

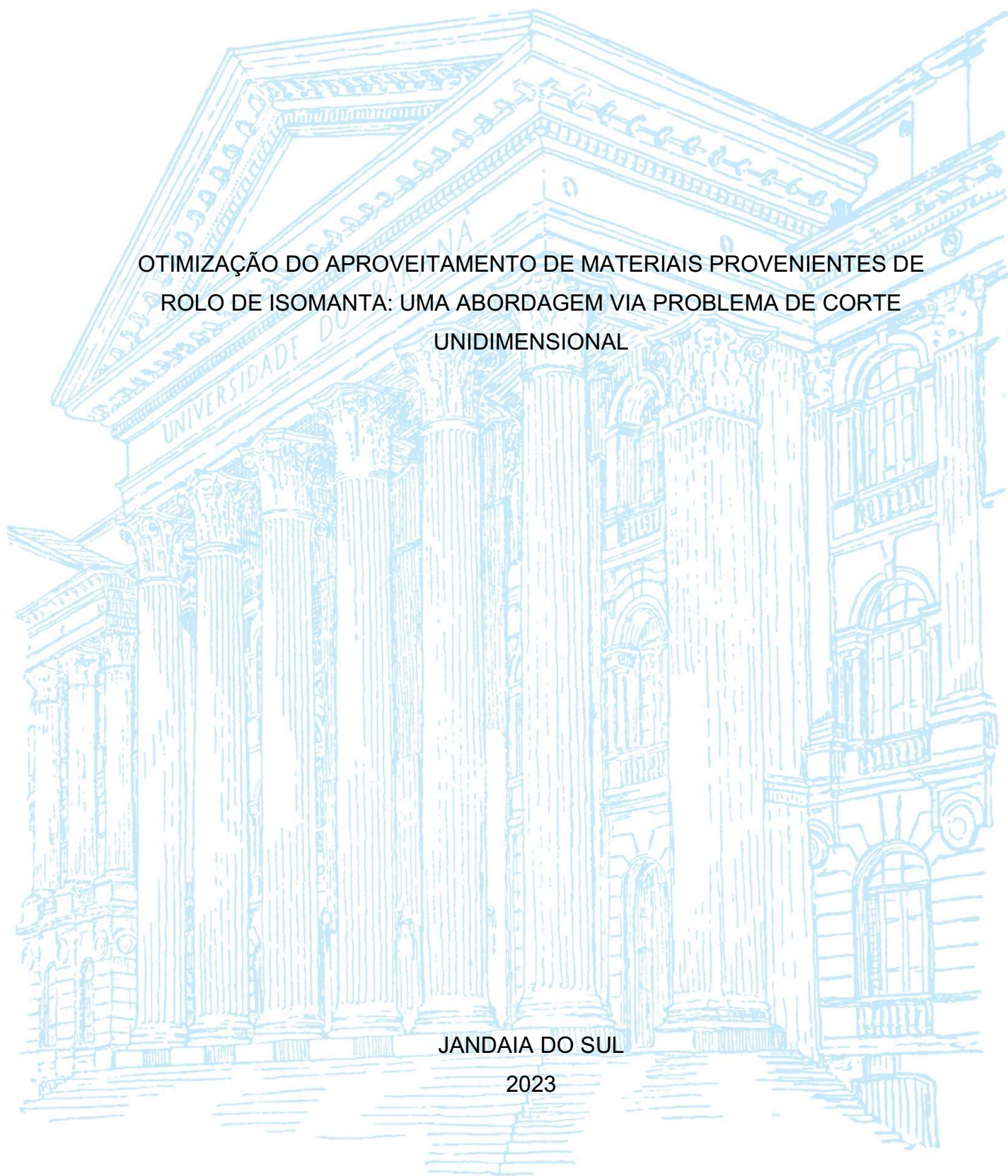
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

BRUNO JOSÉ RODRIGUES DE CAMPOS

OTIMIZAÇÃO DO APROVEITAMENTO DE MATERIAIS PROVENIENTES DE
ROLO DE ISOMANTA: UMA ABORDAGEM VIA PROBLEMA DE CORTE
UNIDIMENSIONAL

JANDAIA DO SUL

2023



BRUNO JOSÉ RODRIGUES DE CAMPOS

OTIMIZAÇÃO DO APROVEITAMENTO DE MATERIAIS PROVENIENTES DE
ROLO DE ISOMANTA: UMA ABORDAGEM VIA PROBLEMA DE CORTE
UNIDIMENSIONAL

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de graduação em Engenharia de Produção, Campus Avançado de Jandaia do Sul, Universidade Federal do Paraná, como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel em Engenharia de Produção.

Orientador: Prof. Dr. Marco Aurelio Reis dos Santos.

JANDAIA DO SUL

2023

CAMPOS, Bruno José Rodrigues de
C198b *Otimização do aproveitamento de materiais provenientes de rolo de Isomanta: uma abordagem via problema de corte unidimensional/ Bruno José Rodrigues de Campos. Jandaia do Sul: 2023. 47 fs.: 1.*

Prof. Dr. Marco Aurélio Reis dos Santos
Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Universidade Federal do Paraná. Campus Jandaia do Sul. Curso de Graduação em Engenharia de Produção.

1. Corte unidimensional. 2. Pesquisa Operacional. 3. Programação linear. I. Santos, Marco Aurélio Reis dos. orient. II. Título. III. Universidade Federal do Paraná.

CDD: 658.56



UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

PARECER Nº 78-/2023/UFPR/R/JA
PROCESSO Nº 23075.079917/2019-87
INTERESSADO: BRUNO JOSÉ RODRIGUES DE CAMPOS

TERMO DE APROVAÇÃO DE TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

Título: OTIMIZAÇÃO DO APROVEITAMENTO DE MATERIAIS PROVENIENTES DE ROLO DE ISOMANTA: UMA ABORDAGEM VIA PROBLEMA DE CORTE UNIDIMENSIONAL

Autor(a): BRUNO JOSÉ RODRIGUES DE CAMPOS

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 no dia 02/03/2023, das 13h30 às 15h30.

Dr. Marco Aurélio Reis dos Santos (Orientador)

Dr. Jair da Silva

Dr. Rodrigo Clemente Thom de Souza



Documento assinado eletronicamente por **RODRIGO CLEMENTE THOM DE SOUZA, PROFESSOR DO MAGISTERIO SUPERIOR**, em 03/03/2023, às 17:19, conforme art. 1º, III, "b", da Lei 11.419/2006.



Documento assinado eletronicamente por **JAIR DA SILVA, PROFESSOR DO MAGISTERIO SUPERIOR**, em 10/03/2023, às 09:25, conforme art. 1º, III, "b", da Lei 11.419/2006.



Documento assinado eletronicamente por **MARCO AURELIO REIS DOS SANTOS, PROFESSOR DO MAGISTERIO SUPERIOR**, em 12/03/2023, às 19:37, conforme art. 1º, III, "b", da Lei 11.419/2006.



A autenticidade do documento pode ser conferida [aqui](#) informando o código verificador **5341006** e o código CRC **63969385**.

Dedico esse trabalho a minha família que me acompanhou e me apoiou durante essa jornada, aos meus amigos que tornaram esse período tão especial e em especial a minha avó que tanto sonhou com esse momento.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus que me permitiu chegar até aqui e me deu forças para continuar diante de tudo que foi necessário enfrentar.

Meu profundo agradecimento também a minha família que sempre me apoiou e fez tudo que foi possível para que eu fosse até essa última etapa da graduação, aos meus amigos que seguiram o mesmo sonho e tive a felicidade de compartilhar a sala e tantos momentos durante essa jornada, agradeço também a minha namorada que me deu todo o apoio e esteve ao meu lado durante esse processo.

Por fim agradeço a UFPR Campus Jandaia do Sul e aos seus docentes que tornaram tudo isso possível.

Gostando ou não a vida é um jogo. Quem nega essa verdade, quem se recusa a entrar no jogo, fica esperando nas linhas laterais.

(PHIL KNIGHT, 2016, p. 12)

RESUMO

O planejamento de atividades auxilia na otimização de processos e redução de custos e a Pesquisa Operacional dispõe de ferramentas que possibilitam esse planejamento e garantem competitividade para as empresas, o que atualmente é essencial para se manter no mercado. Este trabalho foi realizado com os dados de uma indústria que produz rolos de 1500mm de isomanta e vende peças já cortadas provenientes desse material nas opções: 300mm, 400mm, 450mm, 500mm, 600mm e 1500 mm; e tem como objetivo gerar um padrão de corte através de programação dinâmica e prescrever um planejamento que possibilite o aproveitamento dos 1500mm da peça maior através do processo de modelagem e simulação via problema de corte unidimensional utilizando o método de programação linear inteira com aplicação no *Solver*®, suplemento presente no *Microsoft Excel*. Foram gerados padrões de corte, que a partir da demanda mensal possibilitaram um planejamento semanal para a atividade de corte onde toda a demanda pode ser atendida, o estoque de segurança mantido e a produção poderia ser feita sem grandes variações entre as semanas, mostrando que para determinadas situações o *Microsoft Excel*®, pode ser uma ferramenta de grande valor, especialmente quando se trata de pequenas e médias empresas onde muitas vezes o uso de *softwares* mais complexos se torna inviável seja pelo custo ou pela complexibilidade em capacitar os colaboradores a utilizar tais sistemas.

Palavras-chave: Problemas de Corte e Empacotamento. Corte Unidimensional. Programação Dinâmica. Pesquisa Operacional. *Microsoft Excel*®.

ABSTRACT

The activity planning helps to optimize processes and reduce costs and the Operational Research has tools that make this planning possible and ensure competitiveness for companies, which nowadays is essential to keep in the market. This work was carried out using data from an industry that produces 1500mm rolls of isomanta and sells pieces already cut from this material in the following options: 300mm, 400mm, 450mm, 500mm, 600mm and 1500 mm; and aims to generate a cutting pattern through dynamic programming and prescribe a planning that allows the use of the 1500mm of the larger piece through the modeling and simulation process using the one-dimensional cutting problem using the integer linear programming method with application in Solver®, add-in present in Microsoft Excel. Cutting patterns were generated, which based on the monthly demand allowed a weekly planning for the cutting activity where all the demand can be supplied, the safety stock sustained and production could be done without major variations between weeks, showing that for certain situations Microsoft Excel® can be a valuable tool, especially when it comes to small and medium-sized companies, where the use of more complex software often becomes unviable, either because of the cost or the complexity of training employees to use such systems.

