UNIVERSIDADE FEDERAL DE JUIZ DE FORA
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

INÁCIO MARES VIÑAS

# BALANCEAMENTO DA PRODUÇÃO: ANÁLISE EM UMA MALHARIA COM BASE NA TEORIA DAS RESTRIÇÕES

JUIZ DE FORA
2023

INÁCIO MARES VIÑAS

# BALANCEAMENTO DA PRODUÇÃO: ANÁLISE EM UMA MALHARIA COM BASE NA TEORIA DAS RESTRIÇÕES

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado a Faculdade de Engenharia da Universidade Federal de Juiz de Fora, como requisito parcial para a obtenção do título de Engenheiro de Produção.

Orientador: Prof. D. Sc., Márcio de Oliveira

JUIZ DE FORA

2023

Ficha catalográfica elaborada através do programa de geração
automática da Biblioteca Universitária da UFJF,
com os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

Mares Viñas, Inácio.
Balanceamento da produção: análise em uma malharia com base na Teoria das Restrições / Inácio Mares Viñas. -- 2023.
67 p.

Orientador: Márcio de Oliveira
Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) - Universidade Federal de Juiz de Fora, Faculdade de Engenharia, 2023.

1. Teoria das Restrições. 2. Balanceamento de Fluxo. 3. Balanceamento de Capacidade. 4. Indústria Têxtil. I. de Oliveira, Márcio, orient. II. Título.

INÁCIO MARES VIÑAS

**BALANCEAMENTO DA PRODUÇÃO: ANÁLISE EM UMA MALHARIA COM BASE NA TEORIA DAS RESTRIÇÕES**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado a Faculdade de Engenharia da Universidade Federal de Juiz de Fora, como requisito parcial para a obtenção do título de Engenheiro de Produção.

Aprovada em 18 de janeiro de 2023.

BANCA EXAMINADORA

D. Sc. Márcio de Oliveira (Orientador)
Universidade Federal de Juiz de Fora

D. Sc., Roberto Malheiros Moreira Filho
Universidade Federal de Juiz de Fora

D. Sc., Antonio Ângelo Missiaggia Picorone
Universidade Federal de Juiz de Fora

## AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar, dou graças ao bom Deus, por tudo que recebi.

Em segundo lugar, à Santíssima Virgem, por ser uma tão boa Mãe.

Em terceiro lugar, agradeço aos meus pais pela educação e exemplo que me deram, que vale mais do que todos os bens que eu poderia receber.

Em quarto lugar, agradeço à minha família e todos os meus irmãos, por serem tão queridos.

Em quinto lugar agradeço a todos os meus amigos, que com sua amizade me ensinaram o que é ser amigo.

Em sexto lugar, agradeço aos meus professores do curso, especialmente ao meu orientador. Foi um mestre paciente e presente.

Agradeço, enfim, à Malhas D'Estefano, que me receberam de braços abertos.

**RESUMO**

A abordagem mais comum nas empresas é buscar a eficiência de cada um dos seus setores, entendendo que, assim, alcançaria a eficiência de toda a empresa. Há outra abordagem que vai de encontra a ela, que foca a busca pela eficiência somente nos setores que restringem o ganho da empresa. É uma visão local, de balanceamento de capacidade, contra uma visão global, de balanceamento do fluxo. O presente trabalho busca analisar o balanceamento de uma fábrica de meias quanto as duas visões, com base na Teoria das Restrições, motivado pelos sinais apresentados pela fábrica de que seu fluxo produtivo estava desbalanceado: alto estoque em processo, longo *throughput time* e frequente utilização de horas extras em todos os setores. Se utilizou um recorte de uma família de produtos para ilustrar os conceitos e embasar a discussão, e, a final, se propôs linhas gerais de ação para fábrica balancear seu fluxo. O resultado foi que um balanceamento de fluxo, por meio da aplicação da Teoria das Restrições, poderia elevar os ganhos da empresa através da redução de estoque em processo, *lead time*, custos de inventário e despesas operacionais.

Palavras-chave: Balanceamento de Fluxo, Balanceamento de Capacidade, Teoria das Restrições.

**ABSTRACT**

The most common approach in companies is to seek efficiency in each of their sectors, on the understanding that this would achieve efficiency for the entire company. There is another approach that goes against it, which focuses the search for efficiency only in the sectors that restrict the company's earnings. It is a local vision, of capacity balancing, versus a global vision, of flow balancing. The present work seeks to analyze the balancing of a hosiery factory according to both visions, based on the Theory of Constraints, motivated by the signs presented by the factory that its production flow was unbalanced: high in-process inventory, long throughput time, and frequent use of overtime in all sectors. A family of products was used to illustrate the concepts and base the discussion, and, at the end, general lines of action were proposed to the factory to balance its flow. The result was that a flow balancing, through the application of the Theory of Constraints, could increase the company's profits by reducing work in process, lead time, inventory costs and operational expenses.

