



UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO  
CENTRO ACADÊMICO DO AGRESTE  
NÚCLEO DE TECNOLOGIA  
CURSO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

LUCAS DANIEL GOMES RIBEIRO

**IMPLEMENTAÇÃO DE MODELOS DE PROGRAMAÇÃO LINEAR PARA O  
PROBLEMA DE BALANCEAMENTO DA LINHA DE PRODUÇÃO DE UMA  
EMPRESA DE MODA PRAIA DO AGRESTE PERNAMBUCANO**

Caruaru  
2021

LUCAS DANIEL GOMES RIBEIRO

**IMPLEMENTAÇÃO DE MODELOS DE PROGRAMAÇÃO LINEAR PARA O  
PROBLEMA DE BALANCEAMENTO DA LINHA DE PRODUÇÃO DE UMA  
EMPRESA DE MODA PRAIA DO AGRESTE PERNAMBUCANO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia de Produção da Universidade Federal de Pernambuco, como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia de Produção.

**Área de concentração:** Gestão da Produção.

**Orientador:** Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Thárcylla Rebecca Negreiros Clemente.

Caruaru

2021

Catálogo na fonte:  
Bibliotecária – Simone Xavier - CRB/4 – 1242

R484 i     Ribeiro, Lucas Daniel Gomes.  
          Implementação de modelos de programação linear para o problema de  
balanceamento da linha de produção de uma empresa de moda praia do agreste  
pernambucano. / Lucas Daniel Gomes Ribeiro. – 2021.  
          50 f. : 30 cm.

          Orientadora: Thárcylla Rebecca Negreiros Clemente.  
          Monografia (Trabalho de Conclusão de Curso) – Universidade Federal de  
Pernambuco, CAA, Engenharia de produção, 2021.  
          Inclui Referências.

\*     Programação linear. 2. Controle de produção. 3. Sistemas de suporte de decisão.  
          I. Clemente, Thárcylla Rebecca Negreiros (Orientadora). II. Título.

CDD 658.5 (23. ed.)

UFPE (CAA 2021-021)

LUCAS DANIEL GOMES RIBEIRO

**IMPLEMENTAÇÃO DE MODELOS DE PROGRAMAÇÃO LINEAR PARA O  
PROBLEMA DE BALANCEAMENTO DA LINHA DE PRODUÇÃO DE UMA  
EMPRESA DE MODA PRAIA DO AGRESTE PERNAMBUCANO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Graduação em Engenharia de Produção do Campus Agreste da Universidade Federal de Pernambuco, como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia de Produção.

Aprovada em: 30/ 04/ 2021.

**BANCA EXAMINADORA**

---

Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Thárcylla Rebecca Negreiros Clemente (Orientadora)  
Universidade Federal de Pernambuco

---

MSc. João Paulo Santos Aragão (Examinador Externo)  
Universidade Federal de Pernambuco

---

Prof. Dr. Luciano Carlos Azevedo da Costa (Examinador Interno)  
Universidade Federal de Pernambuco

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço primeiramente a Deus por ter me concedido conhecimento e sabedoria durante toda a vida, inclusive nesse processo, um dos quais ele designou que eu passasse. Agradeço a minha mãe e meu irmão que me apoiaram em todos os momentos e incentivaram para que nenhum pensamento de desistência aparecesse. Sou grato aos meus amigos que me acompanharam nessa jornada, desde aqueles que só me acompanhavam no caminho da faculdade até aqueles que estiveram comigo durante todo o curso. Graças a esses foi possível passar por esses 5 anos sorrindo, até nos momentos difíceis. Esses anos de curso me trouxeram amizades as quais pretendo levar por toda minha vida.

Por fim, sou grato à minha orientadora Thárcylla Negreiros que me aconselha e me acompanha durante muito tempo. Também sou muito grato a professora Maísa Mendonça que também me aconselhou bastante desde que a conheci e que mesmo brincando muito, sempre esteve ao meu lado junto com a professora Thárcylla.

O temor do Senhor é o princípio do saber, mas os loucos desprezam a sabedoria e o ensino.  
(Provérbios de Salomão, Capítulo 1, versículo 7).

## RESUMO

Um grande desafio da indústria de vestuário é atender a sua demanda, de modo que não ocorra falta de produtos. Para isso, ter uma linha de produção bem estruturada se torna atrativo para empresas de todos os portes. No ramo da moda praia em específico, a demanda se comporta de modo sazonal, sendo alta entre o começo do quarto trimestre do ano e início do primeiro trimestre, e baixa nos demais meses. Isso faz com que a empresa trabalhe de forma folgada em grande parte do ano e sob muita pressão em um determinado período. Desta forma, se torna desafiador saber o quanto estocar no período de baixa para o período de alta, de modo que até com alto nível de estoque é preciso ter uma alta eficiência produtiva para conseguir suprir toda a demanda no período de alta, pois, durante anos essa demanda só cresce. Além de suprir a demanda, uma produção eficiente reduz o custo por produto, custo por oportunidade e torna viável todo o processo. Em busca de tais melhorias vários algoritmos e sistemas de apoio à decisão são desenvolvidos, em busca de melhorar e facilitar a tomada de decisão, pois, devido a grande quantidade de cálculos necessários para balancear linhas, entregar tal responsabilidade na mão de humanos torna uma tarefa difícil. Dada a necessidade, o trabalho busca apresentar algoritmos de balanceamento de linha utilizando modelos de programação linear, tentando solucionar o problema e alcançar uma solução viável para o aumento da eficiência da linha de produção ao máximo, respeitando as limitações do modelo.

Palavras-chave: Balanceamento de linha. Modelos de apoio à decisão. Programação linear.

## **ABSTRACT**

A major challenge for the clothing industry is to meet its demand, so that there is no shortage of products. In this case, having a balanced production line becomes attractive for companies of all sizes. In the case of beachwear, specifically, its demand behaves seasonally, being high between the beginning of the fourth quarter of the year and the beginning of the first quarter, and being low in the other months. This makes the company to work loosely for much of the year and under a lot of pressure in a certain period, thus, it becomes challenging to know how much to store in the low to high period, so that even with high inventory level, it is necessary to have a high productive efficiency to be able to supply all the demand during the peak period, because for years this demand only grows. In addition to meeting demand, efficient production reduces cost per product, opportunity cost and makes the entire process viable. In search of such improvements several algorithms and decision support systems are developed, in search of improving and facilitating decision making, because, due to the large amount of calculations necessary to balance lines, handing over such responsibility in the hands of humans makes it a difficult task. Given the need, the work seeks to present line balancing algorithms using linear programming models, trying to solve the problem and reach a viable solution to increase the efficiency of the production line to the maximum, respecting the limitations of the model.

Keywords: Line balancing. Decision support models. Linear programming.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 –	Representação gráfica de um modelo.....	19
Figura 2 –	Processo de modelagem .....	20
Figura 3 –	Forma padrão de otimização linear .....	20
Figura 4 –	Diagrama das etapas da pesquisa.....	25
Figura 5 –	Fluxo de produção do produto 21249.....	31

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 –	Operações da parte superior do biquíni 21249.....	32
Tabela 2 –	Operações da parte inferior do biquíni 21249.....	32
Tabela 3 –	Resultado da simulação.....	33
Tabela 4 –	Resultado adaptado utilizando os 10 funcionários do grupo.....	34
Tabela 5 –	Biquínis selecionados no algoritmo de mix.....	35
Tabela 6 –	Resultado da primeira situação, biquínis podem ser produzidos em resultados diferentes.....	35
Tabela 7 –	Resultado do modelo adaptado para utilização de todos os funcionários.....	36
Tabela 8 –	Resultado da segunda situação com a produção de cada tipo de biquíni por dia .....	36
Tabela 9 –	Resultado adaptado considerando a utilização de todos os operadores.....	37

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	<b>12</b>
1.1	JUSTIFICATIVA.....	13
1.2	OBJETIVOS GERAL E ESPECÍFICOS.....	14
1.3	ESTRUTURA DO TRABALHO.....	14
<b>2</b>	<b>FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA</b> .....	<b>16</b>
2.1	CONCEITOS E TIPOS DE PROCESSO DE PRODUÇÃO .....	16
2.2	BALANCEAMENTO DE LINHAS DE PRODUÇÃO .....	17
2.3	MODELAGEM E SOLUÇÃO DE PROBLEMAS ATRAVÉS DO MÉTODO SIMPLEX.....	18
2.4	BALANCEAMENTO DE LINHAS DE PRODUÇÃO EM UMA INDÚSTRIA DE CONFECÇÕES DE MODA PRAIA.....	22
<b>3</b>	<b>METODOLOGIA</b> .....	<b>24</b>
3.1	CLASSIFICAÇÃO DA PESQUISA.....	24
3.2	ETAPAS DA PESQUISA.....	24
<b>4</b>	<b>MODELO DE DECISÃO PARA O BALANCEAMENTO DE PRODUÇÃO EM UMA INDÚSTRIA DE CONFECÇÕES DE MODA PRAIA</b> .....	<b>27</b>
4.1	O SISTEMA DE PRODUÇÃO DE UMA INDÚSTRIA DE CONFECÇÕES DE MODA PRAIA.....	27
4.2	BALANCEAMENTO DA LINHA DE PRODUÇÃO DE CONFECÇÕES DE MODA PRAIA.....	28

4.3	COMPOSIÇÃO DO MIX DE PRODUTOS NA LINHA DE CONFECCÇÕES DE MODA PRAIA.....	30
4.4	RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	31
4.5	CONCLUSÕES DO CAPÍTULO.....	38
<b>5</b>	<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS .....</b>	<b>39</b>
5.1	CONCLUSÕES.....	39
5.2	LIMITAÇÕES E TRABALHOS FUTUROS.....	39
	<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>41</b>
	<b>APÊNDICE A - ALGORITMO DE BALANCEAMENTO DE UM PRODUTO.....</b>	<b>43</b>
	<b>APÊNDICE B - ALGORITMO DE MIX DE PRODUTOS.....</b>	<b>44</b>
	<b>APÊNDICE C - ALGORITMO DA PRIMEIRA SITUAÇÃO AVALIADA.....</b>	<b>45</b>
	<b>APÊNDICE D - ALGORITMO DA SEGUNDA SITUAÇÃO AVALIADA.....</b>	<b>48</b>

# 1 INTRODUÇÃO

A indústria de confecções possui muita força no Brasil, segundo a Agrestex, o polo do Nordeste brasileiro é um dos mais importantes no que diz respeito à produção. Direta e indiretamente gera empregos e impacta fortemente o giro de capital na economia, tendo, inclusive, municípios que têm dedicação praticamente exclusiva para o setor (FCEM, 2018).