Keywords: Cutting and Packing Problems. One Dimensional Cut. Dynamic Programming. Operational Research. Microsoft Excel®.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Plástico Bolha	16
Figura 2 – Flocos de Isopor	16
Figura 3 - Rolo de isomanta	16
Figura 4 - Processo de Modelagem	21
Figura 5 - Tipologia proposta por Dyckhoff.....	22
Figura 6 - Tipologia proposta por Wäscher, Haussner e Schumann.....	23
Figura 7 - Plano de corte unidimensional	26
Figura 8 Plano de corte Bidimensional.....	26
Figura 9 - Plano de corte tridimensional.....	27
Figura 10 - Padrões de corte.....	28
Figura 11 - Etapas para aplicação da programação dinâmica	29
Figura 12 - Enquadramento da pesquisa	32
Figura 13 - Etapas da pesquisa.....	33
Figura 14 - Interface e passos para utilizar o <i>Solver</i> ®.....	35
Figura 15 - Produtos oferecidos e padrões de corte possíveis.....	40

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Aplicação prática da Pesquisa Operacional em Organizações	18
Tabela 2: Pedidos diários de bobinas	37
Tabela 3: Demanda e Estoque de segurança	38
Tabela 4: Geração do padrão de corte.....	39
Tabela 5: Demanda dos itens por semana.....	41
Tabela 6: Tabela de planejamento da produção	41
Tabela 7: Tabela de planejamento de corte	43
Tabela 8: Resultados obtidos.....	44
Tabela 9 - Produção por padrão de corte na semana 1	45
Tabela 10: Resultados na produção e estoque.....	45

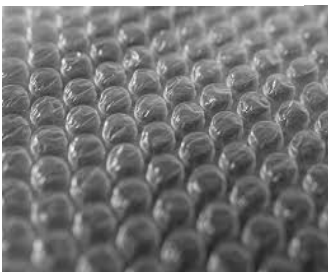
SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	16
1.1 OBJETIVOS	17
1.1.1 Objetivo geral	17
1.1.2 Objetivos específicos.....	17
1.2 JUSTIFICATIVA	18
2 REVISÃO DE LITERATURA	20
2.1 PESQUISA OPERACIONAL	20
2.2 PROBLEMAS DE CORTE E EMPACOTAMENTO	21
2.2.1 Planos de corte	25
2.2.1.1 Problemas de corte unidimensional.....	25
2.2.1.2 Problemas de corte bidimensional.....	26
2.2.1.3 Problemas de corte tridimensional.....	27
2.2.1.4 Problemas de corte multidimensional	27
2.2.2 Padrões de Corte (CORTE GUILHOTINADO E NÃO-GUILHOTINADO).....	28
2.3 PROGRAMAÇÃO DINÂMICA	28
3 METODOLOGIA	31
3.1 CLASSIFICAÇÃO DA PESQUISA	31
3.2 ETAPAS DA PESQUISA.....	32
3.3 DESCRIÇÃO DO PROBLEMA.....	34
3.4 SOLUÇÃO PROPOSTA.....	34
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES	37
4.1 DESENVOLVIMENTO.....	37
4.2 APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS	44
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS	47
5.1 RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	47
REFERÊNCIAS	48

1 INTRODUÇÃO

Produtos entregues com algum tipo de avaria são um dos maiores motivos de reclamação por parte dos clientes e uma das causas desses danos pode estar na etapa do processo de transporte. Entregar produtos em perfeitas condições é fundamental para garantir a satisfação dos clientes e evitar prejuízos a empresa (RIBEIRO *et.al*, 2021). Durante o processo de transporte e manuseio é possível que ocorram avarias no produto, tais como, quebra, manchas, arranhões, alteração de cor e danos causados por umidade e temperatura (SEBRAE, 2015) e uma alternativa utilizada para diminuir os riscos desses incidentes é envolver seus produtos com materiais para proteção. Um dos materiais mais utilizados, e principalmente, conhecido, é o plástico bolha, que é eficaz na proteção de produtos frágeis como vidros, cristais, cerâmicas dentre outros, é totalmente reciclável e possui custo baixo (GUIA DO INVESTIDOR, 2018). Outra opção que vem sendo amplamente utilizada são as isomantas, um filme de polietileno expandido, que pode ser utilizado para proteger diversos tipos de produtos, dentre eles os mais pesados - tipo de aplicação para qual o plástico bolha não é recomendado - como móveis, ferramentas, eletrodomésticos, entre outros, protegendo-os contra danos, além de ocupar menos espaço na embalagem em comparação com o plástico bolha, já que se trata de um plástico fino, mas um de seus atributos mais interessantes é o custo por metro quadrado inferior ao plástico bolha. As Figuras 1, 2 e 3 apresentam alguns dos tipos de embalagens de proteção disponíveis no mercado.

Figura 1 – Plástico Bolha



Fonte: Dinâmica Ambiental (2023)

Figura 2 – Flocos de Isopor



Fonte: Knauf Isopor (2020)

Figura 3 - Rolo de isomanta



Fonte: Mercado Livre (2023)

O uso eficiente dos recursos de produção é fundamental para que o custo do produto seja o menor possível, assim a redução do desperdício é um dos principais parâmetros que pode ser abordado com o objetivo de reduzir custos de produção. Na

indústria deste estudo de caso os rolos de isomanta são cortados em larguras que atendam a demanda dos clientes, então o planejamento adequado dessa atividade possibilitará que as sobras sejam reduzidas já que não é possível utilizá-las em outras aplicações. Diante disso será utilizada para a otimização desse processo a abordagem de problemas de corte, cuja aplicação está presente em vários tipos de processos de fabricação e resume-se em cortar peças maiores em subprodutos priorizando determinados objetivos (VIANA, 2000), trata-se de um tema sobre o qual o interesse se mostra crescente e que é recorrente dentro das indústrias, sobras excessivas são inaceitáveis se tratando do objetivo de minimizá-las (CHERRI, ALEM, SILVA; 2007).

Na empresa estudada é comum após o corte das peças sobraem pedaços que não poderão ser aproveitados. Portanto este trabalho visa estudar os problemas de corte, sobretudo unidimensional para que se proponha novas táticas de corte de rolos de forma a minimizar as sobras de materiais e conseqüentemente reduzir os desperdícios.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo geral

Otimizar o aproveitamento de Material em rolos de isomanta por meio de táticas de solução de Problemas de Corte Unidimensional.

1.1.2 Objetivos específicos

- Coletar e agrupar os dados sobre a demanda da empresa;
- Gerar a partir de Programação Dinâmica padrões de corte onde as sobras sejam 0;
- Obter um resultado que atenda a demanda, mantenha um estoque mínimo e possibilite uma produção que respeite a capacidade da fábrica;
- Avaliar a viabilidade dos resultados apresentados.

1.2 JUSTIFICATIVA

Para que uma empresa prospere é necessário que ela atenda as demandas de seus clientes, e isso requer o uso de recursos, portanto é necessário um certo nível de planejamento que torne possível atender a demanda fazendo uso eficiente dos meios disponíveis, sejam eles tempo, dinheiro, material, mão de obra, entre outros. Os desperdícios no processo de produção elevam os custos dos produtos, o que prejudica a empresa na busca por competitividade (OHNO, 1997).

Como citado anteriormente, a isomanta é um filme plástico com aplicabilidade bem ampla, alguns exemplos são na proteção de móveis, produtos eletrônicos e itens frágeis no geral, devido as suas características ela também pode ser usada como isolante acústico e térmico e para preenchimento de coletes salva-vidas (FAE, 2022). O corte de rolos de isomanta pode ser otimizado através dos modelos de problemas de corte unidimensional abordados pela Pesquisa Operacional, que dispõe de ferramentas que auxiliam na elaboração de decisões que gerem os melhores resultados possíveis (Santos, et al., 2016).

Segundo Hillier e Lieberman (2010), a Pesquisa Operacional muda a forma de análise de problemas de alocação de recursos e se torna uma ferramenta administrativa de grande valor, sua utilização tem potencial muito grande para auxiliar as metas estabelecidas no planejamento estratégico da empresa.

Tabela 1: Aplicação prática da Pesquisa Operacional em Organizações

Organização	Atividade	Ano	Retorno US\$
<i>Monsanto Corp</i>	Otimização de processos de produção em sua fábrica química para reduzir custos	1985	2 milhões
<i>San Francisco Police Department</i>	Alocação de policiais de forma otimizada através de um sistema computadorizado	1989	11 milhões
<i>Texaco, Inc</i>	Combinação ideal dos componentes do combustível atendendo requisitos de qualidade, exigências para comercialização	1989	30 milhões

<i>AT&T</i>	Desenvolver um sistema baseado em PCs para orientar clientes comerciais no projeto de <i>call centers</i> .	1993	750 milhões
<i>Delta Air Lines</i>	Alocação de aeronaves em mais de 2500 voos domésticos	1994	100 milhões
<i>Proctor & Gamble</i>	Reestruturação da logística e da produção reduzindo custos e tendo entregas mais rápidas	1997	200 milhões
China	Selecionar e programar de forma otimizada projetos para atender a demanda futura de energia.	1995	450 milhões

Fonte: Adaptado de Hillier e Lieberman(2006)

A Tabela 1 apresenta algumas situações em que a Pesquisa Operacional foi aplicada e os resultados que foram obtidos. É possível notar seu uso em diferentes tipos de organizações em recursos variados e com retornos elevados. Esses resultados fazem com que a aplicação da Pesquisa Operacional no contexto deste estudo de caso seja válido.

2 REVISÃO DE LITERATURA

No presente capítulos serão abordados alguns temas importantes para a compreensão do problema apresentado neste estudo de caso.

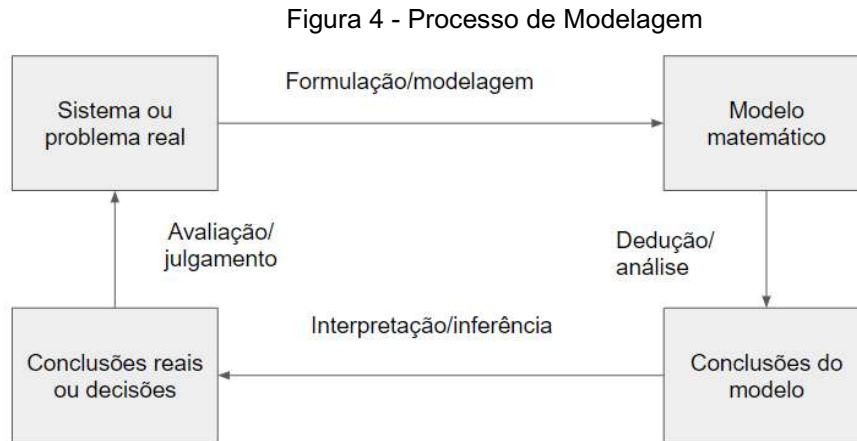
2.1 PESQUISA OPERACIONAL

A Revolução Industrial possibilitou uma evolução para empresas que até então eram pequenas, tornando muitas delas grandes organizações. A mudança no processo produtivo de métodos artesanais para mecanizados possibilitou o crescimento da produção industrial (SANTOS et al., 2018) como consequência desse aumento, gerir os recursos para funcionamento dessas organizações se torna mais complicado. A Pesquisa Operacional surgiu nesse cenário oferecendo métodos capazes de auxiliar na alocação de recursos de maneira eficiente (HILLIER, LIEBERMAN, 2006).