Keywords: Flow Balancing, Capacity Balancing, Theory of Constraints.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Uso do tempo em recursos restritivos e não restritivos.....35
Figura 2 - O conceito de tambor, pulmão e corda.....37
Figura 3 - Setores produtivos da fábrica.....47
Figura 4 - Nível de estoque em processo no setor de acabamento 1.....49
Figura 5 - Nível de estoque em processo no setor de acabamento 2.....49
Figura 6 - Processo produtivo das meias Alpha.....55
Figura 7 - Disposição de um robô do acabamento.....56
Figura 8 - Jornada de trabalho diária de cada setor.....56

## LISTA DE QUADROS

Gráfico 1 - Produção semanal dos setores.....48
Gráfico 2 - Estoque acumulado nos setores.....48
Gráfico 3 - Vendas família de meias Alpha x Total.....54

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Termos e conceitos – Teoria das Restrições.....42
Quadro 2 - Pressupostos da abordagem de balanceamento de capacidade e de fluxo.....42
Quadro 3 - Observações da entrevista semiestruturada.....50
Quadro 4 - Meias consideradas da família Alpha.....54
Quadro 5 - Cálculo do tempo de um tear produzir um pé de meia da família Alpha.....58
Quadro 6 - Cálculo da taxa de produção de um tear das meias da família Alpha.....58
Quadro 7 - Capacidade média do setor de remalho.....58
Quadro 8 - Capacidade média de uma remalhadeira.....59
Quadro 9 - Capacidade média de um robô do acabamento.....59
Quadro 10 - Balanceamento de capacidade dos setores.....59
Quadro 11 - Tempo médio de atravessamento por ordem em condições ideais.....60
Quadro 12 - Tempo de atravessamento de um lote de 12,5 dúzias das meias Alpha.....63
Quadro 13 - Tempo de atravessamento de lotes de transferência variados das meias Alpha…64
Quadro 14 - Relação de sugestões de melhorias.....68

## LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E SÍMBOLOS

DBR – *Drum, Buffer, Rope*

ERP – *Enterprise Resource Planning*

MTO – *Make to Order*

MTS – *Make to Stock*

OEE – *Overall Equipment Effectiveness*

OPT – *Optimized Production Technology*

PCP – Planejamento e controle da produção

RRC – Recurso Restritivo Crítico

TPC – Tambor, Pulmão e Corda

TOC – *Theory of Constraints*

## SUMÁRIO

**1. INTRODUÇÃO.....24**

1.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS.....24
1.2 JUSTIFICATIVA.....24
1.3 ESCOPO DO TRABALHO.....25
1.4 ELABORAÇÃO DOS OBJETIVOS.....26
1.5 DEFINIÇÃO DA METODOLOGIA.....27
1.6 ESTRUTURA DO TRABALHO.....28

**2. REVISÃO DE LITERATURA.....29**

2.1 BALANCEAMENTO DE FLUXO E DE CAPACIDADE.....29
2.2 TEORIA DAS RESTRIÇÕES.....31
2.2.1 GERENCIAMENTO DE CAPACIDADES.....32
2.2.2 O SISTEMA OPT E SEUS PRINCÍPIOS.....34
2.2.3 O TPC: TAMBOR, PULMÃO E CORDA.....36
2.2.4 PASSOS PARA SE GERENCIAR UMA OPERAÇÃO.....38
2.2.5 MEDIDAS DE DESEMPENHO SEGUNDO A TOC.....40
2.2.5.1 MUNDO DOS CUSTOS.....41
2.2.5.2 MUNDO DOS GANHOS.....42
2.2.6 RESUMO DOS CONCEITOS.....42
2.2.7 APLICAÇÕES DA TEORIA DAS RESTRIÇÕES.....44

**3. DESENVOLVIMENTO.....46**

3.1 SITUAÇÃO GERAL DO BALANCEAMENTO DA FÁBRICA.....46
3.2 ANÁLISE DA FAMÍLIA DE MEIAS ALPHA.....53
3.2.1 CÁLCULO DE CAPACIDADES.....57
3.2.1.1 TECELAGEM.....57
3.2.1.2 REMALHO.....58
3.2.1.3 ACABAMENTO.....59

3.2.1.4 CÁLCULO DE BALANCEAMENTO.....59
3.2.2 ANÁLISE DA FAMÍLIA DE MEIAS ALPHA COM BASE NOS PRINCÍPIOS DO OPT.....61
3.3 AVALIAÇÃO E SUGESTÕES DE MELHORIA SEGUNDO OS CINCO PASSOS DE GERENCIAMENTO.....65

**4. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....69**

4.1 CONCLUSÕES.....69

**REFERÊNCIAS.....70**

**ANEXO 1 – RESPOSTAS DA PESQUISA SEMIESTRUTURADA.....73**

**ANEXO 2 – TERMO DE AUTENTICIDADE.....76**

**ANEXO 3 – DECLARAÇÃO DA EMPRESA.....77**

# 1. INTRODUÇÃO

## 1.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS

A globalização vem ocasionando recorrentes transformações nos sistemas produtivos, especialmente na manufatura. Ela propicia a ameaça de novos concorrentes, a busca constante pela qualidade e a redução dos custos de produção como forma de aumentar o lucro e fortalecer a posição competitiva da empresa (UMBLE; SRIKANTH, 1995).