Um dos desafios da indústria de moda e confecções é o equilíbrio entre a constante adaptação à demanda e apresentação de produtos inovadores, e a manutenção de seus níveis de produção a custos operacionais baixos (Silva, 2018). Esse desafio pode ser registrado em empresas que trabalham com um vasto mix de produtos que são atualizados periodicamente, como as empresas de confecções do estilo moda praia. A atualização do mix de produtos pode afetar diretamente a forma produzida, desenvolvendo necessidade de novas habilidades ou maquinários na linha e novos planejamentos, o que aumenta a complexidade do planejamento produtivo, do processo de capacitação de equipes e o planejamento sobre aquisição ou renovação de maquinário (Godinho, 2019).

Essa perspectiva evidencia a importância da obtenção de respostas rápidas sobre as mudanças gerenciais necessárias para a redução de custos de produção, ou custos por perdas, e de uma curva de aprendizagem correspondente (Casnav, 2016). Essas respostas rápidas podem favorecer a aquisição de vantagens sobre a transformação de produtos de forma rápida e com a qualidade desejável, estimulando a melhoria dos processos produtivos e a criação de modelos que apoiem as decisões que envolvem o planejamento e controle da produção (Moura, 2020).

Os modelos de apoio à decisão são representações simplificadas de um contexto real que são propostos para entregar recomendações que podem direcionar ações de solução para problemas complexos (Lima, 2014). Vários tipos de modelos podem ser aplicados, dentre os quais, os modelos estatísticos e os modelos de otimização. Esses modelos são amplamente utilizados como alternativas de representação dos problemas industriais, pois os aspectos quantitativos dos sistemas de produção apresentam oportunidades para que o conhecimento adquirido no dia a dia fabril possa ser mensurado de forma

estruturada por tais modelos. Além do aspecto quantitativo, a experiência prática dos gestores oferece uma importante contribuição nas decisões e planejamentos no processo de uso de dados para gerar informação e, conseqüentemente, conhecimento (Lousada, 2011).

A contribuição dos modelos de apoio à decisão pode ser percebida em diferentes contextos organizacionais. Empresas de pequeno, médio e grande portes enfrentam decisões que podem requisitar o auxílio de modelos no tratamento de situações complexas. Os impactos que o uso dos modelos de decisão oferecem permitem que as empresas invistam em recursos e profissionais capacitados para desenvolver e implementar estratégias adequadas para o crescimento dos negócios em função da redução de custos e maximização de lucros.

Uma das situações que podem requerer o apoio de modelos de decisão é o planejamento e o balanceamento de produção (Farnes, 2007). O planejamento e o balanceamento de processos produtivos é umas das principais etapas que devem ser executadas em sistemas de produção, pois são capazes de definir a utilização dos recursos e os níveis de produtividade esperados pelo sistema (Prates, 2011). Nos tempos atuais, atrelar essa atividade aos dados e modelos de decisão com foco em otimização, permite que os níveis gerenciais das empresas obtenham informações precisas e impactantes para o desenvolvimento dos negócios, com isso, agregando ainda mais valor para a indústria (Pacheco, 2014).

O presente estudo tem como objetivo desenvolver um modelo de apoio à decisão sobre o planejamento e o balanceamento de linhas de produção em uma indústria de confecções do estilo moda praia. Dessa forma, serão apresentadas as contribuições de melhoria para as decisões sobre as possíveis mudanças dos processos produtivos capazes de responder rapidamente sobre as necessidades dinâmicas da demanda prevista para o contexto de estudo.

## 1.1 OBJETIVOS GERAIS E ESPECÍFICOS

O presente estudo tem como objetivo geral: Apresentar um modelo de apoio à decisão para o balanceamento da linha de produção de uma indústria de confecções de moda praia.

Para alcançar o objetivo geral, os seguintes objetivos específicos são definidos:

- Descrever o processo produtivo da empresa estudada;
- Apresentar um modelo de programação linear relacionado ao problema de balanceamento de linha de um produto;
- Apresentar um modelo de programação linear relacionado ao problema de mix de produção;
- Apresentar um modelo de programação linear que realiza o mix de produção e o balanceamento de linha de cada produto selecionado;
- Apresentar experimentos computacionais, e comparar os resultados com os atualmente obtidos pela empresa.

## 1.2 JUSTIFICATIVA

Devido ao impacto da indústria de confecção na região e ao seu acelerado crescimento, inúmeras empresas passam a necessitar de planejamentos produtivos, de modo que consigam atender as demandas, planejar fluxos para estoques, e continuar crescendo. É notável que, para que uma empresa cresça de forma saudável, planejamento e organização se tornam indispensáveis (Porter, 1989).

Segundo Moreira (2012), a capacidade representa um limite, qualquer sistema deve ter uma capacidade bem definida, sendo assim, é necessário planejar a capacidade. Levando em conta tal afirmação, planejar a capacidade e conseguir utilizá-la de maneira eficaz se torna extremamente necessário. Sendo assim, a meta do balanceamento de linha é empregar eficientemente os recursos produtivos (Hazir & Dolgui, 2014). Com apoio da pesquisa operacional, se torna totalmente possível a criação de modelos para a realização desse balanceamento da linha de produção (Fontes, 2013). Segundo Arenales et al. (2007), a pesquisa operacional é conhecida como ciência e tecnologia de decisão, conseguindo, através da observação de fenômenos, processos ou sistemas, encontrar as “leis” que os regem. A partir disso se criam os modelos matemáticos, os quais podem ser utilizados na resolução do problema de balanceamento. Sendo assim, o estudo do balanceamento de linha de produção, atrelado a modelagem e otimização de problemas torna-se um âmbito rico no que diz respeito às possibilidades de implementação e inovação, ocasionando

crescimento, maximização de resultados, redução de custos, e agregando valor e conhecimento.

### 1.3 ESTRUTURA DO TRABALHO

O presente trabalho tem a seguinte estrutura:

- Capítulo 1 - Introdução e tópicos introdutórios sobre a abordagem do trabalho.
- Capítulo 2 - Fundamentação teórica e conceitos utilizados para realização e desenvolvimento do trabalho.
- Capítulo 3 - Metodologia utilizada no processo de pesquisa.
- Capítulo 4 - Resultados e análises, onde serão demonstrados resultados sob diferentes testes.
- Capítulo 5 - Conclusão baseada nos resultados obtidos e últimas considerações sobre a natureza dos modelos de apoio à decisão.

Por fim, são listadas as referências e apresentados os apêndices elaborados ao longo da metodologia deste trabalho.

## 2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Neste capítulo será apresentada a Fundamentação Teórica, que será composta por conceitos relacionados aos tipos de processos de produção, planejamento e balanceamento de linhas de produção, modelagem e solução de problemas pelo método Simplex e temas relacionados.

### 2.1 CONCEITO E TIPOS DE PROCESSOS DE PRODUÇÃO

Segundo Slack et al. (2002), o processo produtivo é qualquer operação que produz bens, serviços, ou um misto dos dois. Por essa perspectiva, entende-se que o processo produtivo trata da transformação de insumos em um produto final, através do uso de recursos para modificar o estado de um input para produzir um output.

Processos e operações, apesar de serem responsáveis pela transformação de input em outputs, se diferenciam no que diz respeito ao volume produzido de outputs, variedade dos mesmos, variação da demanda e grau de visibilidade na produção do output (Slack et al, 2002). Cada dimensão apresentada impacta na forma como a produção é desenhada. De toda forma, independente do processo, as quatro dimensões estão presentes nos processos, de modo que, o comportamento em relação a uma dimensão reflete nas demais.

Segundo Slack et al. (2002), a dimensão volume diz respeito à necessidade de produção de grande quantidade de outputs, o que acaba resultando numa maior repetição nas tarefas, menos flexibilidade da produção, menor variedade nos produtos. A variedade nos outputs segue em direção contrária ao volume, de modo que uma alta variedade requer alta flexibilidade, alta customização, e acaba resultando em menor volume. Enquanto o alto volume resulta em um menor custo unitário, a alta variedade acaba tornando o custo unitário alto. A terceira dimensão citada é a variação da demanda, que impacta diretamente no volume de produção e na flexibilidade na capacidade produtiva. Se a demanda por um output tem uma alta variação, é difícil prevê-la. O que pode tornar difícil se adequar a ela, resultando em perdas de oportunidade ou insatisfação por atraso de entregas. Por sua vez, a baixa variação de volume torna a demanda previsível e se torna fácil adequar a ela. A visibilidade mostra a percepção do consumidor em relação ao output, desse modo,

uma alta visibilidade necessita de alto investimento, para que o produto tenha a maior qualidade possível, enquanto que uma baixa visibilidade permite um baixo investimento e baixa flexibilidade.

Conhecendo as principais características dos processos, torna-se fácil entender o que é um sistema produtivo, pois ele é um conjunto de processos que juntos demonstram a complexidade e particularidades do sistema, transparecendo o grau de dificuldade de planejamento produtivo. Segundo Laurindo e Mesquita (2000), os principais sistemas de produção podem ser classificados como produção empurrada ou produção puxada, cada um deles contendo suas características. Na produção empurrada, a produção é planejada de acordo com uma devida previsão, caso a demanda real seja menor, o excedente vai para o estoque, sendo intermediário ou final, daí vem o termo “empurrada”. Diferente da produção empurrada, a produção puxada atua de acordo com a demanda real apresentada, assim, nada é produzido sem que antes tenha sido solicitado, reduzindo os estoques do processo.