A Pesquisa Operacional utiliza modelos matemáticos para tratar problemas reais (SANTOS, 2013), ela consiste na experimentação de modelos matemáticos que permitem avaliar situações e auxiliar na tomada de decisão, o que a caracteriza dentro das organizações como uma ferramenta gerencial (ANDRADE, 2018). Trata-se de um mecanismo que pode ser aplicado nas mais variadas áreas, atuando através da modelagem matemática e simulação de cenários,

Arenales (2015) afirma que a Pesquisa Operacional auxilia no processo decisório utilizando métodos científicos para a resolução de problemas tornando possível a aplicação eficiente de recursos. Ainda de acordo com Araújo (2009), a Pesquisa Operacional é uma ferramenta capaz de aprimorar os processos de organizações dos mais variados ramos, garantindo assim sua sobrevivência

A modelagem matemática consiste em atribuir relações matemáticas a um problema. Tais relações podem se aproximar ou não de modelos matemáticos padrão, caso se aproximem elas podem ser resolvidas por meio de métodos já existentes, se não o modelo pode ser resolvido com o auxílio de métodos heurísticos e simulações (TAHA, 2008). Analisando a Figura 4 é possível ver que a partir da formulação de um sistema obtém-se o modelo matemático, através de dedução e análise é possível chegar a conclusões sobre o modelo, tais conclusões são interpretadas e possibilitam a tomada de decisão que será aplicada ao problema real.



FONTE: ARENALES, *et al.* (2015)

É possível notar que a Pesquisa Operacional pode ser aplicada às mais diversas áreas e situações, dentre elas, estão os problemas de corte e empacotamento.

2.2 PROBLEMAS DE CORTE E EMPACOTAMENTO

A grande competitividade presente no mercado atual faz com que as indústrias busquem meios de produzir atendendo aos padrões dos clientes e ao mesmo tempo tentando reduzir todos os custos possíveis (GRACANIN; BUCHMEISTER; LALIC, 2014). Um dos principais meios para se reduzir os custos é através da redução do desperdício de materiais.

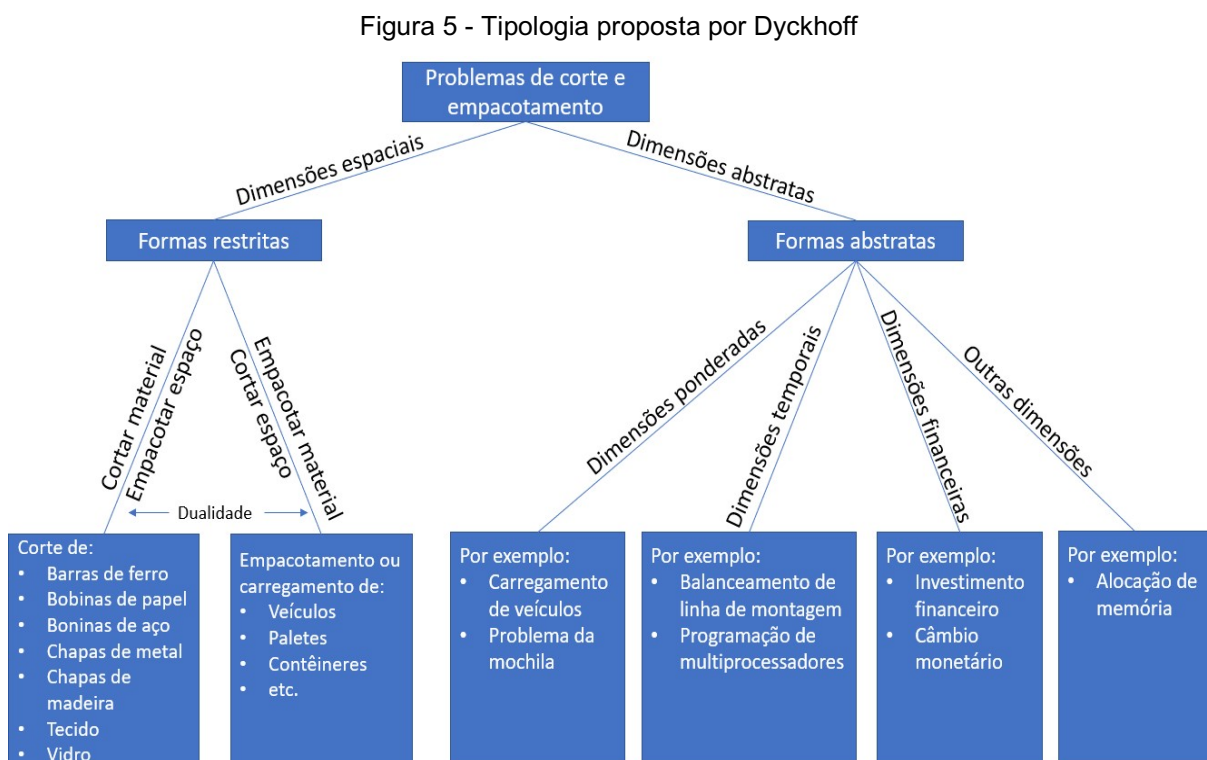
As atividades de corte de itens prontos ou matéria prima tem um custo que pode sofrer uma grande variação, um dos principais fatores para essa variação é a maneira como o material é cortado. Um dos meios que podem ser utilizados para o melhor aproveitamento do material está presente nos problemas de corte e empacotamento, trata-se de cortar peças maiores em peças menores com a finalidade de atingir determinados objetivos, sejam eles reduzir custos, reduzir desperdícios, cortar a menor quantidade de chapas, entre outros (MORABITO, 1994). Apesar de possuírem aplicações distintas, corte e empacotamento podem ser tratados em um mesmo grupo de problemas, devido à similaridade que eles possuem em sua teoria (CUNHA, 2018).

Para solucionar esse tipo de problema é necessário primeiro encontrar todos os padrões de corte, combinações possíveis, para o item que será cortado em

subprodutos e em seguida estabelecer quantas vezes cada combinação deve ser repetida (CAMPELO, GHIDINI, 2022).

Os principais trabalhos na área de problema de corte e empacotamento começaram a ser desenvolvidos na década de 60 onde, em um trabalho desenvolvido por Gilmore e Gomory (1965), foi criado um método para resolver problemas de corte bidimensional abordando corte guilhotinado, estagiado e irrestrito. Desde então a partir dos avanços tecnológicos os estudos nessa área da Pesquisa Operacional estenderam-se e durante a década de 1980 com o surgimento das planilhas eletrônicas, foi possível ampliar a utilização da Pesquisa Operacional na resolução de modelos matemáticos (LONGARAY, 2013).

Vários trabalhos foram publicados desde a década de 1960, eles contemplaram várias áreas de estudos, contudo Dyckhoff em 1990 publicou um trabalho que listava várias das pesquisas feitas sobre o tema de corte e empacotamento até então e destacando as áreas onde essas pesquisas foram feitas e os temas que abordavam integrando-os e os classificando.



FONTE: Dyckhoff (1990).

Em trabalho publicado em 2007, WÄSCHER; HAUSSNER; SCHUMANN, apontaram que com o passar dos anos e desenvolvimento de novos trabalhos e

ferramentas, a classificação proposta por Dyckhoff em 1990 não era tão abrangente quanto se necessitava e então propuseram uma nova a partir da ideia inicial de Dyckhoff uma nova classificação

Figura 6 - Tipologia proposta por Wäscher, Haussner e Schumann



FONTE: Wäscher, Haussner e Schumann (2007).

No estudo de Problemas de Corte e Empacotamento é possível destacar os Problemas de Corte de Estoque Multiperíodo, cujo objetivo é cortar peças maiores disponíveis em estoque em peças menores abrangendo um horizonte de planejamento e com a possibilidade de criar ou não estoque para os períodos seguintes (POLDI; ARENALES, 2010), a seguinte formulação matemática proposta por Poldi & Arenales (2010) será aplicada na resolução do problema abordado neste trabalho:

$t = 1, \dots, T$ representa os períodos disponíveis;

$k = 1, \dots, K$ tipos de objetos que podem ser cortados disponíveis em estoque;

$j = 1, \dots, N_k$ Número de padrões de corte cortes possíveis para o objeto;

$i = 1, \dots, m$ número de tipos de itens que podem ser cortados;

L_k = Comprimento do Objeto $k=1, \dots, K$;

e_{kt} = Quantidade de material que pode ser cortado disponível em cada período;

l_i = comprimento do produto do tipo i ;

d_{it} = demanda do produto i no período t (\mathbf{d}_t = vetor m-dimensional de componentes d_{it});

α_{ijkt} = número de itens do tipo i no j -ésimo padrão de corte para o objeto do tipo k no período t ; sendo \mathbf{a}_{jkt} = vetor m-dimensional com coordenadas α_{ijkt} ;

c_{jkt} = custo de corte para o j -ésimo item do objeto k no período t $j=1, \dots, N_k, k=1, \dots, K, t=1, \dots, T$.

c_{it}^r = custo de estocar itens prontos $i=1, \dots, m, t=1, \dots, T$;

c_{kt}^s = custo para estocar itens k , objetos para corte $k=1, \dots, K, t=1, \dots, T$;

x_{jkt} = número de objetos cortados seguindo o padrão j , para o item k no período t ;

r_{it} = número de itens do tipo i antecipados para o período t (peças prontas que vão para o estoque)

s_{kt} = objetos não cortados que ficam no estoque

O modelo tem a seguinte formulação:

$$\text{Min} \sum_{t=1}^T \sum_{j=1}^{N_1} c_{j1t} x_{j1t} + \sum_{j=1}^{N_2} c_{j2t} x_{j2t} + \dots + \sum_{j=1}^{N_k} c_{jkt} x_{jkt} + \sum_{i=1}^m c_{it}^r r_{it} + \sum_{k=1}^K c_{kt}^s s_{kt} \quad (1)$$

sujeito a :

$$\sum_{j=1}^{N_1} \alpha_{j1t} x_{j1t} + \sum_{j=1}^{N_2} \alpha_{j2t} x_{j2t} + \dots + \sum_{j=1}^{N_K} \alpha_{jkt} x_{jkt} + r_{t-1} - r_t = \mathbf{d}_t \quad t = 1, \dots, T \quad (2)$$

$$\sum_{j=1}^{N_k} x_{jkt} - s_{k,t-1} + s_{kt} = e_{kt}, \quad k = 1, \dots, K \quad t = 1, \dots, T \quad (3)$$

$$x_{jkt} \geq 0 \text{ inteiros}, r_{it} \geq 0, s_{kt} \geq 0, j = 1, \dots, N_k, k = 1, \dots, K, t = 1, \dots, T \quad (4)$$

Fonte: (POLDI; ARENALES, 2010)

A função objetivo (1) visa minimizar os custos relativos ao corte de materiais dentro do horizonte de planejamento definido pelo período T , levando em consideração os custos de produção que envolvem o corte e os custos de estoque de produtos prontos e materiais para cortar. A primeira (2) e a terceira (4) restrições garantem o atendimento da demanda e a segunda (3) garante que não serão extrapolados os limites de materiais.