É necessário, portanto, que as empresas, para se manterem no mercado, busquem se aprimorar. Dentro dessa perspectiva, uma das maneiras de uma empresa manufatureira ser mais competitiva é estabelecendo um adequado balanceamento de seu fluxo de produção (PACHECO, 2012).

Tal balanceamento assegura à empresa diminuir as filas e, assim, o *lead time* de produto, diminuindo o inventário e as despesas operacionais, e possibilitando que se opere com previsões de demanda em horizontes mais curtos e, portanto, com risco reduzido de erros de previsão. Com menor *lead time* de produtos, a identificação de problemas de qualidade se torna mais rápida, e há um aumento na flexibilidade para mudanças de volume, mix de produção e alterações de engenharia (SOUZA; PIRES, 1999). O balanceamento de fluxo possibilita, ainda, reduzir cenários de escassez, ao mesmo tempo que se reduz os estoques, através de um melhor fluxo produtivo (GOLDRATT, 2009).

Apresentado o contexto acima, o presente trabalho versará a respeito do balanceamento da produção da Malhas D'Estefano, fábrica de meias da cidade de Juiz de Fora – MG, com base na Teoria das Restrições.

## 1.2 JUSTIFICATIVA

O trabalho justifica-se primeiramente em sua relevância para a empresa em questão. Atualmente se verifica o desbalanceamento de seu fluxo produtivo, devido a opção de se balancear os recursos produtivos com base na capacidade de cada um, e não com base no fluxo do sistema. A partir de tal balanceamento, surgem ineficiências como longas filas entre etapas, longos *lead times* de produtos, altos custos com inventário e despesas operacionais, e baixa rastreabilidade de defeitos por conta do alto estoque em processo.

Uma abordagem de balanceamento pautada no fluxo de produção pode auxiliar uma fábrica a diminuir inventário em processo, diminuir o *lead time*, e diminuir o custo por

unidade produzida, mesmo sem ter seu foco na redução dos custos (GOLDRATT, 2009). O balanceamento do fluxo visa um aumento da capacidade do sistema como um todo. Além disso, a produção fica restrita à capacidade do recurso gargalo, e ações pontuais podem ser tomadas para aumentar a capacidade desse recurso, incrementando-se a capacidade de todo o sistema a partir de ações localizadas (DIEGO; ET AL, 2012).

Em segundo lugar, o trabalho se justifica pelo seu valor enquanto analisa o balanceamento em um ambiente com etapas de capital intensivo e etapas de mão de obra intensiva. A fábrica em questão tem um processo produtivo que se inicia com a tecelagem, onde o capital é intensivo, e a jusante, outras etapas do processo, onde a mão de obra é intensiva.

Em terceiro lugar, pois o tema de balanceamento do fluxo produtivo toca a área da Engenharia de Produção que, de acordo com a ABEPRO, se nomeia "Engenharia de Operações e Processos da Produção", visto que balancear a produção exige um entendimento das operações e processos produtivos. Mais especificamente, toca as subáreas "Gestão de Sistemas de Produção e Operações" e "Processos Produtivos Discretos e Contínuos". Tais áreas estão intrinsecamente relacionadas com o curso de Engenharia de Produção, na medida que abordam justamente o processo produtivo, cerne desse ramo da engenharia.

## 1.3 ESCOPO DO TRABALHO

Este trabalho se deu em uma fábrica de meias em Juiz de Fora – MG, que compete no setor têxtil há 33 anos. A valorização dos funcionários e o investimento em equipamentos de ponta é uma das marcas da empresa, que por sua vez se reflete na alta qualidade dos produtos e na satisfação dos clientes. A grande aceitação no mercado aumentou a demanda pelos produtos e garantiu à empresa um crescimento sólido nos últimos anos. Com esse crescimento, se verificaram efeitos na fábrica que sinalizam que o fluxo de produção não estaria balanceado, e se fez necessário avaliar o balanceamento da produção da fábrica.

Nessa perspectiva, este trabalho se propõe a interrogar se há um desbalanceamento do fluxo na fábrica, suas causas e consequências, e como as práticas de balanceamento atuais se relacionam com esse cenário, com base na Teoria das Restrições.

Para realizar essa análise, se fez um recorte de uma família de produtos. Como o número de produtos diferentes que a fábrica produz chega na casa de centenas, com diferentes rotas de produção e número de operações para fabricação, se fez essa escolha de basear as

análises de balanceamento da fábrica nessa família específica de produtos, cujos itens têm aspectos produtivos semelhantes.