## 2.2 BALANCEAMENTO DE LINHAS DE PRODUÇÃO

Segundo Kumar (2013), o balanceamento de linha se trata do nivelamento da carga de trabalho ao longo do fluxo de valor para remover gargalos e excesso de capacidade. Desse modo, ele busca alocar eficientemente os recursos produtivos, buscando avaliar o balanceamento de acordo com o tempo ocioso gerado pelo mesmo. Para realizar o balanceamento, é necessário o conhecimento técnico da linha, como capacidade produtiva, tempo de ciclo e, em caso de trabalho humano, a eficiência do operador. O problema do balanceamento visa alocar atividades de forma ótima às estações de trabalho, respeitando as relações de precedência existentes no processo, realizando isso de modo que a capacidade produzida seja ótima, sem perdas no processo (Oliveira, 2017).

Cada etapa do processo de produção deve ser analisada separadamente, sendo cronometrada, para determinar a capacidade de mesma. Dessa forma, é notável que o estudo dos tempos não impacta só no conhecimento da capacidade, mas ele permite estabelecer padrões para os programas de produção, avaliar custos padrões de produção e também estimar custos de um novo produto (Kumar, 2013).

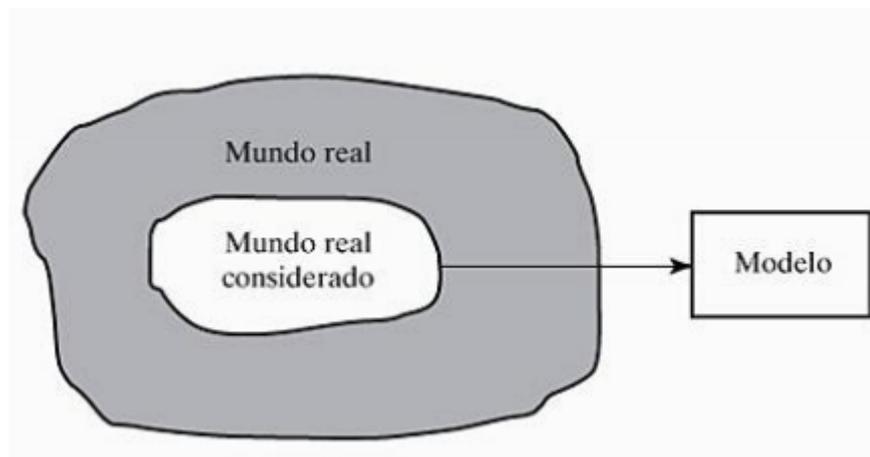
O processo de balanceamento torna-se necessário em qualquer ambiente produtivo. Contudo, sua implementação não é simples, mas, com auxílio de sistemas de informação é possível facilitar o processo de tomada de decisão. O uso de sistemas de informação permite que cálculos ou mineração de dados sejam executados com precisão e velocidade aquém da capacidade humana, auxiliando, dando total suporte para que o ser humano trate somente de analisar e tomar decisões após a obtenção das informações (Heinzle et al, 2017). Segundo Laudon e Laudon (2011), uma das principais contribuições de sistemas de informação é a melhoria na tomada de decisão de um grupo ou de um indivíduo. Assim, o processo de balanceamento faz parte do processo de tomada de decisão sobre a linha de produção. Segundo Simon (1960), o processo de tomada de decisão é composto de quatro etapas, sendo elas: Inteligência, concepção, seleção e implementação.

Assim, a inteligência trata do conhecimento aprofundado do problema, a concepção consiste na investigação de soluções, seleção trata da escolha da solução e a implementação, diz respeito à aplicação de tal solução. Assim, dado o conhecimento sobre o processo de tomada de decisão, modelos quantitativos podem ser implementados durante o processo, de modo que, melhores resultados sejam alcançados pelo modelo de decisão.

### 2.3 MODELAGEM E SOLUÇÃO DE PROBLEMAS ATRAVÉS DO MÉTODO SIMPLEX

Segundo Taha (2008), quando o contexto denominado “mundo real” é observado, é possível extrair um escopo que restringe o “mundo real considerado” que é capaz de representar uma situação real, concentrando-se nas variáveis dominantes que controlam o comportamento do sistema real. Com isso, o modelo representa de maneira tratável as funções matemáticas que expressam o comportamento do mundo real considerado. Assim, é entendido que um modelo é uma representação simplificada de uma realidade. A Figura 1 representa essa definição.

Figura 1. Representação gráfica de um modelo

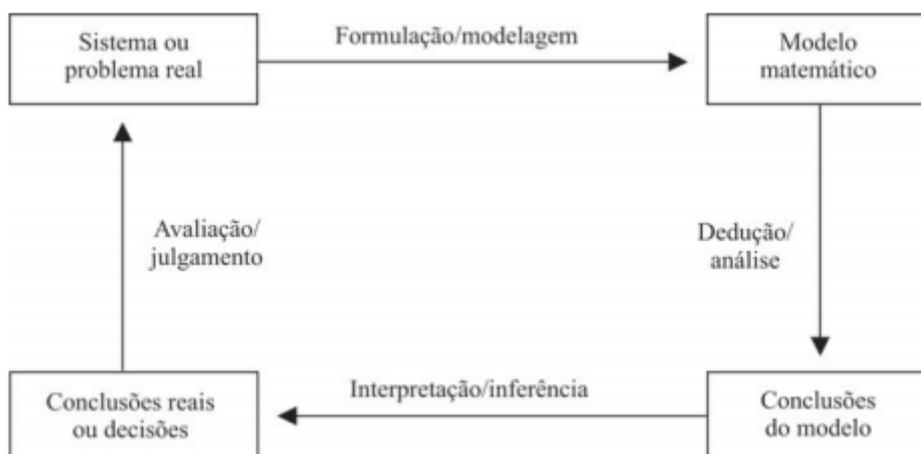


Fonte: Taha(2008)

Na construção de um modelo, alguns fatores devem ser analisados, como o problema que se quer resolver, o tipo de resultado que se busca, as limitações do modelo, variáveis estudadas e restrições a serem consideradas (Arruda, 2021). Tendo em vista o modelo criado, é preciso validá-lo, identificando se os resultados obtidos do modelo são compatíveis com a realidade. Segundo Arenales et al. (2007), é importante lembrar que um modelo não substitui um tomador de decisão. Esse ponto de vista demonstra a importância de um pensamento subjetivo na tomada de decisão. Assim sendo, modelos criados somente auxiliam e norteiam decisões.

Na Figura 2 descreve o processo de desenvolvimento e avaliação de um modelo, que se inicia com sua concepção. Após a definição das variáveis de decisão, da função objetivo e das restrições, o modelo matemático é desenvolvido e avaliado. Em seguida, são tiradas as conclusões sobre o modelo. Logo após suas conclusões são testadas no ambiente real, assim sendo julgadas e avaliadas, analisando sua compatibilidade com a realidade.

Figura 2. Processo de modelagem



Fonte:Arenales et al. (2007)

Segundo Taha (2008), não existe só uma técnica para a resolução de modelos matemáticos. O que determina a sua maneira de resolução é o tipo e a complexidade do modelo matemático. A técnica abordada no trabalho para resolução de problemas de otimização é a programação linear, de modo que sua função objetivo e restrições são lineares. Assim sendo, um problema de otimização é aquele no qual se busca achar valores ótimos para as variáveis, as quais, atendendo a todas as limitações encontradas no problema, indicam uma solução ótima para o problema (Cenci, 2019).

Um problema de programação linear pode seguir a estrutura representada pela Figura 3.

Figura 3. Forma padrão de otimização linear

$$\begin{aligned}
 &\text{Minimizar } f(x_1, x_2, \dots, x_n) = c_1x_1 + c_2x_2 + \dots + c_nx_n \\
 &a_{11}x_1 + a_{12}x_2 + \dots + a_{1n}x_n = b_1 \\
 &a_{21}x_1 + a_{22}x_2 + \dots + a_{2n}x_n = b_2 \\
 &\quad \vdots \\
 &a_{m1}x_1 + a_{m2}x_2 + \dots + a_{mn}x_n = b_m \\
 &x_1 \geq 0, x_2 \geq 0, \dots, x_n \geq 0.
 \end{aligned}$$

Fonte:Arenales et al. (2007)

Como visto na Figura 3, um modelo de programação linear contém sua função objetivo, podendo ser de maximização ou minimização, e possui suas restrições. Em

um modelo, podem existir restrições relacionadas às limitações do problema e restrições ligadas ao campo de valores que as variáveis estudadas podem assumir. Dado esse conhecimento, é compreensível que uma solução viável esteja dentro do campo o qual se respeita todas as restrições, ou seja, o campo de soluções factíveis. Dentro desse campo, a solução ótima é aquela que maximiza ou minimiza o resultado da função objetivo. (Arenales et al. 2007).

#### 2.4 BALANCEAMENTO DE LINHAS DE PRODUÇÃO EM UMA INDÚSTRIA DE CONFECÇÕES DE MODA PRAIA

Dado o conhecimento adquirido, entende-se a importância do planejamento e do balanceamento de linhas de produção, e o cuidado que se deve tomar ao efetuar-lo. Para que sejam efetivos e para que ofereçam resultados satisfatórios, é preciso que pessoas capacitadas ou que tenham experiência o estejam realizando. Em contextos em que há alta rotatividade de profissionais supervisores e gerentes, o processo de aprendizado pode ficar fragilizado. Junto a isso, a falta de capacitação e de apoio tecnológico limita demasiadamente os responsáveis, de modo que não é justo cobrar resultados de pessoas as quais ainda não passaram por treinamentos, ensinamentos, capacitações necessárias, e também que não se oferece todas as ferramentas necessárias.