Para o caso utilizado em questão, como foi colocado como condição que a limitação de peças cortadas no período só seria devido a capacidade de Mão de Obra, sendo que as quantidades disponíveis seriam compradas de acordo com as peças produzidas, ou seja, não haveria estoque de rolos de isomantas. Desta forma, equação (3) foi substituída pela inequação (5).

$$\sum_{j=1}^{N_k} x_{jkt} \leq e_{kt}, k = 1, \dots, K \quad t = 1, \dots, T \quad (5)$$

Fonte: AUTOR (2023)

Além do mais, para situação analisada, resolveu-se considerar a demanda discriminada para cada item, ao invés de considerar a demanda agregada, uma vez que para alguns períodos não haveria demanda para alguns itens. Sendo assim, foi substituída a equação (2) pela equação (6) conforme se segue.

$$\sum_{j=1}^{N_k} a_{jkt} x_{jkt} + r_{t-1} - r_t = d_{kt} \quad t = 1, \dots, T; k = 1, \dots, K \quad (6)$$

Fonte: AUTOR (2023)

Note que em (6), o parâmetro d_{kt} representa agora a demanda do item k no período t .

É possível classificar os problemas de corte de acordo com o tipo de corte, de acordo com o padrão de corte e conforme o tipo de caso em que o problema se encontra.

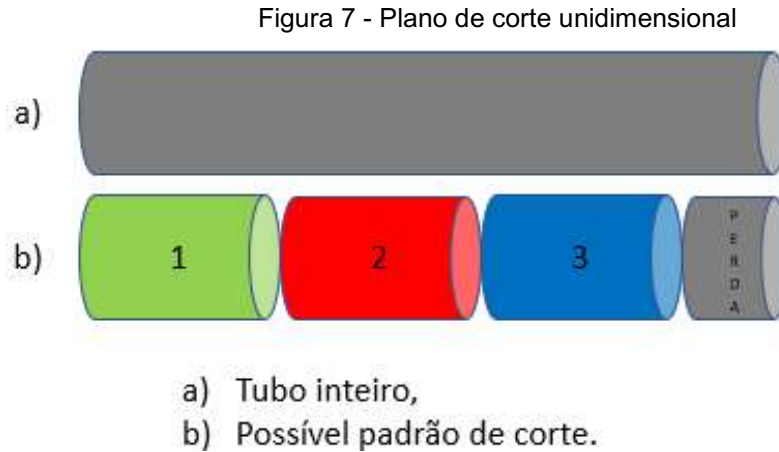
2.2.1 Planos de corte

Os planos de corte auxiliam na classificação de problemas de corte de acordo com as dimensões que são relevantes para a realização da tarefa, dividindo-se em corte unidimensional, corte bidimensional, corte tridimensional e corte multidimensional.

2.2.1.1 Problemas de corte unidimensional

Os problemas de corte unidimensional caracterizam-se por apenas uma das dimensões ser relevante, pode ser aplicado em indústrias que necessitam cortar bobinas de aço, papel, corte de toras, dentre outros onde normalmente o comprimento

do material é relevante. A Figura 7 ilustra um exemplo onde uma peça de Tubo inteiro (a) é cortado em três itens menores em (b) (1, 2 e 3), havendo uma perda de material.

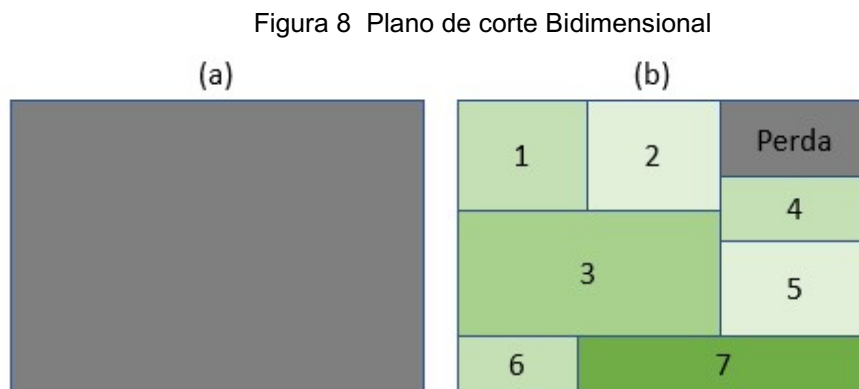


FONTE: Adaptado CHERRI (2009).

2.2.1.2 Problemas de corte bidimensional

Em problemas de corte bidimensional, o comprimento e a largura dos itens são relevantes. A resolução desse tipo de problemas surge da combinação de itens dentro das dimensões do objeto que será cortado (CHERRI, 2009). Este padrão de corte pode ser utilizado em processos de cortes de chapas de madeira, chapas de vidro, corte de tecidos entre outros processos.

A Figura 8 ilustra um exemplo onde uma peça de inteira (a) é cortada em 7 itens menores em (b).



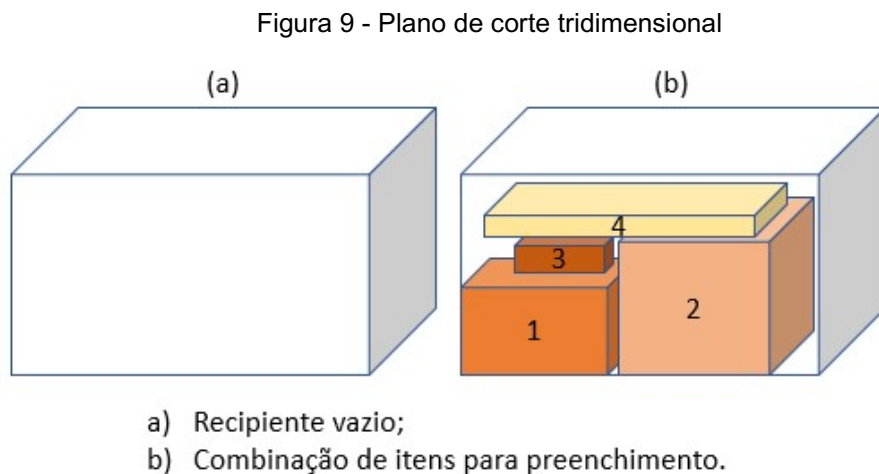
a) Superfície inteira,
b) Possível padrão de corte.

FONTE: Adaptado CHERRI (2009).

2.2.1.3 Problemas de corte tridimensional

Para estabelecer padrões de corte para este tipo de problema é necessário se considerar comprimento, largura e a altura. É possível realizar uma analogia entre problemas de corte tridimensional e problemas de empacotamento, o objetivo de ambos é alocar unidades menores dentro de espaços maiores, podendo ser aplicado por exemplo no preenchimento de contêineres dentre outros (CHERRI, 2009).

A Figura 9 ilustra um problema de empacotamento, onde um recipiente vazio (a) pode ser preenchido por 4 itens tridimensionais menores conforme a combinação mostrada em (b).



FONTE: Adaptado CHERRI (2009).

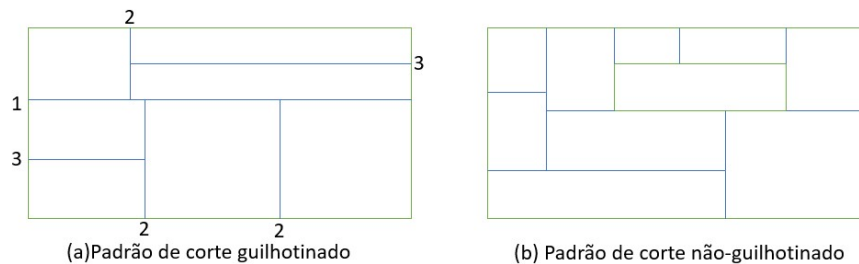
2.2.1.4 Problemas de corte multidimensional

Este tipo de problema envolve corte ou empacotamento de materiais bidimensionais ou tridimensionais onde uma das dimensões é variável. Pode ser utilizado por exemplo no corte de um rolo de tecido, onde sua largura permanece fixa e no preenchimento de um contêiner fixando a sua largura e comprimento e minimizando a altura utilizada (ARAÚJO; ARAÚJO; PASSOS, 2018).

2.2.2 Padrões de Corte (CORTE GUILHOTINADO E NÃO-GUILHOTINADO)

É possível também classificar os problemas de corte de acordo com o padrão de corte que será utilizado, sendo esses definidos como corte guilhotinado e corte não-guilhotinado. A Figura 10 ilustra um exemplo de um tipo de padrão corte guilhotinado (a), do tipo de padrão de corte não guilhotinado (b).

Figura 10 - Padrões de corte



FONTE: AUTOR (2020).

O Padrão de corte guilhotinado permite que cortes sejam realizados de uma extremidade a outra da peça, separando os itens cortados (SILVA, 2017), esse tipo de corte pode ainda ser classificado de acordo com a quantidade de estágios realizados no processo, cada estágio consiste em cortes consecutivos na mesma direção na peça (TEMPONI, 2007), analisando o item a na Figura 10, é possível ver que se trata de um corte guilhotinado com 3 estágios.

O padrão de corte não-guilhotinado segue os contornos das peças menores a serem cortadas sem dividir a peça a ser cortada em retângulos sem cortes que se estendem de uma extremidade à outra da peça original.

Existem diversos modos de resolução para problemas de otimização e os principais critérios utilizados na hora de escolher um método são o tempo de resposta e a qualidade do resultado obtido (SILVA, 2017). O método utilizado nesse trabalho será a programação dinâmica, capaz de apresentar um resultado exato para o problema apesar de exigir maior tempo computacional.