Os critérios para escolha da família foram três. O primeiro é a frequência de produção, para que fosse possível acompanhar seu fluxo produtivo. O segundo, sua representatividade na produção total da fábrica, para que sua análise pudesse trazer conclusões relevantes, visto que são centenas de produtos diferentes e, como observado anteriormente, não será possível analisar todos eles. E o terceiro, a similaridade entre os processos produtivos dos produtos da família escolhida, visto que uma agregação dos produtos seria necessária.

Dentro dessa família foi realizada uma avaliação das capacidades de cada setor para embasar as análises de balanceamento. Para tanto, foi realizada uma agregação dos produtos da família, sem, contudo, perder a especificidade atrelada àquela família de produtos. Os setores considerados foram três: tecelagem, remalho, acabamento.

A família de meias escolhida tem duas possíveis rotas de produção, de acordo com o tear que for utilizado. Se o tear inclui a função de costurar a ponta da meia, não há necessidade do setor de remalho; caso o tear não inclua tal função, o remalho se faz necessário. Na análise da família de meias, foi considerado o tear que não costura a ponta da meia, e, portanto, o setor de remalho foi incluído.

O período avaliado foi de maio a dezembro de 2022, visto ser o período a partir do qual o novo sistema de gestão empresarial foi implementado, e haver disponibilidade de dados atuais para se realizar o trabalho. Antes de maio, alguns dados não foram computados por conta da transição entre um sistema de gestão empresarial (ERP – *Entreprise Resource Planning*) e outro. Já quanto aos dados de campo, sua coleta se deu nos meses de novembro e dezembro de 2022.

Se partiu de uma premissa de linearidade dos dados, e portanto ganhos de escala e fadiga dos operadores, por exemplo, não foram considerados. Os tempos foram considerados como determinísticos.

## 1.4 ELABORAÇÃO DOS OBJETIVOS

O objetivo deste trabalho consiste em analisar o balanceamento da produção da Malhas D'Estefano com base na Teoria das Restrições.

## 1.5 DEFINIÇÃO DA METODOLOGIA

A metodologia do trabalho se inciou com uma revisão bibliográfica, com objetivo de indicar o estado da arte do assunto, e o levantamento de trabalhos parecidos que possam corroborar com a pesquisa. Os temas abordados foram Balanceamento de Fluxo e de Capacidade e Teoria das Restrições.

O segundo passo consistiu em um diagnóstico, com intuito de conhecer a realidade da fábrica. Foi aplicada uma pesquisa semiestruturada para arguir os gestores e líderes de setor a respeito do desbalanceamento do fluxo da fábrica, problema este apontado por um dos gestores como crítico. O questionário ajudou na validação se o desbalanceamento do fluxo de fato existe, suas causas e efeitos.

Concomitantemente, uma pesquisa documental se deu a partir dos relatórios de produção de cada posto de trabalho, dos levantamentos de inventário e outros documentos e relatórios disponíveis na fábrica, em busca de dados pertinentes ao balanceamento. Também foi realizada a verificação *in loco*, buscando por sinais dos efeitos do desbalanceamento, como excesso de estoques em processo em contraposição a recursos aguardando material para processamento, conforme indicado na literatura.

Em seguida, se definiu a família de meias para ser o foco do estudo, com base em pesquisa documental. A partir daí , foram coletadas informações a respeito da demanda dessas meias por período, e mapeados seus processos produtivos através de fluxogramas, para que se identificasse quais recursos da fábrica seriam incluídos na análise. Em seguida, a capacidade desses recursos foi medida de diferentes formas. Na tecelagem, visto ser um setor com muito maquinário, mediu-se a capacidade a partir do OEE *(Overall Equipment Efficiency)*, índice de Eficiência Global do Equipamento. No remalho e no acabamento, se mediu através do histórico de produção em dias normais de produção – aqueles em que não houve alterações na produção por conta de eventos extraordinários.

Finalmente, como terceiro passo, foi analisada a situação geral do balanceamento da fábrica e da família de meias escolhida. Além disso, foram propostos caminhos e linhas gerais de ação para o balanceamento da produção da Malhas D'Estefano, com base na Teoria das Restrições (TOC).

## 1.6 ESTRUTURA DO TRABALHO

O trabalho está dividido em quatro capítulos. O primeiro capítulo consiste na introdução da problemática, justificativa do trabalho, delimitação do objetivo, apresentação do escopo do trabalho e apresentação da metodologia a ser utilizada. Já o segundo capítulo apresenta a revisão de literatura que sustentará as discussões. Em seguida, o terceiro capítulo aborda o desenvolvimento do trabalho, realizado com base na metodologia apresentada e, por fim, o quarto capítulo versa a respeito dos resultados do estudo e as considerações pertinentes, além da proposição de possíveis trabalhos futuros.

# 2. REVISÃO DE LITERATURA

Para melhor entendimento do trabalho, neste capítulo se abordará em mais detalhes os conceitos de balanceamento de fluxo e de capacidade e Teoria das Restrições.