O balanceamento de linhas de produção em empresas com mix de produtos variados pode apresentar aspectos gerenciais ainda mais complexos devido à possibilidade de combinações nos ciclos de produção. Uma indústria de confecção do estilo moda praia, por exemplo, apresenta a característica particular sobre a gestão da demanda. Para esse tipo de empresa, a demanda tende a ser sazonal, tendo ciclos de alta de em meses específicos, como o intervalo de novembro até fevereiro e ciclos de baixa nos demais meses.

Essa particularidade faz com que durante um período a produção trabalhe com folga, sem grandes exigências, ou seja, período no qual ocorrem as férias, testes na produção e alguns pequenos treinamentos. Por outro lado, em outro período a demanda cresce consideravelmente e o setor de produção é exigido ao máximo. Neste contexto, os problemas são percebidos com maior facilidade pela gerência. Dentre eles, é possível citar a mão de obra incapacitada tanto no planejamento e controle quanto na execução das operações. Isso limita os

resultados gerais da empresa, trazendo a necessidade de forte capacitação e utilização de sistemas de apoio à decisão.

Em períodos de alta, periodicamente, a produção não consegue suprir toda a demanda do mercado, isso se dá pela baixa eficiência produtiva atual do sistema real. Essa tem sido uma queixa antiga de diretores e gestores. Logo, a implementação de um modelo de balanceamento de linha resultará no aumento da utilização da capacidade, redução de custos, os quais têm sido altos por causa da ineficiência e contribui para que não se perca clientes por falta de oferta.

### 3 METODOLOGIA

Neste capítulo, serão apresentadas a classificação da pesquisa e as etapas para a sua consolidação.

#### 3.1 CLASSIFICAÇÃO DA PESQUISA

Segundo Knechtel (2014), quanto à forma de abordagem, a presente pesquisa é do tipo quantitativa, pois busca atuar sobre um problema. Ela é baseada no teste de uma teoria e composta por variáveis quantificadas em números, que são analisados com objetivo de determinar se o resultado se adequa ao sistema real. Assim essa pesquisa busca apresentar dados e resultados de experimentos e compará-los com os resultados atuais obtidos na linha de produção em estudo.

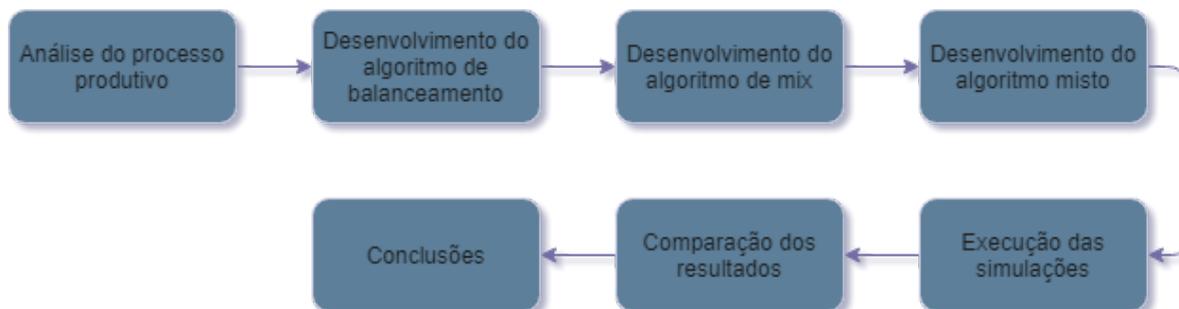
A presente pesquisa apresenta uma natureza aplicada, onde, através de simulação, busca explorar oportunidades para solucionar problemas relacionados ao balanceamento de linha, que está em déficit devido a falta de investimento ou capacitação oferecida pela empresa em estudo. Dessa forma, a pesquisa apresenta o objetivo de ser exploratória, onde se busca conhecimento sobre um determinado problema profundamente, usando como base o estudo de caso da empresa (Gil, 1991).

Quanto à coleta de dados e análise, será desenvolvido um estudo de caso, tendo em vista que se trata de um estudo dentro de uma determinada realidade e direcionado para um problema em específico.

#### 3.2 ETAPAS DA PESQUISA

As etapas da metodologia utilizada são representadas pela Figura 4. Para a obtenção dos resultados, foram realizadas a análise do processo produtivo, identificação das características da linha de produção e características únicas dos produtos, implementação de um modelo de programação linear para definição de mix de produtos, e a implementação de um modelo de programação linear para balanceamento de linha.

Figura 4. Diagrama das etapas da pesquisa



Fonte:Autor

Na etapa 1, foram desenvolvidas fichas operacionais juntamente com a equipe de desenvolvimento de produtos. Assim, o processo de fabricação padrão é estabelecido logo após esse desenvolvimento. A primeira cronometragem ocorre com a equipe de desenvolvimento. Contudo, esse tempo só é considerado na primeira fabricação. Assim, vários operadores diferentes são cronometrados realizando a operação de seu ofício, e assim, se obtém um tempo médio da fábrica por operação. Sobre eles são postos concessões, que variam por máquina. As concessões ligadas ao pessoal, como fadiga, são fixas. Porém, cada máquina possui uma necessidade diferente de setup, de forma que, a concessão total é a concessão pessoal somada à concessão relacionada com a máquina utilizada no processo. Após todas as operações tiverem tempos padrões definidos, o tempo total se torna a soma do mesmo.

Nas etapas 2 a 4, o desenvolvimento dos modelos se dá através da linguagem de programação Python 3, com auxílio do editor Visual Studio Code. As bibliotecas utilizadas foram pandas, numpy e Pulp. As bibliotecas pandas e numpy foram utilizadas para obtenção dos dados vindos o excel e manipulação dos dados. Após a extração e organização dos dados para possibilitar iterações e construção dos modelos, utilizou-se a biblioteca Pulp para criação do modelo, tendo como solver o CBC.

Na etapa 5 foram realizados experimentos computacionais após a implementação dos modelos, Tabelas de Excel foram criadas com os dados dos produtos, indicando as máquinas utilizadas na operação e o tempo de processo. Diferentes produtos foram usados, e as simulações se tratavam de rodar o algoritmo com dados de diferentes modelos e os resultados foram avaliados, de acordo com a

capacidade produzida utilizada estimada pelo resultado. Uma avaliação feita foi a possibilidade de alocar funcionários para máquinas que não possuíam habilidade de operar. Essa alocação foi feita através de planilhas de excel, onde, o múltiplo do balanceamento é descoberto e assim se torna possível estimar a necessidade de pessoas em cada operação, com base na quantidade de pessoas disponíveis no grupo. Assim, pode-se fazer certas estimações.

Na etapa 6 são feitas diretamente com resultados reais alcançados na linha. Os resultados das linhas existentes são disponibilizados na base de dados da empresa. Dessa forma, se pode comparar o desempenho da produção estimada da simulação com a produção real alcançada.

Na etapa 7, são tiradas as determinadas conclusões sobre o problema, e sobre o estudo feito, tendo sido possível identificar potenciais melhorias no estudo e nos modelos.

## **4 MODELO DE DECISÃO PARA O BALANCEAMENTO DA PRODUÇÃO EM UMA INDÚSTRIA DE CONFECÇÕES DE MODA PRAIA**

### **4.1 O SISTEMA DE PRODUÇÃO DE UMA INDÚSTRIA DE CONFECÇÕES DE MODA PRAIA**

Na busca por soluções, sempre é necessário entender o cenário atual em que se encontra a empresa, o processo ou qualquer que seja o objeto de análise. Devido a isso, antes das próximas etapas se faz necessário um período de análise, o qual é útil para compreensão da situação na qual se encontra a linha produtiva.

Atualmente a produção trabalha com pequenos lotes, que variam dependendo do corte efetuado no setor de corte de tecidos, de onde vem os insumos para a costura. Geralmente os lotes maiores, conhecidos como grades, têm os valores de 42, 48, 60, 64 ou 66, dos quais, o valor mais comum é o de 60 produtos por lote maior. Esse lote maior se divide em 3 lotes menores, sendo eles diferenciados por P, M e G ou GG, XG e XGG, que podem ter variadas distribuições. Contudo, sempre é preferível que todos os lotes maiores de uma ordem de fabricação possuam o mesmo tamanho, e que todos os seus lotes menores de classe igual possuam o mesmo tamanho, ou seja, todos os P de uma ordem vão ter a mesma quantidade. Como base para exemplo, pode-se ter um lote maior com 60 produtos, sendo o P igual 12, M igual a 24 e G igual a 24, essa é uma distribuição muito comum e desejada.

Geralmente a linha é composta por 10 pessoas. Algumas não possuem esse valor, que é o valor preferível para a organização devido a consultorias anteriores. Os operadores que compõem a linha são divididos por suas habilidades, sendo elas quatro basicamente: Operador de overlock, zeromak ou zeromax, reta e goleira. Contudo, em alguns produtos específicos também se usa uma goleira de viés ou uma refiladeira. Geralmente os costureiros dominam mais do que uma dessas máquinas, mas, como nesse tipo de produção a habilidade tem um impacto altíssimo, seria preferível que um operador passasse a maior parte do seu tempo de trabalho em sua máquina de domínio. A distribuição atual de habilidades principais por grupo é, preferivelmente, 5 costureiros de overlock, 2 costureiros de goleira, 2

costureiros de reta e 1 costureiro de zeromak. Essa distribuição é definida assim devido a maior parte das operações serem de overlock e a menor parte de zeromak, sendo a goleira e reta variáveis dependendo do modelo produzido.

Para medir o desempenho da linha é definida a meta de produção diária. Porém, a eficiência não é medida baseado no número de produtos concluídos, mas sim baseado no tempo utilizado dividido pelo tempo disponível. Dado que as células não trabalham entregando produtos prontos todos os dias, esse se tornou um modo viável e aceitável de avaliar o desempenho produtivo. Contudo, esse tipo de avaliação passa a fazer considerações que podem não existir, como, para indicar os resultados onde tem a meta a ser produzida. O resultado posto no quadro é o tempo utilizado dividido pelo tempo de produção, dando a representação do trabalho em produtos finalizados.