2.3 PROGRAMAÇÃO DINÂMICA

Problemas de corte e empacotamento se encaixam na classe de problemas NP-difícil, este tipo de problema exige muito esforço computacional para a sua resolução e isso torna inviável o uso de métodos exatos para a sua resolução na

maioria dos casos (CACCALANO, CUNHA; 2015). Porém em alguns casos é possível obter resultados exatos através do uso da programação dinâmica.

A programação dinâmica é uma ferramenta que pode ser utilizada para resolver problemas onde decisões devem ser tomadas em estágios, para isso é necessário decompor o problema principal em subproblemas, tornando possível trabalhar com cada variável individualmente, o que facilita a resolução do problema (TAHA, 2008). Cardoso (2005) afirma que para cada subproblema é tomada uma decisão ótima, e esta irá interferir nos estágios posteriores. Esta ferramenta foi introduzida por Richard Bellman em 1957 em seu livro *Dynamic Programming*, e se baseia no princípio de otimalidade estabelecido por ele, no qual “uma política ótima é formada de subpolíticas ótimas”, isso quer dizer que o resultado ótimo é consequência de resultados ótimos obtidos nos subproblemas.

Raupp, Gibbon e Beuren (2004) mostram que a programação dinâmica pode ser aplicada aliada a ferramentas de contabilidade de custos industriais para resolver problemas que envolvem a alocação de recursos escassos de forma a obter a sua melhor utilização, atingindo objetivos de melhor aproveitamento de material, espaço, capital investido, dentre outras funções desejadas para o problema.

Figura 11 - Etapas para aplicação da programação dinâmica



Fonte: adaptado Arenales (2015)

Como é possível observar pela na Figura 11, a programação dinâmica de acordo com Arenales (2015), possui como principais características:

Estágios: Subproblemas resultantes do problema original, são as fases ou períodos do problema o resultado de cada estágio vai incidir sobre o estágio seguinte.

Estados: São as possibilidades de decisões que podem ser tomadas em cada estágio, como quanto produzir em um período ou quanto de recursos usar. Para cada estágio pode haver uma quantidade de possíveis estados e todos eles devem ser avaliados.

Decisões: São tomadas em cada estágio baseando-se nas análises dos estados, toda decisão tomada em um estágio incorre um custo e interfere no estágio seguinte e nos próximos estados.

3 METODOLOGIA

De acordo com Gil (2002) a pesquisa científica é feita com o objetivo de encontrar respostas para determinadas questões ou organizar as respostas existentes para que possam ser aplicadas a determinados problemas e a motivação da pesquisa é a busca ao conhecimento ou melhoria na eficiência em determinadas situações. O método pode ser definido como “conjunto de processos que o espírito humano deve empregar na investigação e demonstração da verdade”. (CERVO e BERVIAN, 2002, p. 23).

“O poder de bem julgar e distinguir o verdadeiro do falso, que é propriamente o que se denomina bom senso ou razão, é por natureza igual em todos os homens; e portanto que a diversidade de nossas opiniões não decorrem de uns serem mais razoáveis que os outros, mas somente de que conduzimos nossos pensamentos por diversas vias e não consideramos as mesmas coisas”.

Descartes, Discurso sobre o método, Parte 1.

No início de sua obra Discurso Sobre o Método, René Descartes reforça a importância que tem o modo como as ideias são apresentadas, e o “Bom Senso” a que ele se refere diz respeito a capacidade de interpretar informações e isso influencia forma como construímos conhecimento. Guiar um trabalho de pesquisa seguindo uma Metodologia Científica ajuda a padronizar o modo como uma pesquisa pode ser feita e assim melhorar a sua compreensão.

3.1 CLASSIFICAÇÃO DA PESQUISA

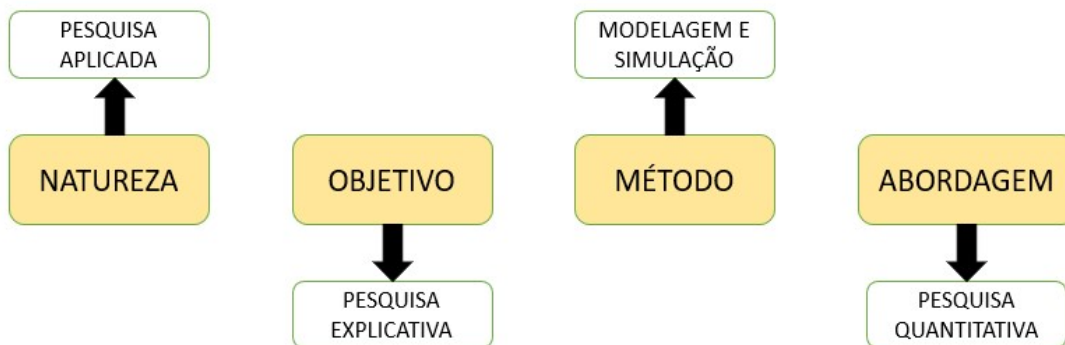
Um trabalho pode ser classificado quanto a sua natureza básica ou aplicada. Pesquisas básicas tem como objetivo gerar conhecimentos novos sem a necessidade de uma aplicação prática, já as pesquisas aplicadas têm como objetivo o aprofundamento em determinado saber para resolver determinados problemas, logo é esperada a sua aplicação prática (PRODANOV; FREITAS, 2013). Quanto a natureza da pesquisa este trabalho enquadra-se como pesquisa aplicada, já que o objetivo é gerar uma programação de corte para uma empresa de rolos de isomanta, e terá uma aplicação local.

Quanto aos objetivos, esse trabalho pode ser classificado como uma pesquisa explicativa, já que tal tipo de pesquisa caracteriza-se por analisar, interpretar e localizar as causas para o fenômeno estudado e pelo domínio sobre alguns dos fatores envolvidos no objeto de estudo (ANDRADE, 2010). A abordagem que será utilizada no trabalho é a quantitativa, já que por definição esta abordagem lida com variáveis claras e gera um resultado mensurável, através do qual é possível chegar as conclusões (NASCIMENTO; CAVALCANTE, 2018).

O método que será adotado para a resolução do problema é a modelagem e simulação, trata-se de ferramentas poderosas para ajudar a compreender e prever o comportamento de sistemas complexos (FRANCO, 2021), através desse método é possível testar cenários hipotéticos manipulando as variáveis em condições controladas e encontrar soluções que satisfaçam a demanda sem interferir no sistema que está sendo estudado.

A Figura 12 ilustra o enquadramento da pesquisa conforme alguns critérios de efetividade considerados.

Figura 12 - Enquadramento da pesquisa



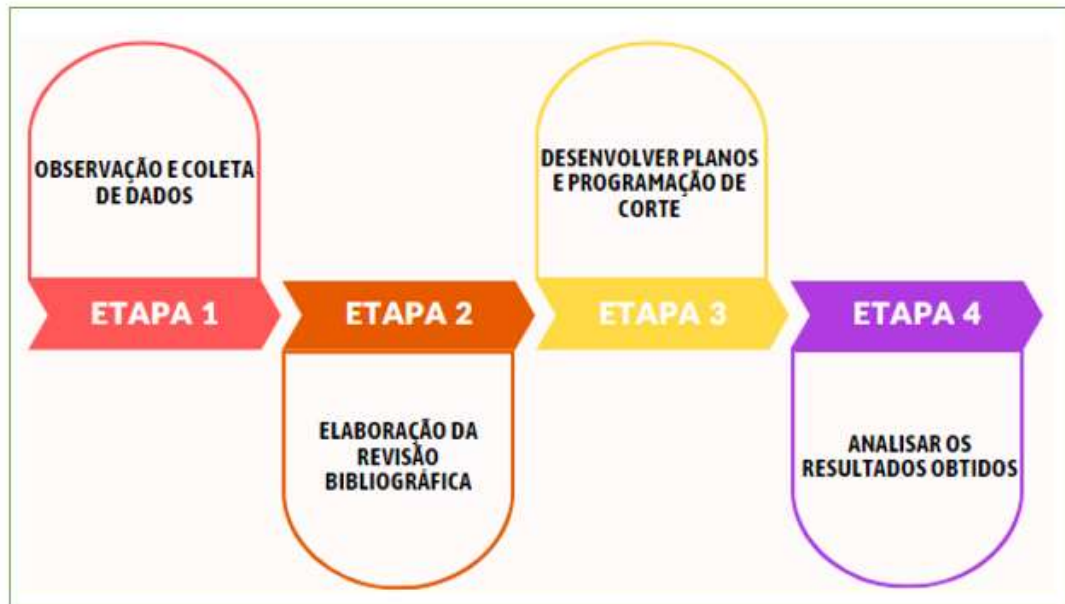
Fonte: Autor (2023)

3.2 ETAPAS DA PESQUISA

O planejamento deste trabalho foi feito em etapas que auxiliaram na gestão das tarefas a serem executadas, para que ao fim de cada etapa fosse possível ter uma entrega que foi agregada ao trabalho final. Essa divisão em etapas ajuda a tornar

visível todos os passos necessários para o desenvolvimento das atividades e a estabelecer prazos de entrega, o que auxilia na gestão do tempo disponível.

Figura 13 - Etapas da pesquisa



Fonte: Autor (2023).

Conforme a Figura 13, a Primeira etapa consiste na observação do processo de corte e coleta de dados da demanda. Na fase inicial são feitas visitas na indústria onde o estudo de caso foi feito, para conhecer como o trabalho é realizado e coletar os dados necessários. Os dados de demanda utilizados neste estudo são referentes ao mês de outubro de 2019.

Na etapa seguinte é feita a revisão bibliográfica dos assuntos pertinentes para a compreensão do problema. É necessário abordar e aprofundar alguns conceitos que servem de embasamento para a realização da solução que será proposta neste trabalho. Os temas aqui abordados foram:

- Pesquisa Operacional;
- Problemas de Corte e empacotamento;
- Programação Dinâmica

A terceira etapa consiste no desenvolvimento dos padrões de corte e de uma programação de corte que atenda a situação. Nesta etapa serão geradas as possíveis combinações de produtos de forma que os 1500 mm de largura dos rolos de isomanta

sejam totalmente aproveitados. Após encontrar as combinações será feito através do suplemento *Solver*® presente no *Microsoft Excel*® a programação de corte semanal visando atender a demanda de maneira eficiente.

Por fim na quarta etapa os resultados obtidos serão analisados com o objetivo de saber se a solução proposta cumpre com seu objetivo e se sua aplicação é viável.