## 2.1 BALANCEAMENTO DE FLUXO E DE CAPACIDADE

O balanceamento da produção busca resolver o problema de nivelamento da capacidade real com a alocação de carga a cada posto de trabalho (SILVA; PORTO, 2008). Segundo Moreira (1996), enquanto capacidade se refere ao máximo de produtos ou serviços que podem ser processados em um determinado intervalo de tempo, carga diz respeito à atribuição de trabalho aos postos.

A contabilidade tradicional de custos levou as empresas a buscarem uma alta utilização de todos os seus recursos, indistintamente. Essa posição advém da ideia de que somando-se os ótimos locais se alcança o ótimo global da empresa (COX; SCHLEIER JUNIOR, 2010). Nessa lógica seria interessante para a empresa utilizar sempre o máximo da capacidade de todos os seus recursos pois assim estaria aproveitando completamente do investimento feito e, portanto, economizando (SOUZA; RENTES; AGOSTINHO, 2002; OZPEYNIRCI; AZIZOGLU, 2009). O desempenho local é recompensado, e gerentes que não apresentem bons números de eficiência e utilização de seus setores são repreendidos, independentemente da empresa atingir objetivos de mercado (CSILLAG; NETO, 1998). Esse raciocínio segue a lógica do balanceamento de capacidade, associado geralmente a empresas que adotam a prática de produção em massa (SOUZA; PIRES, 1999).

Ainda, segundo os mesmos autores, o balanceamento de capacidade é o processo de busca por um cenário em que a capacidade de todos os recursos esteja aproximadamente equilibrada entre si e com a demanda de mercado. Tal situação proporcionaria um fluxo uniforme de materiais pela fábrica, e evitaria a baixa eficiência de seus recursos, atribuída ao excesso de capacidade, ou a perda de vendas, atribuída à falta de capacidade.

Hopp e Spearman (2001) observam que, mesmo com estações de trabalho perfeitamente balanceadas em relação ao tempo médio de processamento, não seria garantido alcançar a máxima utilização de todos os recursos. Isso ocorre pois o resultado teórico ideal para um balanceamento são muitas vezes frações. Não se opera, por exemplo, com 4,5 operadores, ou 1,4 máquinas, sendo necessário arredondar. Fazendo-se isso se pode gerar uma falta de capacidade em um centro produtivo, que demandaria, por exemplo, horas extras

naqueles centros produtivos onde faltou capacidade (SOUZA; PIRES, 1999), ou um excesso de capacidade, aumentando estoque em processo e as filas a jusante e, consequentemente, aumentando o *lead time* e a espera do cliente (DIEGO, ET AL, 2012).

Em contrapartida, Souza e Pires (1999) trazem uma discussão de Goldratt e Cox (1986), alertando que, uma vez que uma fábrica tenha seus recursos produtivos com capacidades perfeitamente balanceadas, e, portanto, todo excesso de capacidade eliminado, esta elimina também a capacidade de reação de seus recursos. Como há muitos fatores externos, fora do controle da fábrica, que perturbam o processo produtivo, como, por exemplo, entregas de fornecedores atrasadas e com baixa qualidade, mudanças nos prazos de pedidos, quebra de máquinas, desempenho do operador e absenteísmo, se faz necessário uma capacidade de reação a essas instabilidades (JACOB; BERGLAND; COX, 2010). Sem essa capacidade, as chamadas flutuações estatísticas, ou seja, os acontecimentos que não se pode prever com exatidão, fazem o desempenho operacional da fábrica despencar: o *lead time* aumenta, pedidos atrasam ou não são atendidos e a produção não alcança o planejado (GOLDRATT; COX, 1986). A fábrica não consegue operar eficientemente, apesar das eficiências locais.

Segundo Goldratt e Cox (1986), tais flutuações estatísticas são agravadas pelo fato de as operações em uma fábrica serem interdependentes. Um exemplo de dependência é aquela estabelecida pelo roteiro de produção, no qual uma operação precisa ser realizada para que outra possa começar. Outro tipo de dependência é aquela decorrente de disputas entre dois ou mais produtos pelo mesmo recurso. Quando ocorre uma variação acima da esperada em qualquer uma das operações dependentes, ela tende a não ser absorvida pelo sistema, propagando a variabilidade. Isso se dá porque a variabilidade de um centro produtivo é a soma da variabilidade da saída do centro anterior com a variabilidade própria do processo desse centro.

Dessa forma, em um regime estável, toda planta terá um tempo de processamento em um ritmo médio que é sempre inferior à sua capacidade efetiva média. Não é factível, portanto, balancear uma fábrica de forma a exigir sua capacidade máxima efetiva. Pode-se concluir também que é interessante que os processos com maior variabilidade fiquem no final, para não afetar tantos processos seguintes (SOUZA; PIRES, 1999).