Uma situação muito comum na produção é a produção de dois modelos ao mesmo tempo, dado que não se quer tirar os operadores de suas máquinas principais.

#### 4.2 BALANCEAMENTO DA LINHA DE PRODUÇÃO DE CONFECÇÕES DE MODA PRAIA

Em um primeiro momento, foram coletados dados e informações para a descrição do cenário atual. Os dados e informações foram coletados por entrevistas com a gestão, que busca ter uma disponibilidade maior de produtos em estoque, mesmo antes de terminar de produzir uma ordem de fabricação. Devido às características do modelo atual, o lote começa a sair da linha para a próxima etapa muito próximo da data prevista para a finalização da ordem de fabricação, e, devido ao fato de entrar uma ordem nova quando vão acabando as operações, a data de entrega da ordem de fabricação é sempre adiada, estendendo bastante os dias de trabalho, inclusive, dobrando o prazo muitas vezes.

Com isso, para ter uma boa eficiência produtiva e na necessidade de abastecimento diário do estoque, foi desenvolvido um modelo de balanceamento de linha. O objetivo do balanceamento é maximizar a quantidade produzida levando em consideração que todas as operações precisam produzir a mesma quantidade, e que existem limites de operadores por máquina, pois o algoritmo foi desenvolvido com o intuito de manter os operadores em suas principais máquinas.

O modelo aplicado foi o de programação linear, apesar de ser um modelo no qual se determina postos de trabalho, uma programação linear inteira não seria possível, devido às limitações do processo, onde cada operador pode realizar mais de uma tarefa na linha, com isso, foi usada a programação linear contínua. Porém, o resultado foi transformado em tempo despendido na operação, para que assim fique mais claro para o leitor dos resultados, de modo que 0,5 operador corresponde à metade do tempo disponível para o mesmo.

A função objetivo do modelo é dado pela soma dos produtos do número de operadores alocados para cada operação com a quantidade que é produzida em cada operação por período, onde  $N$  é o número total de operações:

$$\max f(x) = \sum_{i=1}^{i=N} \sum_{j=1}^{j=4} Q_i x_{ij}$$

Sujeito à:

$$\sum_i^n x_{ij} \leq L_j, j = 1, 2, 3, 4 \quad (1)$$

$$Q_{n-1} x_{(n-1)j} = Q_n x_{nj}, j = 1, 2, 3, 4, n = 1, \dots, N \quad (2)$$

$$x_{ij} \geq 0 \forall i, j \quad (3)$$

Onde  $Q$  diz respeito à quantidade produzida no período na operação,  $x_{ij}$  é igual a quantidade de operadores,  $L_j$  se refere ao número de operadores disponíveis em cada máquina,  $j$  se refere ao índice de cada máquina, onde 1 = overlock, 2 = zeromak, 3 = reta e 4 = goleira. A restrição (1) denota que o número de operadores não pode exceder o limite disponível para cada máquina. A restrição (2) representa a necessidade de igualdade de produção em todas as operações. A restrição (3) é de não negatividade, para que todas as operações produzam.

#### 4.3 COMPOSIÇÃO DO MIX DE PRODUTOS NA LINHA DE CONFECÇÕES DE MODA PRAIA

Foi desenvolvido um segundo modelo que considera a variação do mix de produtos para melhorar o planejamento geral e adaptação em um segundo modelo de apoio à gestão.

O modelo consiste na maximização da soma das capacidades produtivas obtidas em cada produto, ou seja, nos produtos disponibilizados para escolha, será calculada a capacidade produtiva em cada um, considerando seu tempo total de produção. Assim, respeitando as limitações de células disponíveis e produtos elegíveis para produção, o modelo retornará os produtos que somados, elevam ao máximo a produção, onde a capacidade de produção é dada pelo tempo disponível.

$$\max f(x) = \sum_{i=1}^n C_i x_i$$

Sujeito à:

$$\sum_{i=1}^n x_i \leq c \quad (1)$$

$$x = (0, 1) \quad (2)$$

Onde,  $C$  corresponde a capacidade de produção cada produto por período,  $x$  é uma variável binária para indicar se o produto vai ser produzido ou não, e  $c$  corresponde a quantidade disponível de células. A restrição (1) limita o número de produtos escolhidos ao número de grupos disponíveis. A restrição (2) diz que a variável é binária.

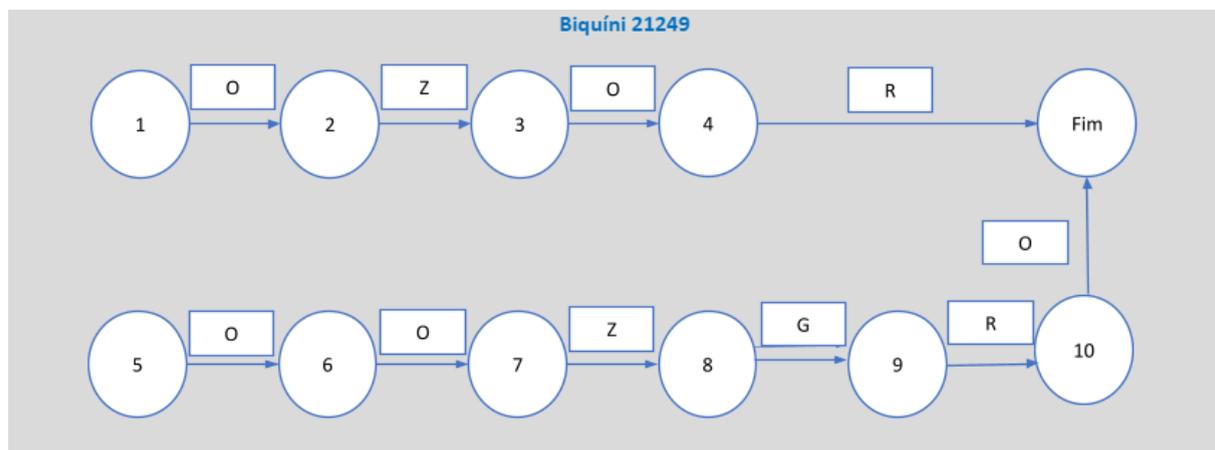
Dados os modelos para balanceamento de linha e de mix de produtos, o modelo final seria a junção dos dois modelos, realizando o balanceamento nos produtos selecionados no mix. Onde, primeiramente se realiza o mix de produtos, como determinado no ponto anterior, e em seguida é implementado o modelo de balanceamento atual, existindo duas possibilidades de balanceamento, uma na qual não há a restrição onde todos devem produzir a mesma quantidade, ou seja, todas as referências devem ter produzido durante o dia a mesma quantidade de produtos, e a segunda possibilidade seria que essa restrição existisse.

#### 4.4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Implementar melhorias antes de testá-las pode ser muito custoso para empresas, de modo que se torna preferível, antes de testar em linha, realizar experimentos para tomar entendimento sobre o real funcionamento do novo modelo e seus benefícios. A melhor forma de avaliar é executando análises de sensibilidade ao mesmo e, se possível, comparando ele com o modelo atual.

Para verificar a eficácia do modelo, a linha de produção de biquíni foi selecionada pelo estudo. O produto recebe o código de identificação 21249 e a representação do fluxo operacional desta linha é ilustrada na Figura 5.

Figura 5. Fluxo de produção do produto 21249



Fonte:Autor

A produção de todo biquíni se inicia no processo de corte de tecido, onde é utilizado um programa para encaixar as formas do produto de maneira viável em uma determinada área. Assim, é impresso um papel com essa formação e é posto sobre um tecido pronto para corte. O mesmo processo é repetido para dois tipos de tecido, pois, biquínis são feitos com um tecido externo, chamado de lycra, e um interno, chamado de forro. Durante o corte acontece a separação dos materiais, como etiquetas, pingentes, tags e todos os acessórios que tem no produto. Cada produto tem seu próprio grupo de acessórios. Também é realizado o corte do viés durante o corte do tecido, que é onde são feitos o viés, rolitês, que geralmente são as alças do biquíni, e também são cortadas tranças, dependendo do modelo. Esses processos citados não são considerados neste trabalho, mas somente os processos após esse que é da construção do biquíni.

Quando se fala de produção de biquínis, o processo é dividido em dois caminhos, produção da parte superior e da parte inferior, assim, se tem duas linhas paralelas. Contudo, nada impede que um operário trabalhe nas duas simultaneamente. Assim, para o caso do biquíni de código de identificação 21249, segue a lista de operações realizadas e estudadas.

Tabela 1. Operações da parte superior do biquíni 21249

Sequência Operacional	Máquina	Tempo(s)
Empanar	Overlock	182
Colocar elástico	Zero	39
Chuliar bainha	Overlock	20
Fazer bainha	Reta	60

Fonte:Autor

Tabela 2. Operações da parte inferior do biquíni 21249

Sequência Operacional	Máquina	Tempo(s)
Fechar fundo	Overlock	31
Chuliar cintura	Overlock	25
Colocar elástico cintura e perna	Zero	35
Rebater perna e cintura	Goleira	45
Pregar tiras laterais	Reta	114
Fechar tiras laterais	Overlock	105

Fonte:Autor

Com base no entendimento do processo produtivo em estudo, é possível obter os primeiros resultados da aplicação do modelo para o planejamento e balanceamento desta linha de produção. Os resultados são ilustrados na Figura 8.