3.3 DESCRIÇÃO DO PROBLEMA

O trabalho foi realizado em uma empresa que produz isomantas que protegem os produtos que seus clientes produzem, ela está localizada no Parque Industrial Norte de Apucarana, Paraná, e tem como principais clientes empresas do ramo moveleiro, muitas delas localizadas na cidade vizinha, Araçongas. Os produtos que ela produz são rolos e folhas de isomanta.

No momento em que os dados foram coletados a empresa trabalhava com um estoque alto e seu *lead time*, tempo necessário para atender aos pedidos, era de dois dias. A atividade de corte era realizada de acordo com nível em que as peças se encontravam no estoque, era mantido um estoque de segurança. Não foi possível ter acesso ao custo das peças, mas era comum que pequenos rolos de tamanho não aproveitável sobrassem após o corte das peças, normalmente peças entre 10 e 15 centímetros.

O problema abordado por este estudo de caso diz respeito as sobras provenientes do corte unidimensional de rolos de isomanta, como já citado, o mal aproveitamento de material aumenta o custo do produto e isso limita as condições de competitividade da empresa. Esta atividade possui as características abordadas em problemas de corte unidimensional

3.4 SOLUÇÃO PROPOSTA

Devido as características do problema abordado a solução proposta neste trabalho é resolver via problema de corte unidimensional gerando os padrões de corte

através de Programação Dinâmica, e otimizando a combinação desses padrões através do *Solver*®.

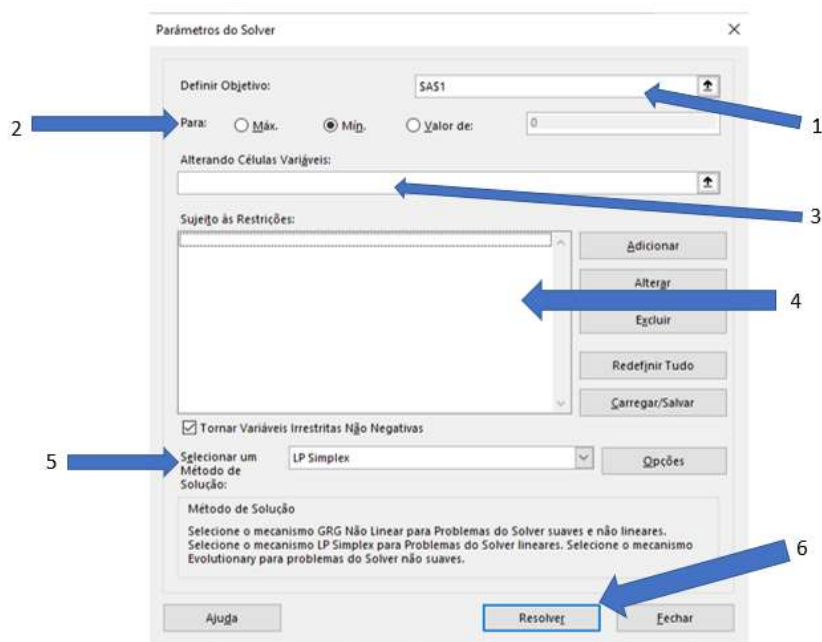
A complexibilidade na resolução de problemas de corte e empacotamento cresce conforme o número de padrões de corte possíveis cresce, pois cada padrão de corte representa uma variável de decisão, o que dificulta sua resolução por métodos inteiros (CAMPELO, GHIDINI, 2021).

Para gerar os padrões de corte, foi utilizada a ferramenta chamada Cortex. Este é um suplemento para o Excel desenvolvido no programa de iniciação científica e tecnológica por Fontes e Reis (2022) que através de programação dinâmica gera os padrões de corte possíveis para a peça de acordo com os parâmetros desejados.

A resolução do modelo matemático será realizada através do método de Programação Linear inteira. Esta técnica auxilia a resolver problemas de planejamento através de modelos matemáticos compostos por funções lineares (LONGARAY, BEUREN; 2001).

O uso do *Solver*® auxilia na otimização de Problemas de Programação Matemática, testando valores dentro das células variáveis de acordo com as restrições estabelecidas até encontrar um resultado que satisfaça a função objetivo (SUPORTE MICROSOFT). Para utilizá-lo é necessário estabelecer uma função objetivo, a qual se deseja otimizar, e estabelecer também as restrições sob as quais o sistema estará sujeito.

Figura 14 - Interface e passos para utilizar o *Solver*®



Fonte: Adaptado Microsoft (2023)

A Figura 14 ilustra os passos necessários para otimizar uma função através do *Solver*[®], são eles:

1. Definir a célula na planilha eletrônica do Excel[®] onde está a função objetivo;
2. Selecionar qual objetivo da programação para a ferramenta: minimizar, maximizar a função objetivo ou fazê-la atingir determinado valor;
3. Demarcar as células variáveis, onde serão calculados os valores;
4. Em seguida é necessário selecionar as restrições que serão aplicadas;
5. Nesta etapa é definido o método que deve ser aplicado para a resolução, sendo eles LP simplex (para Programações Lineares), GRG Não linear (para Programações Não Lineares) e *Evolutionary* (Para Problemas de complexidade computacional definido como NP-*Non Polynomial*);
6. Por fim é dado o comando para resolver o problema.

O tempo necessário para a resolução depende de quantas variáveis de decisão estão sendo consideradas, quando mais variáveis mais iterações e consequentemente mais tempo será utilizado. Métodos exatos demandam de mais tempo computacional.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 DESENVOLVIMENTO

O objetivo deste trabalho é gerar uma programação de corte que atenda a demanda dos rolos de isomanta. Como já foi frisado, a fábrica trabalha com rolos de isomanta de espessura 0,7 milímetros com 100 metros de comprimento e oferece seu produto com as seguintes opções de largura:

- 300 mm;
- 400 mm;
- 450 mm;
- 500 mm;
- 600 mm;
- 1500mm.

A empresa também oferece folhas de isomanta, porém como o foco é corte unidimensional a demanda de folhas não será abordada. A demanda do mês de outubro está representada na Tabela 2.

Tabela 2: Pedidos diários de bobinas

DATA	EXPESSURA	DIMENSÃO	LARGURA	QUANTIDADE
02/10/2019	0,7	500X	500	10500
03/10/2019	0,7	300X	300	23040
03/10/2019	0,7	450X	450	32400
03/10/2019	0,7	400X	400	4000
03/10/2019	0,7	500X	500	10500
07/10/2019	0,7	400X	400	24000
09/10/2019	0,7	500X	500	10500
09/10/2019	0,7	1500X	1500	2700
11/10/2019	0,7	500X	500	10500
15/10/2019	0,7	1500X	1500	2700
15/10/2019	0,7	600X	600	12150
17/10/2019	0,7	500X	500	10500
18/10/2019	0,7	400X	400	4000
18/10/2019	0,7	500X	500	10200
18/10/2019	0,7	600X	600	10080
18/10/2019	0,7	500X	500	10500
18/10/2019	0,7	400X	400	16000
18/10/2019	0,7	1500X	1500	3375

22/10/2019	0,7	500X	500	10500
22/10/2019	0,7	300X	300	17280
22/10/2019	0,7	450X	450	34470
22/10/2019	0,7	600X	600	21600
23/10/2019	0,7	1500X	1500	2700
24/10/2019	0,7	500X	500	10500
28/10/2019	0,7	500X	500	10500
29/10/2019	0,7	400X	400	4000
31/10/2019	0,7	1500X	1500	2700
31/10/2019	0,7	300X	300	17280
31/10/2019	0,7	450X	450	25920

Fonte: Autor (2019)

Portanto, a produção deve ser suficiente para atender as quantidades presentes na Tabela 2 e manter o estoque de segurança. A Tabela 3 apresenta a demandada de cada produto no período observado e o estoque de segurança que deve ser mantido.

Tabela 3: Demanda e Estoque de segurança

PEÇA	LARGURA	ESTOQUE DE SEGURANÇA	DEMANDA
ITEM 1	300	50000	57600
ITEM 2	400	50000	52000
ITEM 3	450	50000	92790
ITEM 4	500	50000	104700
ITEM 5	600	50000	43830
ITEM 6	1500	50000	14175

Fonte: Autor (2023).

Como proposto, os padrões de corte foram gerados através do Cortex. Como o objetivo é aproveitar todo o material, as combinações possíveis que apresentaram alguma sobra não foram consideradas. As combinações que serão utilizadas podem ser vistas na Tabela 4.

Tabela 4: Geração do padrão de corte.

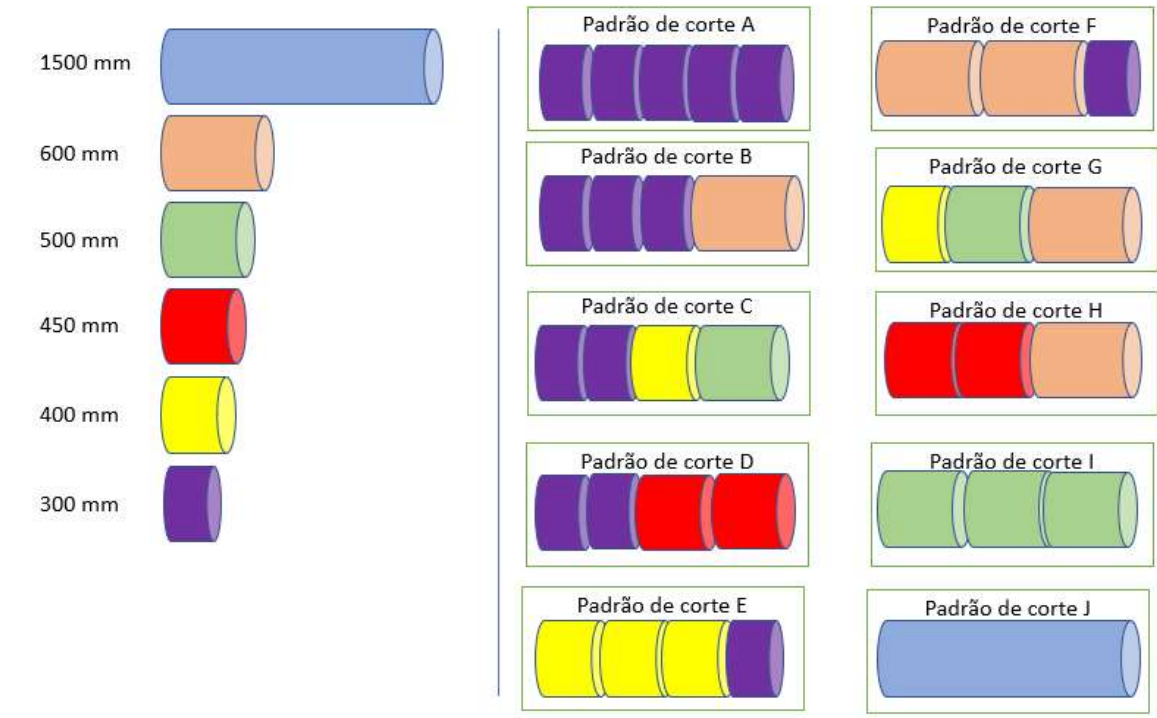
Padrão de corte	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
Tamanho da Peça Maior	1500	1500	1500	1500	1500	1500	1500	1500	1500	1500
Quantidade 300 mm	5	3	2	2	1	1	0	0	0	0
Quantidade 400 mm	0	0	1	0	3	0	1	0	0	0
Quantidade 450 mm	0	0	0	2	0	0	0	2	0	0
Quantidade 500 mm	0	0	1	0	0	0	1	0	3	0
Quantidade 600 mm	0	1	0	0	0	2	1	1	0	0
Quantidade 1500 mm	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
SOBRA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

