupada</b> |
|--------------------|-----------------------------------------|--------------|--------------|-----------------------------|----------------------------------|
| <i>Empírico</i>    | 47,69%                                  | 55,22%       | 0,30%        | 55,52%                      | 44,45%                           |
| <i>Comprimento</i> | 47,69%                                  | 55,22%       | 0,30%        | 55,52%                      | 44,45%                           |
| <i>Largura</i>     | 35,43%                                  | 55,06%       | 0,46%        | 55,52%                      | 44,45%                           |

Fonte: A autora (2019).

Avaliando os resultados dos padrões de corte em *Mezo Castani* descritos na TABELA 4, é possível notar que, em relação aos critérios de 1 ao 3 o padrão orientado por Comprimento obteve o melhor desempenho, sendo este igual ao modelo Empírico já praticado pela empresa.

Já em relação aos padrões em BRTX, segue a TABELA 5.

TABELA 5 – RESULTADOS DOS PADRÕES PARA PRODUÇÃO DO BALCÃO EM BRTX.

| <b>Modelo</b>                  | <b>Área não<br/>ocupada<br/>inteira</b> | <b>Sobra</b> | <b>Perda</b> | <b>Total de<br/>Retalho</b> | <b>Total de Área<br/>Ocupada</b> |
|--------------------------------|-----------------------------------------|--------------|--------------|-----------------------------|----------------------------------|
| <i>Empírico</i>                | 7,25%                                   | 12,16%       | 4,57%        | 16,73%                      | 83,26%                           |
| <i>Comprimento</i>             | 5,13%                                   | 14,31%       | 2,42%        | 16,73%                      | 83,26%                           |
| <i>Largura</i>                 | 9,66%                                   | 14,39%       | 2,34%        | 16,73%                      | 83,26%                           |
| <i>Largura<br/>Rotacionado</i> | 11,37%                                  | 13,55%       | 3,20%        | 16,75%                      | 83,26%                           |

Fonte: A autora (2019).

De acordo com a TABELA 5, o melhor padrão para cortar os itens em BRTX é o modelo orientado por Largura Rotacionado, sendo este escolhido pelo critério 2.

Vale ressaltar que os valores de perda calculados nas tabelas de 3 a 5 não consideram a perda ocasionada pela serra.

## 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O estudo sobre maneiras de gerar padrões de corte para a produção de móveis na empresa alvo, se mostra de extrema importância, pois, os resultados obtidos até o presente momento, via simulação no armário de banheiro e balcão, já mostram uma melhoria em relação a forma empírica de corte praticado atualmente pela mesma.

Além de economizar tempo no momento de gerar os padrões, com o auxílio do *SketchCut Lite* é possível obter um resultado gráfico desses padrões, facilitando a visualização dos itens na etapa de corte.

O novo padrão obtido para a produção do armário de banheiro, apesar de aumentar a perda em relação ao empírico, permitiu um melhor aproveitamento do espaço da chapa. Já para a produção do balcão, os padrões de corte para *Mezo Castani* e BRTX além de melhorar o aproveitamento das chapas para BRTX, o modelo também reduziu a perda em aproximadamente 1,37%.

Logo, com os resultados obtidos, é possível comprovar a importância de realizar alguns testes, antes de efetuar os cortes nas placas de MDF.

Antes de aplicar o algoritmo HHF, a abordagem do algoritmo FFDH, orientado nas duas direções, largura e altura, também foi de grande importância para explorar outras possibilidades de padrões. Assim, as simulações também contribuíram para avaliar a eficiência do FFDH permitindo uma exploração dos padrões.

Também vale ressaltar que os padrões propostos na simulação, não são o ótimo, assim, os próximos passos a serem realizados em um estudo futuro, será explorar novas heurísticas, e até mesmo um método exato, de modo a comparar os resultados e selecionar um melhor método de gerar padrões de cortes melhores para empresa. Uma abordagem do problema de geração de padrões de corte considerando sobras de placas também pode ser explorado em pesquisas futuras.