Goldratt (2009) aponta ainda três tipos de instabilidade que são externas a empresa – relacionadas com a forma como a empresa desenvolve e vende seus produtos, e não com a forma como os produz – que geram consequências negativas para o balanceamento de uma fábrica, e muitas delas contam com um, dois, ou, frequentemente, os três aspectos.

a) Instabilidade pelo curto ciclo de vida do produto: neste caso, uma superprodução pode se tornar obsoleta, e *lead times* longos podem significar a diminuição do intervalo disponível para a comercialização, ocasionando em escassez de produtos e perda de vendas (COX; SCHLEIER JUNIOR, 2010)
b) Instabilidade na demanda do produto ao longo do tempo: com a sazonalidades da demanda, muitas vezes a produção para estoque se torna necessária para atendê-la;
c) Instabilidade na carga geral de trabalho da fábrica: a carga pode, por vezes, ser superior à capacidade dos recursos, gerando atrasos nas entregas.

Tendo em vista diminuir a instabilidade e aumentar a eficácia do sistema produtivo, existe outra abordagem de balanceamento, chamada balanceamento de fluxo, na qual o foco não são as eficiências locais, mas a eficiência do sistema como um todo. Um dos expoentes dessa abordagem de balanceamento é a Teoria das Restrições (TOC).

## 2.2 TEORIA DAS RESTRIÇÕES

A Teoria das Restrições (*Theory of Constraints* – TOC), considera a empresa como uma corrente que tem seu fluxo limitado por seu elo mais fraco. A utilização máxima de capacidade só faria sentido nos recursos onde se encontram as restrições do sistema, pois seriam elas que limitariam o ganho total da empresa (LACERDA; RODRIGUES, 2009). Nos outros recursos, os recursos não-restritivos, se teria uma reserva de capacidade, garantindo que o recurso restritivo do sistema – o gargalo – esteja sempre operando, independente das flutuações estatísticas, e que os produtos processados por ele sejam processados logo em seguida pelas estações a jusante (UMBLE; SRIKANTH, 1990).

Segundo Goldratt (1990), “a restrição de um sistema é nada mais do que sentimos estar expresso nessas palavras: qualquer coisa que impeça um sistema de atingir um desempenho maior em relação à sua meta.” Toda empresa deveria ter a meta de ganhar dinheiro, hoje e no futuro. Essa meta comum, contudo, não deve impedir os proprietários de uma empresa a definir seu propósito global para organização (GUERREIRO, 1996). Cabe observar que aspectos como satisfação do cliente, qualidade e vantagem competitiva são condições necessárias, mas não são a meta.

Pela definição acima, a restrição pode ser a demanda. Contudo, independentemente do processo produtivo, sempre existirá um recurso que limita a capacidade do processo. De acordo com a TOC, esse recurso é denominado Recurso com Restrição de Capacidade (RRC).

O RRC coincide com a restrição ou gargalo, no caso de um sistema em que o RRC produz abaixo da produção demandada (CSILLAG E NETO, 1998).

### 2.2.1 GERENCIAMENTO DE CAPACIDADES

De acordo com Souza e Pires (1999), se não houver reserva de capacidade em nenhum centro de trabalho, todos serão gargalos e suscetíveis à variabilidade, e a operacionalidade da empresa despencará. Será preciso monitorar todos os recursos ao mesmo tempo, e a atenção gerencial se dispersará em esforços para apagar incêndios. A abordagem de balanceamento do fluxo, e, dessa maneira, a Teoria das Restrições, preconiza, portanto, aumentar a capacidade de certos recursos acima da capacidade do gargalo. Tal medida refletirá na imediata simplificação da supervisão da produção, que se restringirá aos pontos do fluxo onde estiver o gargalo (CSILLAG; NETO, 1998), na diminuição dos tempos de ciclo, filas e estoque em processo desses centros produtivos, e consequentemente diminuição do *lead time* da empresa (SOUZA; PIRES, 1999).

Seguindo a lógica acima, Goldratt (1992) indica os três tipos de capacidade dos recursos que devem ser consideradas:

a) Capacidade produtiva: aquela necessária para atender a produção estipulada;
b) Capacidade protetiva: é uma reserva de capacidade, além da capacidade produtiva. Como o nome sugere, protege a ganho do sistema, garantindo o processamento do material, mesmo em situações com variabilidades;
c) Capacidade ociosa: aquela acima da necessária para proteger o ganho do sistema, não é favorável haver essa capacidade.

Todos os recursos não-restritivos do sistema devem ter capacidade protetiva. O tamanho dessa capacidade varia diretamente em função das flutuações estatísticas e inversamente ao volume de estoque em processo – quanto mais estoque em processo, menos a capacidade adicional será demandada (DETTMER, 2000). Cabe salientar que estabelecer a capacidade protetiva com a precisão calculada é um desafio, visto que há limitação nos tamanhos dos equipamentos, e muitas vezes estes não oferecem a capacidade protetiva esperada (UMBLE; SRIKANTH, 1995).