FONTE: AUTOR (2023)

Note que, na Tabela 4, que o valor “5” situado na terceira linha da segunda coluna da Tabela representa que o Padrão A de corte indica que uma peça inteira de tamanho 1500 mm deve ser cortado em “5” itens menores de tamanho 300mm. Ou seja, representa o parâmetro $\alpha_{1A1t} = 5$, do modelo apresentado na seção 2.2. do Capítulo 2. Em outras palavras $\alpha_{1A1t} = 5$ é o número de itens do tipo 1 (com tamanho de 300mm) no A padrão de corte para o objeto do tipo 1 (com tamanho de 1500mm) no período t . Para a situação, considerou-se que os 10 padrões de corte mostrados na Tabela 4 (De A à J), foram considerados em todos os períodos t no modelo.

Na Figura 15 é possível ver o rolo de isomanta grande, os subprodutos gerados a partir dele e as possíveis combinações de subprodutos que tornam possível aproveitar todo o material no corte.

Figura 15 - Produtos oferecidos e padrões de corte possíveis



Fonte: Autor (2023).

Depois de concluído o padrão de corte, é possível encontrar uma programação otimizada para a produção utilizando o *Solver*[®] presente no *software Microsoft Excel*[®],

O planejamento da produção foi feito pensando em atender a demanda de cada semana do mês de outubro, logo é necessário agrupar os dados da Tabela 1 de acordo com a demanda do produto no período desejado. A Tabela 5 ilustra a demanda semanal de cada item.

Tabela 5: Demanda dos itens por semana

Semana	LARGURA	Demanda	Semana	LARGURA	Demanda
1	300	21000	4	300	17280
1	400	32400	4	400	0
1	450	4000	4	450	34470
1	500	23040	4	500	21000
1	600	0	4	600	21600
2	300	0	5	300	17280
2	400	24000	5	400	4000
2	450	0	5	450	25920
2	500	21000	5	500	10500
2	600	0	5	600	0
3	300	0			
3	400	20000			
3	450	0			
3	500	31200			
3	600	22230			

FONTE: AUTOR (2023).

O próximo passo é adicionar as colunas Produção, que mostra quantas peças devem ser feitas na semana, Estoque Inicial, no caso o estoque de segurança na primeira semana, representa quantas peças haviam antes do início da produção, Estoque Final, as peças que ficaram após a produção e atendimento da demanda, e balanço que mostra quantas peças saíram da fábrica no fim de cada semana.

A coluna referente a produção mostrará a quantidade de peças que foram feitas, buscando quantas vezes um padrão de corte foi repetido na semana, multiplicando esse valor pela quantidade de peças da largura desejada esse padrão gera e somando os valores obtidos para cada padrão.

Tabela 6: Tabela de planejamento da produção

Semana	Largura	Demanda	Produção	Estoque Inicial	Estoque Final	Balanço
1	300	21000		50000		
1	400	32400		50000		
1	450	4000		50000		
1	500	23040		50000		
1	600	0		50000		

2	300	0				
2	400	24000				
2	450	0				
2	500	21000				
2	600	0				
3	300	0				
3	400	20000				
3	450	0				
3	500	31200				
3	600	22230				
4	300	17280				
4	400	0				
4	450	34470				
4	500	21000				
4	600	21600				
5	300	17280				
5	400	4000				
5	450	25920				
5	500	10500				
5	600	0				

FONTE: AUTOR (2023).

Observa-se que na Tabela 6, a coluna correspondente a Produção (coluna 4 da Tabela), equivale à $\sum_{j=1}^{N_k} a_{jkt} x_{jkt}$, ou seja, o total de itens k produzidos na semana t , conforme o modelo representado pela equação (6) supracitado no capítulo 2, seção 2.

A tarefa do *Solver*® será calcular e encontrar quantas vezes os padrões de corte da Tabela 5 deverão ser repetidos nas semanas do mês de outubro com o objetivo de cortar a menor quantidade possível de peças maiores e manter o estoque o mais próximo possível do estoque de segurança. Para trazer a simulação mais próxima da realidade também foi estipulado um valor máximo de produtos que podem ser processados durante a semana, equilibrando a quantidade de trabalho, para evitar que em alguma semana haja uma quantidade que a mão de obra disponível não possa atingir e em outras valores muito baixos. Essa restrição é representada pela equação (5) no capítulo 2.2.

Tabela 7: Tabela de planejamento de corte

Semana	PADRÃO DE CORTE									Total de Peças Cortadas	LIMITE
	A	B	C	D	E	F	G	H	I		
1											25000
2											25000
3											25000
4											25000
5											25000
Total											
Peças cortadas											

FONTE: AUTOR (2023).

Na Tabela 7, as células entre as colunas A e I e linhas correspondentes as semanas 1 a 5 foram preenchidas pelo *Solver*® com a quantidade de vezes que cada padrão de corte precisa ser replicado. Ou seja, estas células representam as variáveis de decisão x_{jki} para o modelo de Programação linear Inteira apresentado no capítulo 2, seção 2.

Observa-se que na Tabela 8, por exemplo, a célula situada na coluna A (segunda coluna da Tabela), na linha correspondente à semana 1 (terceira linha da Tabela), representa o número de rolos de isomantas (objetos) cortados para qualquer item k , na semana 1 seguindo o padrão de corte A. Em outras palavras, representaria a variável de decisão x_{Ak1} para o modelo de Programação Linear Inteira conforme descrito anteriormente pelo conjunto de equações e inequações de (1) à (4) no capítulo 2.2.

Para reduzir o número de iterações e conseqüentemente o tempo computacional necessário para encontrar uma solução, simplificando a simulação, o padrão de corte J não será considerado, por se tratar de um rolo inteiro de 1500 mm que não necessita ser cortado.

Para utilizar o *Solver*® é necessário definir primeiramente a função objetivo, uma célula onde estará presente a equação que é desejado otimizar, o modelo que será utilizado é o apresentado o capítulo 2.2, portanto a função objetivo é a equação (1), o custo dos materiais não foi informado, porém como o objetivo é cortar a menor quantidade possível e só há um tipo de rolo a ser cortado o custo pode ser considerado igual a 1. Os custos referentes a estocagem serão considerados igual a zero. Em seguida são definidas as células que o *Solver*® vai alterar buscando atingir o objetivo

estabelecido, essas células estão presentes entre as colunas A e I e linhas correspondentes as semanas 1 a 5. Após isso as restrições precisam ser definidas, para essa situação as restrições são:

- Estoque Final maior ou igual a 50000;
- O balanço precisa ser maior ou igual a demanda, para garantir que haverá produção;
- A produção semanal deveria ser menor ou igual ao limite semanal de 25000.

Por fim é necessário selecionar o método de solução, por se tratar de uma Programação linear inteira, no caso será utilizado o LP Simplex.

Quando o comando para resolver é dado o *Solver*® começa a simular os valores dentro do intervalo repetido, isso demanda certa capacidade de processamento e quanto mais células para simular e mais restrições impostas mais cálculos são necessários, o que pode fazer que o cálculo demore.

4.2 APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS

Após os cálculos realizados pelo solver a solução obtida pode ser visualizada na Tabela 8. Essa Tabela fornece a informação de quantas vezes cada padrão de corte deve ser seguido para obter a menor quantidade de peças maiores cortadas.

Tabela 8: Resultados obtidos.

Semana	PADRÃO DE CORTE									Total de Peças Cortadas	LIMITE
	A	B	C	D	E	F	G	H	I		
1	2039	1	0	0	10801	1	0	2000	7680	22522	25000
2	0	0	0	0	4121	0	11634	0	9245	25000	25000
3	0	0	3894	2	5369	0	0	12193	2979	24437	25000
4	0	0	0	0	0	0	0	18000	7000	25000	25000
5	3189	0	0	0	1333	0	0	0	3500	8022	25000
Total	5228	1	3894	2	21624	1	11634	32193	30404		
Peças cortadas no mês	104981										

Fonte: Autor (2023)

Por exemplo, na semana 1 é recomendado que o padrão de corte A seja repetido 2039 vezes, o padrão B uma vez, o padrão E 10801 vezes, padrão F uma vez, H 2000 vezes e o padrão I 7680 vezes. Cada um desses padrões gera uma

determinada quantidade de rolos menores, como ilustrado na Figura 15. Então multiplicando cada quantidade de rolo menor pela repetição do padrão é possível saber quantos rolos menores será gerado por cada padrão, somando a quantidade de rolos gerados por cada padrão é possível saber qual foi a produção de cada item, como é possível ver na Tabela 9.

Tabela 9 - Produção por padrão de corte na semana 1

Item	A	B	E	F	H	I	Total
300 mm	10195	3	10801	1	0	0	21000
400 mm	0	0	32403	0	0	0	32400
450 mm	0	0	0	0	4000	0	4000
500 mm	0	0	0	0	0	23040	23040
600 mm	0	1	0	2	2000	0	2000

Fonte: Autor (2023).

O cálculo feito na Tabela 9 se repete para as demais semanas, preenchendo assim a coluna “Produção” presente na Tabela 10, o estoque inicial das semanas que se seguem é igual ao estoque final da semana anterior e o balanço é igual a demanda, o que quer dizer que a demanda para a semana foi atendida. Na Tabela 10 é possível como se deu a produção de cada item.

Tabela 10: Resultados na produção e estoque.