Tabela 3. Resultado do experimento

Operação	Máquina	Tempo(s)	Capacidade/Hora	Balanceamento /Hora	Produção/Hora	Produção/Dia
1	Overlock	182	20	2,44	48	411
2	Zero	39	92	0,52	48	411
3	Overlock	20	180	0,27	49	411
4	Reta	35	103	0,47	48	411
5	Overlock	31	116	0,42	48	411
6	Overlock	25	144	0,34	48	411
7	Zero	35	103	0,47	48	411
8	Goleira	45	80	0,60	48	411
9	Reta	114	32	1,53	48	411
10	Overlock	105	34	1,41	48	411

Fonte: Autor

A partir da Figura 8, é possível avaliar que a quantidade de operadores utilizados, devido às restrições, foi de aproximadamente 8,5 operadores, ou seja, por período seriam precisos 8 operadores trabalhando todo o período e 1 operador trabalhando meio período, para alcançar o objetivo de 48 produtos prontos por hora, ou 411 por dia. É importante observar que o balanceamento não utilizou os 10 operadores disponíveis pois o objetivo é alocar pessoas somente para suas posições principais, ou seja, ele não busca que pessoas sejam polivalentes no que diz respeito às máquinas, mas somente nas operações das próprias máquinas.

Contudo, é possível ter o balanceamento utilizando os 10 operadores, pois, utilizando o múltiplo, que seria o número de operadores disponíveis dividido por número de operadores utilizados, podemos refazer o balanceamento para a capacidade total considerando que operadores são polivalentes, tem-se o resultado ilustrado na Figura 9.

Tabela 4. Resultado adaptado utilizando os 10 funcionários do grupo

Operação	Máquina	Tempo(s)	Capacidade/Hora	Balanceamento /Hora	Produção/Hora	Produção/Dia
1	Overlock	182	20	2,88	57	485
2	Zero	39	92	0,62	57	485
3	Overlock	20	180	0,32	57	485
4	Reta	35	103	0,55	57	485
5	Overlock	31	116	0,49	57	485
6	Overlock	25	144	0,40	57	485
7	Zero	35	103	0,55	57	485
8	Goleira	45	80	0,71	57	485
9	Reta	114	32	1,81	57	485
10	Overlock	105	34	1,66	57	485

Fonte:Autor

O resultado ilustrado na Figura 9 é facilmente alcançável, pois quando não se considera restrições de operações, basta dividir a quantidade desejada por hora pela capacidade. Dessa forma se tem a quantidade de operadores em cada operação, desconsiderando suas especialidades, e supondo que todos sabem fazer tudo muito bem. Isso é possível devido a flexibilidade do algoritmo proposto.

É importante lembrar que esse resultado considera que todos os operadores possuem eficiência de 100% nas operações realizadas. A produção diária esperada, com essas considerações, seria de 485 peças por dia. Contudo, sabe-se que em máquinas que não são a principal o operador não teria tal desempenho, de modo que, considerando, por exemplo, que a eficiência de 1,5 operadores seria de 70%, a eficiência da linha seria a média ponderada de 8,5 operadores com eficiência de 100% e 1,5 com eficiência de 70%. Assim teríamos uma eficiência aproximada de 95,5%, que resultaria em aproximadamente 463 peças diárias.

Após o resultado do modelo de balanceamento, uma possibilidade para melhorar o planejamento, seria um algoritmo que busca o mix de produtos que possui o menor tempo operacional, ou maior produção possível. O resultado mostrado do modelo considera que todos os produtos têm o mesmo peso.

A Figura 10 mostra os biquínis selecionados pelo algoritmo de mix de produtos, os quais possuem, somados, o menor tempo de produção entre todos os

biquínis possíveis para produzir, considerando que todos os biquínis tiveram o mesmo peso no momento da entrada dos dados.

Tabela 5. Biquínis selecionados no algoritmo de mix

Referência	Tempo(min)
21247	8,50
21254	8,07
21260	7,63
21273	8,62

Fonte:Autor

Agora, testando a junção dos dois modelos, temos duas situações, uma na qual cada um dos produtos de referência diferente podem ser produzidos em quantidades diferentes, porém, todas as operações de uma referência devem ter produção igual, e na segunda situação existe a restrição de que todas as referências devem ser produzidas em igual quantidade.

A solução da primeira situação mostra que é melhor alocar os funcionários a produção dos biquínis de código 21247 e 21260, em vez de distribuir os operadores pelos 4 biquínis possíveis. Os resultados são apresentados na Figura 11.

Tabela 6. Resultado da primeira situação, biquínis podem ser produzidos em resultados diferentes

Referência	Nº de operadores	Produção/Dia
21247	5,11	306
21260	21,06	1407

Fonte:Autor

Dado o resultado apresentado na Figura 11, é possível verificar que são utilizados 26,17 costureiros, de 40 disponíveis. Assim tem-se uma utilização de capacidade especializada de 65,4%, com uma produção de 1713 peças por dia. Se realizarmos uma análise parecida com a feita em relação ao primeiro modelo de balanceamento testado, encontrando o múltiplo do balanceamento, para alocar pessoas para posições nas quais não necessariamente especializados. O acréscimo

dos funcionários, considerando a possibilidade de todos conseguirem trabalhar na capacidade exigida na operação, teríamos uma produção diária de 2619 peças, como mostra a Figura 12. Contudo, considerando os operadores que não estão na alocação inicial de 26, 17 não trabalham com uma eficiência de 100%, mas somente 70%, teríamos que a eficiência diária seria de aproximadamente 90%. Com isso seriam produzidas aproximadamente 2356 peças por dia.

Tabela 7. Resultado do modelo adaptado para utilização de todos os funcionários

Referência	Nº de operadores	Produção/Dia
21247	7,81	468
21260	32,19	2151

Fonte: Autor

Diante dos resultados obtidos, agora são testadas a situação em que todos os biquínis selecionados no algoritmo de mix devem ser produzidos em igual quantidade. A Figura 13 mostra o resultado do algoritmo dado que todos os biquínis tem que ser produzidos em igual quantidade.

Tabela 8. Resultado da segunda situação com a produção de cada tipo de biquíni por dia

Referência	Nº de operadores	Produção/Dia
21247	5,82	349
21254	5,52	349
21260	5,23	349
21273	5,90	349

Fonte: Autor

A partir da Figura 13, é possível verificar que a produção diária por célula é de 349, resultando em 1396 peças feitas por dia, com uso de 22,47 costureiros especializados. Isso corresponde a uma utilização de aproximadamente 56,17%. Utilizando o múltiplo para analisar o resultado com todos os funcionários como se

conseguissem trabalhar na capacidade desejada, é possível obter os resultados ilustrados pela Figura 14.

Tabela 9. Resultado adaptado considerando a utilização de todos os operadores

Referência	Nº de operadores	Produção/Dia
21247	10,36	621
21254	9,83	621
21260	9,31	621
21273	10,50	621

Fonte: Autor

A partir da Figura 14, é possível considerar que a produção sobe para 2484 peças por dia, contudo, considerando que os operadores que não são os escolhidos operam em 70%, tem-se que cada célula operaria em 87%. Com isso tem-se a produção total de 2158 peças.

Dados os resultados dos experimentos, torna-se possível avaliar os resultados já obtidos na situação real. Inicialmente, considerando a referência 21249, os dias que se manteve em produção, foi produzida com uma eficiência média de 70%. Contudo, esse resultado obtido vem de uma alocação de postos de trabalho onde não se entrega peças finalizadas por dia, sendo essa eficiência obtida pela divisão de horas trabalhadas por horas disponíveis. Comparando o resultado da produção atual com o balanceamento alcançado pelo modelo, o resultado do experimento seria de 85% de eficiência só com 8,5 funcionários, contanto que trabalhem com eficiência máxima, ou seja, os 1,5 funcionários restantes só aumentariam essa diferença. Com isso, se os 8,5 funcionários trabalhassem com uma eficiência média de aproximadamente 82,35%, seria possível alcançar a eficiência de produção de 70% da célula, sendo os demais 1,5 funcionários úteis para aumentar essa diferença. Um fator importante sobre essa comparação é que o modelo simulado busca entregar peças finalizadas no mesmo dia, assim, aumentaria o fluxo de mercadoria para o estoque, que é algo demandado pela empresa.

#### 4.5 CONCLUSÕES DO CAPÍTULO

Dados os resultados obtidos, a aplicação de modelos para balanceamento de linha e composição de mix de produtos proporcionam opções de balanceamento para diferentes situações, nas quais cabe ao gestor determinar qual aplicar. Como nas situações onde se pode alocar sua mão de obra para uma única referência ou se a preferência é que sejam feitas exatamente a mesma quantidade de quatro referências. O modelo, dentro do objetivo do trabalho, buscou auxiliar a decisão no que diz respeito a criar um balanceamento para um fluxo contínuo e decisão sobre mix de produtos dependendo da sua necessidade de estoque.

Comparando os experimentos com resultados reais, a possibilidade de melhorias nos resultados atuais da empresa podem ser alcançadas, tornando a solução atrativa do ponto de vista de planejamento.

Dado o problema, é possível observar que o mesmo poderia ser resolvido com uso de teoria das filas, programação dinâmica ou até poderia ser resolvido de forma mais simples, como uma heurística incremental, por exemplo, que pode conceder soluções viáveis que buscam uma maior eficiência alocando postos de trabalho, também resultando em redução de custos (De Souza Leite et al, 2017).

Como os resultados obtidos são dados por números do conjunto real, isso indica que para a melhor compreensão, se torna interessante compreender o número de funcionários em cada operação como a porcentagem do tempo de cada funcionário. Sendo assim, caso o número de funcionários requeridos seja de 2.5, logo necessitamos de 8.5 horas de trabalho de dois funcionários e 4.25 horas de um terceiro. O turno de trabalho é de 9 horas diárias, contudo, tirando tempos de pausas, tem-se a redução para 8,5 horas.

Torna-se interessante observar que, os resultados aqui obtidos não terão impacto somente na produtividade, a padronização e planejamento impactam fortemente no controle de qualidade (De Medeiros et al, 2020).

## 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

### 5.1 CONCLUSÕES

Ficou claro que há espaços para melhorias no sistema atual da empresa estudada e que uma possível solução simples permite que a gestão adquira instruções fundamentadas, mesmo não investindo em um sistema computacional altamente complexo. A solução proposta pelo estudo apresenta excelentes resultados, tendo em vista o cenário atual, sendo uma alternativa viável para encontrar melhorias atreladas ao desejo da empresa, a qual busca um fluxo maior de produtos para o estoque, sanando necessidades das lojas no dia a dia.