Segundo Souza e Pires (1999), existem seis benefícios do aumento de capacidade:

1) Diminuição do custo de inventário em processo, uma vez que os produtos serão processados em ritmo maior do que o gargalo, e as filas menores;
2) Filas menores proporcionam menores tempos de ciclo, que garantem menores lead times, que por sua vez significa entregar produtos sob encomenda mais rapidamente;
3) Lead times mais curtos permitirão previsões de demanda em horizontes também mais curtos, e, portanto, com mais chance de acerto;
4) Menores níveis de estoque em processo permitirão à empresa identificar e corrigir problemas de qualidade com rapidez maior;
5) Menores níveis de estoque garantirão também à empresa maior flexibilidade para alterações de engenharia, mix de produção e volume;
6) Um sistema produtivo com um ou poucos gargalos será muito mais simples de operar, pois o planejamento e controle da produção se restringirá a esses centros produtivos, enquanto os outros centros serão sincronizados e regulados ao fluxo de trabalho daqueles.

Cabe observar que os efeitos acima só serão verificados caso a empresa, ao mesmo tempo que aumentar a capacidade dos recursos não-restritivos, não aumentar também a carga de trabalho nos mesmos – como ocorre no mundo dos custos, abordado mais a frente – mas limitar essa carga à máxima carga que a restrição do sistema tem capacidade de processar (GOLDRATT, 2009). Caso a carga aumente também, sem subordinação ao recurso gargalo, o que se verificará é o efeito inverso: um aumento nos estoques intermediários, nas filas e no *lead time* (GOLDRATT, 2002). Essa subordinação dos recursos não-restritivos ao recurso gargalo será abordada nos tópicos seguintes.

Souza e Pires (1999) observam que, à justificativa de que aumentar a capacidade é custoso, sempre há setores cujo custo de aumentar a capacidade é menor, e os quais o alavancamento da capacidade poderia ser alcançado sem grandes investimentos.

Flores (2005) observa que quando há setores com capacidades muito semelhantes, especialmente quando um deles é o gargalo, pode se dar a formação de gargalos interativos. Gargalos iterativos, ou flutuantes, são gargalos que mudam de posição ao longo do tempo, o que ocorre quando uma sobrecarga muda de um recurso para outro por um longo período de tempo. Nesse cenário, o gerenciamento da fábrica fica complexo, pois os problemas ficam suscetíveis de acontecer em diversos locais diferentes (WOEPPEL, 2004).

### 2.2.2 O SISTEMA OPT E SEUS PRINCÍPIOS

O sistema OPT (*Optimized Production Technology*) é um software de programação da produção, e foi o precursor da TOC. Desenvolvido por Eliyahu Goldratt, se baseava no balanceamento do fluxo sujeitando a produção ao recurso restritivo do sistema (COX E SCHLEIER JUNIOR, 2010). Os nove princípios que regem o OPT, e que serviram de base para Teoria das Restrições, segundo Goldratt e Fox (1986), são:

1. Balancear o fluxo, não a capacidade.

Balancear o fluxo significa que o fluxo de produção deve ser equilibrado, nivelado a partir da capacidade da restrição do sistema (PACHECO ET AL., 2012). O balanceamento de capacidades é contrário a um fluxo produtivo balanceado, pois expõe o fluxo às flutuações estatísticas, o que o perturba e desequilibra (SOUZA; PIRES, 1999).

2. O nível de utilização de um recurso não gargalo não é determinado por seu potencial, mas pela restrição do sistema.

A utilização dos recursos não-restritivos deve estar subordinada e sincronizada com a restrição, e quanto maior essa sincronização, menor o estoque em processo, filas e *lead time* (PACHECO, ET AL, 2012), não é, portanto, sua capacidade que dita a carga a ele atribuída, como ocorre no balanceamento de capacidades (LACERDA; CASSEL; RODRIGUES, 2010).

3. Utilização e ativação de um recurso não são sinônimos.

Para que haja utilização em um recurso, este deve estar produzindo precisamente o necessário para alimentar o gargalo do sistema. Qualquer produção acima desta, não deve ser considerada utilização, mas uma simples ativação, pois não incorre em melhoria do fluxo e alcance da meta (TAVARES, 2018).