Semana	Largura	Demanda	Produção	Estoque Inicial	Estoque Final	Balanço
1	300	21000	21000	50000	50000	21000
1	400	32400	32403	50000	50003	32400
1	450	4000	4000	50000	50000	4000
1	500	23040	23040	50000	50000	23040
1	600	0	2003	50000	52003	0
2	300	0	4121	50000	54121	0
2	400	24000	23997	50003	50000	24000
2	450	0	0	50000	50000	0
2	500	21000	39369	50000	68369	21000
2	600	0	11634	52003	63637	0
3	300	0	13161	54121	67282	0
3	400	20000	20001	50000	50001	20000
3	450	0	24390	50000	74390	0
3	500	31200	12831	68369	50000	31200
3	600	22230	12193	63637	53600	22230

4	300	17280	0	67282	50002	17280
4	400	0	0	50001	50001	0
4	450	34470	36000	74390	75920	34470
4	500	21000	21000	50000	50000	21000
4	600	21600	18000	53600	50000	21600
5	300	17280	17278	50002	50000	17280
5	400	4000	3999	50001	50000	4000
5	450	25920	0	75920	50000	25920
5	500	10500	10500	50000	50000	10500
5	600	0	0	50000	50000	0

Fonte: Autor (2023).

É possível notar que em algumas semanas foram feitas peças que não estavam na demanda, porém isso faz com que as sobras provenientes da fabricação sejam aproveitáveis, já que se fosse feito apenas para atender a demanda momentânea haveriam sobras que não teriam tamanho útil para serem utilizadas. Ao final do período simulado o estoque é igual ao estoque de segurança estipulado e todas as demandas são atendidas.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O uso de ferramentas de planejamento e otimização pode ter um papel de grande importância na redução de custos de produção.

É possível com um *Software* de uso cotidiano, como *Microsoft Excel*® resolver problemas com um certo grau de complexibilidade. Isso pode ajudar empresas de pequeno porte ou com limitações de orçamento reduzir seus gastos e programar suas atividades, o que ajuda a elevar a sua competitividade. Entretanto a capacidade do computador pode limitar essa atividade, por isso se torna necessário dar atenção maior ao tratamento dos dados, para que o processamento se torne mais fácil. Para casos com mais variáveis *Softwares* específicos para a simulação são recomendados.

Foi possível por meio de padrões de corte com aproveitamento total do material desenvolver uma programação de corte que possibilitasse a manutenção de um estoque mínimo, atendesse a demanda e mantivesse a produção equilibrada. Logo o objetivo principal do trabalho foi alcançado.

5.1 RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Para o desenvolvimento de trabalhos futuros é possível estudar problemas de situações similares, dando continuidade ao tema e realizar o planejamento de corte dentro de um horizonte de tempo menor, trabalhos que desenvolvam os padrões de corte de forma automática também agregariam muito área, também é possível desenvolver trabalhos similares com demandas maiores e usando *softwares* diferentes.

REFERÊNCIAS

- ANDRADE, E. L. Introdução à Pesquisa Operacional. 5ª ed. Rio de Janeiro, 2018.
- ANDRADE, M. M. DE. INTRODUÇÃO A METODOLOGIA DO TRABALHO CIENTÍFICO. 10ª ed. Editora Atlas S.A. São Paulo, SP. 2010.
- ARAÚJO, A. M., ARAÚJO, D. O., PASSOS, F. G. Análise das vantagens do uso da Pesquisa Operacional em problemas de corte: uma revisão sistemática da literatura. Produção em foco. v.08. n.02. p.326-345, Joinville, 2018.
- ARAÚJO, M. A., Administração de produção e operações: uma abordagem prática. Rio de Janeiro. Brasport, 2009
- ARENALES, M. et al. Pesquisa Operacional. 2ª ed. Rio de Janeiro. Elsevier, 2015.
- BELLMAN, R. Dynamic Programming. Princeton University Press, 1957.
- CACCALANO, L., CUNHA, C. B. Roteirização de veículos para o abastecimento de linhas de produção. Gestão & produção, v. 22, n. 01, p. 846-860, 2015
- CAMPELLO, B. S. C., GHIDINI, C. T. L. S.. (2022). Métodos de Análise de Decisão Multicritério para Seleção de Padrões de Corte. Trends in Computational and Applied Mathematics, v. 23 n.1, p. 1–16. Disponível em : <https://doi.org/10.5540/tcam.2022.023.01.00001>
- CARDOSO, R. T. N. Algoritmos para Programação Dinâmica baseados em Famílias Invariantes. Dissertação de Mestrado. UFMG, Belo Horizonte, 2005.
- CHERRI, A. C., Algumas extensões do problema de corte de estoque com sobras de material aproveitáveis. Tese de doutorado, ICMC-USP, 2009.
- CHERRI, A. C.; ALEM, D. J. J.; SILVA, I. N. Uma abordagem fuzzy para o problema de corte de estoque unidimensional com sobras de material aproveitáveis. XXXIX SIMPÓSIO BRASILEIRO DE PESQUISA OPERACIONAL, FORTALEZA, 2007.
- CUNHA, J. G. A., Comparação de malhas para problemas de corte e empacotamento. Dissertação de Mestrado, UFG, Catalão, 2018.
- DYCKHOFF, H., A tipology of cutting and packing problems. European Journal of Operational Research, Elsevier, v. 44, n. 2, p. 145-159, 1990.
- FAE, J. Isomanta x plástico bolha: diferenças e usos. Global Suprimentos Industriais. 2022. Disponível em: <https://suprimentosglobal.com.br/artigo/isomanta-x-plastico-bolha-diferencas-e-usos> Acesso em: 06/03/2023.
- FRANCO, I. C. Modelagem e Simulação: Processos Químicos: Notas de Aula Inovadoras. The Journal of Engineering and Exact Sciences, Viçosa/MG, BR, v. 7, n. 4, p. francoic2021–01, 2021. DOI: 10.18540/jcecvl7iss4ppfrancoic2021-01.

Disponível em: <https://periodicos.ufv.br/jcec/article/view/13097>. Acesso em: 28 jan. 2023.

GILMORE, P. C.; GOMORY, R. R. Multistage Cutting Stock Problems of Two and More Dimensions. *Operations Research and Development*, v. 13, n. 1, p. 94-120, 1965.

GRACANIN, D.; BUCHMEISTER, B.; LALIC, B. Using cost-time profile for value stream optimization. *Procedia Engineering. Anais...Elsevier Ltd*, 2014.

GUIA DO INVESTIDOR. Você precisa conhecer as vantagens do plástico bolha. 2018. Disponível em:

https://www.guiadeinvestimento.com.br/wpcontent/cache/page_enhanced/www.guiadeinvestimento.com.br/voce-precisa-conhecer-as-vantagens-do-plastico-bolha/_index.html_gzip, acesso em 02/10/2019.

HILLIER, F. S.; LIEBERMAN, G. J. *Introdução a Pesquisa Operacional*. 8ª ed. São Paulo. McGraw-Hill, 2006.

LONGARAY, A. A., *Introdução à Pesquisa Operacional*. São Paulo. Editora Saraiva, 2013

LONGARAY, A. A.; BEUREN I. M.; Cálculo de Minimização de custos de produção por meio da programação linear. VIII congresso Brasileiro de custos. São Leopoldo, RS. 2001.

MORABITO R. ; MODELOS DE OTIMIZAÇÃO PARA O PROBLEMA DE CORTE NAS INDÚSTRIAS DE PAPEL E PAPELÃO E DE MÓVEIS; REVISTA GESTÃO E PRODUÇÃO, V.1, N. 1, P. 59-76, 1994

OHNO, T. *O Sistema Toyota de Produção – além da produção em larga escala*. Porto alegre: Bookman, 1997

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

PRODANOV, C. C.; FREITAS, E. C. DE. *METODOLOGIA DO TRABALHO CIENTÍFICO: MÉTODOS E TÉCNICAS DA PESQUISA E DO TRABALHO ACADÊMICO*. 2ª ed. Universidade FEEVALE. Novo Hamburgo, RS. 2013.

RAUPP, F. M., GIBBON, A. R. O., BEUREN I. M. O uso da Programação Dinâmica pela Contabilidade de Custos na otimização de recursos escassos. *Contabilidade Vista e Revista*. v.15, n. 01, p. 73-89, Belo Horizonte, 2004

RIBEIRO, C. R. *et al.* Proposta para reduzir o índice de produtos avariados durante o processo de transporte. *Inova+ Cadernos de graduação da faculdade da indústria*. v.1, n.1, p. 825-853. Fevereiro, 2021.

SANTOS, B. P. *et al.* INDÚSTRIA 4.0: DESAFIOS E OPORTUNIDADES. *Revista Produção e Desenvolvimento*, n. 1, p. 111–124, 2018.

SANTOS, M. dos, Simulação da Operação de um Sistema Integrado de Informações para o atendimento pré-hospitalar de emergência no município do Rio de Janeiro. Dissertação de Mestrado, COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, Brasil, 2013

SANTOS, M. et al. Proposta de otimização do mix de produção utilizando o método simplex: um estudo de caso de uma confecção de moda íntima do município de Cordeiro – RJ. IV Simpósio de Engenharia de Produção, Recife, 2016.

SEBRAE. Avarias que devem ser evitadas durante o transporte. 2015. Disponível em : <http://www.sebrae.com.br/sites/PortalSebrae/artigos/avarias-devem-ser-evitadas-durante-o-transporte,11c1438af1c92410VgnVCM100000b272010aRCRD?origem=segmento&codSegmento=8>, acesso em 02/10/2019.

SUPORTE MICROSOFT. Definir e resolver um problema usando o Solver. Disponível em: <https://support.microsoft.com/pt-br/office/definir-e-resolver-um-problema-usando-o-solver-5d1a388f-079d-43ac-a7eb-f63e45925040> Acesso em: 28 de Jan. de 2023.

SILVA, J. L., Contribuições em otimização cominatória para o problema de corte bidimensional guilhotinado não-estagiado. Dissertação de mestrado, UERN, Mossoró, 2017.

TAHA. H. A. Pesquisa Operacional. 8ª ed. São Paulo. Pearson Prentice Hall, 2008.

TEMPONI, E. C. C., Uma proposta de resolução do problema de corte bidimensional via abordagem metaheurística. Dissertação de mestrado, CEFET-MG, Belo Horizonte, 2007.

VAREJO S.A, Falta de planejamento estratégico Prejudica MPes, Site Varejo S.A; 9/11/2022; Disponível em: <https://cndl.org.br/varejosa/falta-de-planejamento-estrategico-prejudica-mpes/> Acesso em 08/12/2022.

WÄSCHER, G.; HAUSSNER, H.; SCHUMANN, H. An improved typology of cutting and packing problems. European Journal of Operational Research, v. 183, n. 3, p. 1109–1130, 16 dez. 2007.