Os experimentos executados mostram caminhos possíveis para o balanceamento das linhas de produção, com todas as possibilidades superando o método atual utilizado pela empresa, e isso tudo foi possível sem realizar teste e correr risco de perdas na linha. Isso mostra uma enorme contribuição dos modelos de simulação para empresas, os quais, permitem testes, modificações e implementações que, se feitos no mundo real diretamente, seriam necessárias pausas, setups, mudanças que resultam em custos, e tais custos, poderiam desmotivar as mudanças, o que atrapalha a evolução e crescimento da empresa.

Apesar de se tratar de um modelo quantitativo, é altamente necessário considerar o senso qualitativo para utilizar os dados obtidos, pois várias situações que acontecem podem exigir restrições que não constam no sistema. Assim a atuação ativa do gestor, analista ou qualquer que seja o responsável, é extremamente necessária, na atribuição de pesos dada a necessidade do estoque ou adaptação dos dados obtidos dependendo da situação em que se encontra a produção.

### 5.2 LIMITAÇÕES E TRABALHOS FUTUROS

É importante notar que, seres humanos, e até máquinas em algumas situações, nem sempre alcançam a produção exigida, sendo que, em dias diferentes, apesar de ser a mesma referência a ser produzida, pode ser necessário balanceamentos diferentes, devido a eficiência individual baixa ou faltas, limitações que dizem respeito a habilidades, ou algo parecido, com isso, dado que um modelo

é uma simplificação da realidade, ele não descreve perfeitamente a situação real, mas, de acordo com a capacidade do analista, aproximará as recomendações mais adequadas conforme for possível.

Como citados no tópico de resultados, pode-se executar esse mesmo estudo com uma abordagem de teoria das filas ou programação dinâmica, de modo que resultados comparativos poderiam ser alcançados. Uma abordagem que poderia ser avaliada seria a de programação inteira, e inteira mista, que em alguns estudos se mostrou promissora, alcançando redução de quadro de funcionário e consequente maior eficiência (Magatão et al, 2011). Em estudos futuros, é possível analisar a viabilidade da mudança no modelo produtivo, avaliando se realmente é melhor mudar a produção para entregar peças finalizadas diariamente ou trabalhar atendendo a data solicitada de entrega.

## REFERÊNCIAS

- ARENALES, M., ARMENTANO, V., MORABITO, R., YANASSE, H. Pesquisa Operacional. Rio de Janeiro: Elsevier, 2007.
- ARRUDA, Wendel Gabriel Batista, et al. APLICAÇÃO DO MÉTODO SIMPLEX NA MAXIMIZAÇÃO DO LUCRO DE UMA EMPRESA DE DOCES. I Simpósio Nacional de Engenharia de Produção, 2021.
- CASNAV, M. D. S., 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. 2016.
- CENCI, Vanessa Rebeca. Otimização de receita de uma escola de idiomas através do uso da programação linear. Brazilian Journal of Development v. 5, n. 12, p. 30773-30783, 2019.
- DE MEDEIROS, Arlindo Pereira et al. Balanceamento de linha de produção em um setor de montagem. Tekhne e Logos, Botucatu, SP, v. 11, n. 1, p. 97-109, 2020.
- DE SOUZA LEITE, Marcela et al. Eficácia da heurística da utilização incremental para balanceamento de linha: estudo de caso em um processo de tratamento de superfície. Revista Produção Online, v. 17, n. 3, p. 781-803, 2017.
- FARNES, Vanessa Carolina Fernandes, and Néocles Alves Pereira. "Balanceamento de linha de montagem com o uso de heurística e simulação: estudo de caso na linha branca." Revista Gestão da Produção Operações e Sistemas, p. 125, 2007.
- FCEM. Descubra a importância do polo têxtil do Nordeste para o Brasil. 2018. Disponível em: <https://fcem.com.br/noticias/importancia-do-polo-textil-do-nordeste-para-obrasil/#.XJaCuMIKjMx> Acesso em: 14 março 2020.
- FONTES, Rafael Bezerra, et al. "Balanceamento de linha de produção por meio de programação inteira binária: um estudo de caso em uma fábrica de eletrodomésticos." SIMPÓSIO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 2013.
- GIL, Antonio C. Métodos e técnicas de pesquisa social. São Paulo: Atlas, 1991.
- GODINHO, Ilza Pezzi, et al. Aplicação da Programação Linear para otimizar o mix de produtos em uma empresa de confecção. Scientia cum Industria v. 7, n. 2 p.83-87, 2019.
- HEINZLE, Roberto et al. Semântica nos sistemas de apoio à decisão: o estado da arte. Revista da UNIFEBE, v.1, n. 8, p. 225-248, 2010.

- KNECHTEL, Maria do Rosário. Metodologia da pesquisa em educação: uma abordagem teórico-prática dialogada. Curitiba: Intersaberes, 2014.
- KUMAR, D. M. Assembly line balancing: a review of developments and trends in approach to industrial application. Global Journal of Research In Engineering, 2013.
- LAUDON, K. e LAUDON, J. Sistemas de Informação Gerenciais. 9ª ed. São Paulo: Pearson, 2011.
- LIMA, José Dantas de et al . Uso de modelos de apoio à decisão para análise de alternativas tecnológicas de tratamento de resíduos sólidos urbanos na Região Sul do Brasil. Eng. Sanit. Ambient., Rio de Janeiro , v. 19, n. 1, p. 33-42, 2014.
- LOUSADA, Mariana; POMIM VALENTIM, Marta Lígia. Modelos de tomada de decisão e sua relação com a informação orgânica. Perspect. ciênc. inf., Belo Horizonte , v. 16, n. 1, p. 147-164, 2011.
- MAGATÃO, Leandro et al. Otimização do balanceamento de uma linha de montagem de cabines de caminhões por meio de programação linear inteira mista. Proc. of XLIII SBPO, Ubatuba, p. 1-12, 2011.
- MONCAYO-MARTINEZ, Luis A.; MUNOZ, David Fernando. Un Sistema de Apoyo para la Enseñanza del Método Simplex y su Implementación en Computadora. Form. Univ., La Serena , v. 11, n. 6, p. 29-40, dic. 2018.
- MOURA, Cassiano Rodrigues, et al. Otimização do processo de emissão de ordens de produção: um estudo de caso em uma indústria de confecção. Gepros: Gestão da Produção, Operações e Sistemas v.15 n.1 p. 171, 2020.
- PACHECO, Diego Augusto de Jesus et al . Balanceamento de fluxo ou balanceamento de capacidade? análises e proposições sistêmicas. Gest. Prod., São Carlos , v. 21, n. 2, p. 355-368, 2014 .
- PORTER, M. Vantagem competitiva: criando e sustentando um desempenho superior. 15. ed. Rio de Janeiro: Campus, 1989.
- PRATES, Caroline Chagas; BANDEIRA, Denise Lindstrom. Aumento de eficiência por meio do mapeamento do fluxo de produção e aplicação do Índice de Rendimento Operacional Global no processo produtivo de uma empresa de componentes eletrônicos. Gest. Prod., São Carlos , v. 18, n. 4, p. 705-718, 2011.
- OLIVEIRA, Isaac Messias Diniz, et al. Balanceamento de linha e arranjo físico: estudo de caso em uma linha de produção de cabines para máquinas de construção. Exacta v. 15, n. 1, p. 101-110, 2017.
- SLACK, Nigel, et al. Administração da produção. 2.ed. São Paulo: Atlas, 2002.

TAHA, Hamdy A., Pesquisa Operacional, 8a. Edição, São Paulo, Pearson, 2008.

SIMON, H. A. The new science of management decision. New York, USA: Harper and Brothers Publishers, 1960.

SILVA, Tainá Ferreira. Mapeamento das atividades do planejamento de produto no setor de confecção, 2018.

## APÊNDICE A - ALGORITMO DE BALANCEAMENTO DE UM PRODUTO

```

import pandas as pd
import numpy as np
from pulp import *
df = pd.read_excel('C:/Users/Gmp/Desktop/algoritmos tcc/ref_21249.xlsx',
                  header = None, names = ['Maquina','Tempo'])
Limite = [5,2,2,1]
df = df.dropna()
for i in df.index:
    df.loc[i, 'Capacidade'] = 3600/df.loc[i,'Tempo']
for i in df.index:
    df.loc[i, 'Maquina'] = df.loc[i, 'Maquina'] + '_' + str(i)
df_dict = dict(zip(df['Maquina'], df['Capacidade']))
variaveis = LpVariable.dicts('maq',df['Maquina'], lowBound = 0, cat = 'Continuous')
prob = LpProblem('Balanceamento', LpMaximize)
prob += lpSum([df_dict[i]*variaveis[i] for i in df['Maquina']])
prob += lpSum([variaveis[i] for i in df['Maquina'] if i[:8] == 'Overlock']) <= Limite[0]
prob += lpSum([variaveis[i] for i in df['Maquina'] if i[:7] == 'Goleira']) <= Limite[1]
prob += lpSum([variaveis[i] for i in df['Maquina'] if i[:4] == 'Reta']) <= Limite[2]
prob += lpSum([variaveis[i] for i in df['Maquina'] if i[:4] == 'Zero']) <= Limite[3]
for i in df.index:
    for j in df.index:
        if i != j and j > i:
            prob += lpSum(df_dict[df.loc[i,'Maquina']] * variaveis[df.loc[i,'Maquina']]) ==
df_dict[df.loc[j,'Maquina']] * variaveis[df.loc[j,'Maquina']]
status = prob.solve()
for i in prob.variables():
    if i.varValue > 0:
        print(f'{i.name} = {i.varValue}')