## REFERÊNCIAS

ANDRADE, Eduardo Leopoldino de. Introdução à Pesquisa Operacional. 5. ed. Rio de Janeiro: Ltc, 2015.

ARENALES, Marcos; ARMENTANO, Vinícius; MORABITO, Reinaldo; YANASSE, Horacio. Pesquisa Operacional para cursos de Engenharia. Editora Campus, 2007.

ARENALES, Marcos et al. Pesquisa Operacional: Para cursos de engenharia. 2. ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2015.

ABEPRO. Engenharia de Produção: Grande Área e Diretrizes Curriculares Documento, 1998.

ARENALES, M. N.; MORABITO, R. Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional São João del Rei - MG 23 a 26 de novembro Mini curso 3 Problemas de Corte e Empacotamento, 2004.

CARVALHO, J. M. S. Introdução à Investigação Operacional. v. 67, n. 6, p. 14–21, 2014.

FEOFILOFF P. Notas de aula sobre Fluxo em Redes. Instituto de Matemática e Estatística da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2018.

FIGUEIREDO, A. G. DE; RANGEL, S. Geração de padrões de corte produtivos para a indústria de móveis. Pesquisa Operacional, p. 1626–1636, 1965.

LEAO, A. A. S. Geração de colunas para problemas de corte em duas fases. p. 79, 2009.

LEIGUS, A.; FENERICH, A.; MORAIS, M. Aplicações da Pesquisa Operacional. v. 1, p. 1–8, 2009.

MORABITO, R.; PUREZA, V. Modelagem e Simulação. In: MIGUEL, P. A. C. et al. Metodologia de pesquisa em engenharia de produção e gestão de operações. Rio de Janeiro: Elsevier, 2010. p. 165-180.

MUNDO DO MARKETING. Panorama do mercado moveleiro no Brasil. Disponível em: <<https://www.mundodomarketing.com.br/inteligencia/estudos/335/panorama-do-mercado-moveleiro-no-brasil.html>>. Acesso em: 01 abr. 2019.

POLDI, K. C.; ARENALES, M. N. Heurísticas para o problema de corte de estoque unidimensional inteiro. Pesquisa Operacional, v. 26, n. 3, p. 473–492, 2007.

POLDI, K. C.; ARENALES, M. N. O problema de corte de estoque unidimensional multiperíodo. Pesquisa Operacional, v. 30, n. 1, p. 153–174, 2010.

RANGEL, S.; FIGUEIREDO, A. G. DE. O problema de corte de estoque em indústrias de móveis de pequeno e médio portes. *Pesquisa Operacional*, v. 28, n. 3, p. 451–472, 2009.

SALVADEO, G. P.; BRESSAN, G. M. Aplicação da Programação Linear em uma Indústria Moveleira: Corte de Estoque e Dimensionamento de Lotes \*. p. 1–14, 2015.

SHIRABAYASHI, J. et al. Problema do Caminho Mínimo no Vale do Ivaí – PR. *Logística*. Volume 2. p. 114, 2017.

SILVEIRA, D. T.; GERHARDT, T. E. Métodos de pesquisa. Porto Alegre: Editora da UFRGS, 2009.

TALI SOFTWARE. SketchCut Lite - Fast Cutting. Disponível em: <[https://play.google.com/store/apps/details?id=com.fortali.mapcut&hl=pt\\_BR&rdid=com.fortali.mapcut](https://play.google.com/store/apps/details?id=com.fortali.mapcut&hl=pt_BR&rdid=com.fortali.mapcut)>. Acesso em: 23 de fevereiro de 2019.

TEMPONI, E. C. C. Uma Proposta de Resolução do Problema de Corte Bidimensional via Abordagem Metaheurística. Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas, p. 100, 2007.

TEODORO, A. A. O problema do Corte Bidimensional: uma abordagem utilizando o métodos de gerção de colunas. p. 77, 2003.