```

## APÊNDICE B - ALGORITMO DE MIX DE PRODUTOS

```
import pandas as pd
import numpy as np
from pulp import *
df = pd.read_excel('C:/Users/Gmp/Desktop/algoritmos tcc/TBiquíni.xlsx',
                  header = None, names = ['Referencia', 'Tempo', 'Peso'])
df['Tempo_Peso'] = df['Tempo']/df['Peso']
df_dict = dict(zip(df['Referencia'], df['Tempo_Peso']))
variaveis = LpVariable.dicts('ref', df['Referencia'], cat = 'Binary')
prob = LpProblem('Mix', LpMinimize)
prob += lpSum([df_dict[i]*variaveis[i] for i in df['Referencia']])
prob += lpSum([variaveis[i] for i in df['Referencia']]) == 4
status = prob.solve()
for i in prob.variables():
    if i.varValue > 0:
        print(f'{i.name} = {i.varValue}')
```

## APÊNDICE C - ALGORITMO DA PRIMEIRA SITUAÇÃO AVALIADA

```

import pandas as pd
import numpy as np
from pulp import *
df = pd.read_excel('C:/Users/Gmp/Desktop/algoritmos tcc/TBiquíni.xlsx',
                  header = None, names = ['Referencia','Tempo', 'Peso'])
df['Tempo_Peso'] = df['Tempo']/df['Peso']
df_dict = dict(zip(df['Referencia'], df['Tempo_Peso']))
variaveis = LpVariable.dicts('ref',df['Referencia'], cat = 'Binary')
prob = LpProblem('Mix', LpMinimize)
prob += lpSum([df_dict[i]*variaveis[i] for i in df['Referencia']])
prob+= lpSum([variaveis[i] for i in df['Referencia']]) == 4
status = prob.solve()
mix_list = []
for i in prob.variables():
    if i.varValue > 0:
        mix_list.append(i.name)
df_0 = pd.read_excel('C:/Users/Gmp/Desktop/algoritmos tcc/' + mix_list[0] + '.xlsx',
                    header = None, names = ['Maquina','Tempo'])
df_1 = pd.read_excel('C:/Users/Gmp/Desktop/algoritmos tcc/' + mix_list[1] + '.xlsx',
                    header = None, names = ['Maquina','Tempo'])
df_2 = pd.read_excel('C:/Users/Gmp/Desktop/algoritmos tcc/' + mix_list[2] + '.xlsx',
                    header = None, names = ['Maquina','Tempo'])
df_3 = pd.read_excel('C:/Users/Gmp/Desktop/algoritmos tcc/' + mix_list[3] + '.xlsx',
                    header = None, names = ['Maquina','Tempo'])
Limite = [20,8,8,4]
df_0 = df_0.dropna()
for i in df_0.index:
    df_0.loc[i, 'Capacidade'] = 3600/df_0.loc[i,'Tempo']
    df_0.loc[i, 'Maquina'] = df_0.loc[i, 'Maquina'] + '_' + str(i) + '_' + mix_list[0]
df_1 = df_1.dropna()

```

```

for i in df_1.index:
    df_1.loc[i, 'Capacidade'] = 3600/df_1.loc[i,'Tempo']
    df_1.loc[i, 'Maquina'] = df_1.loc[i, 'Maquina'] + '_' + str(i) + '_' + mix_list[1]
df_2 = df_2.dropna()
for i in df_2.index:
    df_2.loc[i, 'Capacidade'] = 3600/df_2.loc[i,'Tempo']
    df_2.loc[i, 'Maquina'] = df_2.loc[i, 'Maquina'] + '_' + str(i) + '_' + mix_list[2]
df_3 = df_3.dropna()
for i in df_3.index:
    df_3.loc[i, 'Capacidade'] = 3600/df_3.loc[i,'Tempo']
    df_3.loc[i, 'Maquina'] = df_3.loc[i, 'Maquina'] + '_' + str(i) + '_' + mix_list[3]
df_merge = df_0.merge(df_1, how = 'outer')
df_merge = df_merge.merge(df_2, how = 'outer')
df_merge = df_merge.merge(df_3, how = 'outer')
df_dict1 = dict(zip(df_merge['Maquina'], df_merge['Capacidade']))
variaveis1 = LpVariable.dicts('op',df_merge['Maquina'], lowBound = 0,cat =
'Continuous')

prob1 = LpProblem('Balanceamento', LpMaximize)
prob1 += lpSum([df_dict1[i]*variaveis1[i] for i in df_merge['Maquina']])
prob1 += lpSum([variaveis1[i] for i in df_merge['Maquina'] if i[:8] == 'Overlock']) <=
Limite[0]
prob1 += lpSum([variaveis1[i] for i in df_merge['Maquina'] if i[:7] == 'Goleira']) <=
Limite[1]
prob1 += lpSum([variaveis1[i] for i in df_merge['Maquina'] if i[:4] == 'Reta']) <=
Limite[2]
prob1 += lpSum([variaveis1[i] for i in df_merge['Maquina'] if i[:4] == 'Zero']) <=
Limite[3]
for i in df_merge.index:
    for j in df_merge.index:
        if j > i:
            prob1 += lpSum(df_dict1[df_merge.loc[i,'Maquina']] *
variaveis1[df_merge.loc[i,'Maquina']]) == df_dict1[df_merge.loc[j,'Maquina']] *
variaveis1[df_merge.loc[j,'Maquina']]

```

```
status1 = prob1.solve()
for i in prob1.variables():
    if i.varValue > 0:
        print(f'{i.name} = {i.varValue}')
```

## APÊNDICE D - ALGORITMO DA SEGUNDA SITUAÇÃO AVALIADA

```

import pandas as pd
import numpy as np
from pulp import *
df = pd.read_excel('C:/Users/Gmp/Desktop/algoritmos tcc/TBiquíni.xlsx',
                  header = None, names = ['Referencia','Tempo', 'Peso'])
df['Tempo_Peso'] = df['Tempo']/df['Peso']
df_dict = dict(zip(df['Referencia'], df['Tempo_Peso']))
variaveis = LpVariable.dicts('ref',df['Referencia'], cat = 'Binary')
prob = LpProblem('Mix', LpMinimize)
prob += lpSum([df_dict[i]*variaveis[i] for i in df['Referencia']])
prob+= lpSum([variaveis[i] for i in df['Referencia']]) == 4
status = prob.solve()
mix_list = []
for i in prob.variables():
    if i.varValue > 0:
        mix_list.append(i.name)
df_0 = pd.read_excel('C:/Users/Gmp/Desktop/algoritmos tcc/' + mix_list[0] + '.xlsx',
                    header = None, names = ['Maquina','Tempo'])
df_1 = pd.read_excel('C:/Users/Gmp/Desktop/algoritmos tcc/' + mix_list[1] + '.xlsx',
                    header = None, names = ['Maquina','Tempo'])
df_2 = pd.read_excel('C:/Users/Gmp/Desktop/algoritmos tcc/' + mix_list[2] + '.xlsx',
                    header = None, names = ['Maquina','Tempo'])
df_3 = pd.read_excel('C:/Users/Gmp/Desktop/algoritmos tcc/' + mix_list[3] + '.xlsx',
                    header = None, names = ['Maquina','Tempo'])
Limite = [20,8,8,4]
df_0 = df_0.dropna()
for i in df_0.index:
    df_0.loc[i, 'Capacidade'] = 3600/df_0.loc[i,'Tempo']
    df_0.loc[i, 'Maquina'] = df_0.loc[i, 'Maquina'] + '_' + str(i) + '_' + mix_list[0]
df_1 = df_1.dropna()

```

```

for i in df_1.index:
    df_1.loc[i, 'Capacidade'] = 3600/df_1.loc[i,'Tempo']
    df_1.loc[i, 'Maquina'] = df_1.loc[i, 'Maquina'] + '_' + str(i) + '_' + mix_list[1]
df_2 = df_2.dropna()
for i in df_2.index:
    df_2.loc[i, 'Capacidade'] = 3600/df_2.loc[i,'Tempo']
    df_2.loc[i, 'Maquina'] = df_2.loc[i, 'Maquina'] + '_' + str(i) + '_' + mix_list[2]
df_3 = df_3.dropna()
for i in df_3.index:
    df_3.loc[i, 'Capacidade'] = 3600/df_3.loc[i,'Tempo']
    df_3.loc[i, 'Maquina'] = df_3.loc[i, 'Maquina'] + '_' + str(i) + '_' + mix_list[3]
df_merge = df_0.merge(df_1, how = 'outer')
df_merge = df_merge.merge(df_2, how = 'outer')
df_merge = df_merge.merge(df_3, how = 'outer')
df_dict1 = dict(zip(df_merge['Maquina'], df_merge['Capacidade']))
variaveis1 = LpVariable.dicts('op',df_merge['Maquina'], lowBound = 0,cat =
'Continuous')
prob1 = LpProblem('Balanceamento', LpMaximize)
prob1 += lpSum([df_dict1[i]*variaveis1[i] for i in df_merge['Maquina']])
prob1 += lpSum([variaveis1[i] for i in df_merge['Maquina'] if i[:8] == 'Overlock']) <=
Limite[0]
prob1 += lpSum([variaveis1[i] for i in df_merge['Maquina'] if i[:7] == 'Goleira']) <=
Limite[1]
prob1 += lpSum([variaveis1[i] for i in df_merge['Maquina'] if i[:4] == 'Reta']) <=
Limite[2]
prob1 += lpSum([variaveis1[i] for i in df_merge['Maquina'] if i[:4] == 'Zero']) <=
Limite[3]
for i in df_merge.index:
    for j in df_merge.index:
        if j > i and df_merge.loc[i, 'Maquina'][-5:] == df_merge.loc[j, 'Maquina'][-5:]:
            prob1 += df_dict1[df_merge.loc[i,'Maquina']] *
variaveis1[df_merge.loc[i,'Maquina']] == df_dict1[df_merge.loc[j,'Maquina']] *
variaveis1[df_merge.loc[j,'Maquina']]
print(prob1)

```

```
status1 = prob1.solve()
for i in prob1.variables():
    if i.varValue > 0:
        print(f'{i.name} = {i.varValue}')
```