4. Uma hora perdida em um gargalo é uma hora perdida no sistema como um todo.

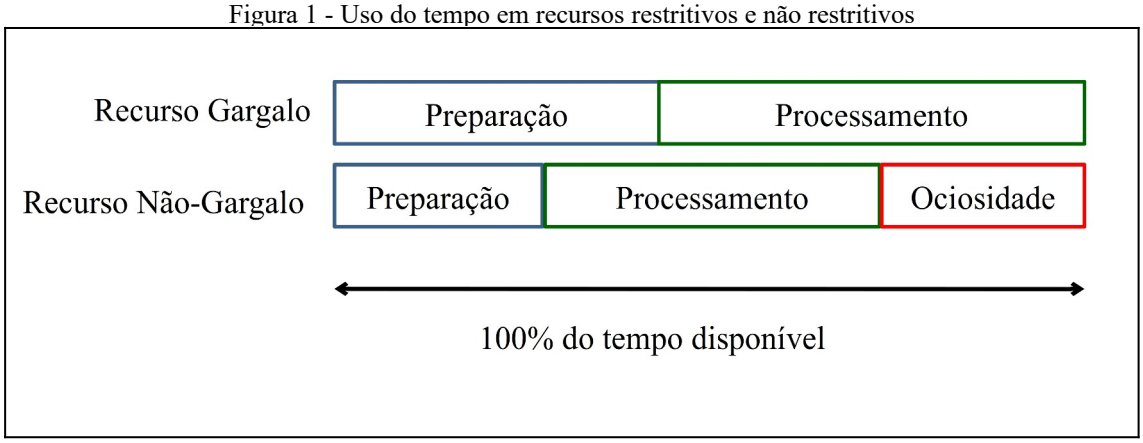
Haja vista que é o gargalo que define a intensidade do fluxo de produção, qualquer tempo perdido nesse recurso implica perdas para a empresa, sendo o contrário também verdadeiro. Todo o tempo disponível do recurso gargalo se configura como tempo de preparação ou tempo de processamento, como observado na Figura 1, e perder qualquer um dos dois limita a capacidade desse recurso.

Cabe observar que, se o gargalo produz algo para o qual não há demanda de curto prazo, esse tempo de produção se configura também como perda (CSILLAG; NETO, 1998).

5. Uma hora economizada em um recurso não gargalo é apenas uma miragem.

Como podemos observar na Figura 1, qualquer tempo ganho em um recurso não-gargalo – como por exemplo, ao se diminuir o tempo de preparação – servirá somente para aumentar o tempo de ociosidade desse recurso, e, portanto, é uma "miragem", não reflete em maiores ganhos para empresa.

Figura 1 - Uso do tempo em recursos restritivos e não restritivos




Fonte: o autor (2023).

6. Os gargalos determinam tanto o ganho quanto os estoques.

O gargalo, além de definir o fluxo e, portanto, o ganho, também define o tamanho dos pulmões (estoques em processo) que serão necessários para mantê-lo sempre funcionando, independentemente das flutuações estatísticas. Como aponta Csillag e Neto (1998), os pulmões de restrição, expedição e montagem dependem do gargalo. Esse assunto será adentrado na próxima seção.

7. O lote de transferência pode não ser, e muitas vezes não deveria ser, igual ao lote de processamento.

Lote de processamento se refere a quanto deve ser produzido, porém este pode ser dividido em lotes menores de transferência de uma etapa de processamento para outra, reduzindo filas, de maneira a reduzir o tempo despendido em cada recurso da fábrica e, portanto, a reduzir o *lead time* (MARTINS, 2002).

8. Os lotes de processamento devem ser variáveis, e não fixos.

Os lotes devem variar de acordo com a situação da fábrica e de operação para operação, se necessário, o que vai de encontro com a ideia de Lote Econômico usualmente aplicado nas indústrias. Em um recurso gargalo, é interessante que o lote seja maior, para não ser necessário tanto tempo de preparação. Já em recursos não-gargalo, é interessante que os lotes sejam menores, para diminuir o estoque em processo, e acelerar o fluxo de produção dos gargalos (TAVARES, 2018).

9. As programações devem ser estabelecidas examinando-se simultaneamente todas as restrições. Os tempos de atravessamento resultam da programação e não é possível pré determiná-los.

Segundo Tavares (2018), o sistema OPT decide as prioridades na ocupação do gargalo baseando-se em suas restrições de capacidade, e, a partir da sequência determinada, calcula os *lead times* com base nas filas previstas.

### 2.2.3 O TPC: TAMBOR, PULMÃO E CORDA

Como visto, a Teoria das Restrições, aborda uma proposta de balanceamento do fluxo através da identificação das operações restritivas e a subordinação da produção do sistema a essas operações. Para isso, aplica os 9 passos discutidos anteriormente através de um algoritmo de sequenciamento chamado Tambor-Pulmão-Corda (TPC) (*Drum-Buffer-Rope – DBR*), que cadencia a produção de acordo com a operação restritiva (SOUZA; PIRES, 1999), garantindo um fluxo puxado e confiável (protegido das flutuações estatísticas inerentes a todo processo) (GOLDRATT; COX, 2002).

a) O tambor

Segundo Cox e Schleier Junior (2010), tambor (*drum*) é o centro de trabalho mais lento, ou seja, o gargalo. Caso seja a demanda a restringir o fluxo de produção, ela passa a ser o gargalo do sistema. Já Csillag e Neto (1998) definem o tambor como a programação detalhada do que deve ser produzido no gargalo, com informações como data, horário e quantidade.

b) O pulmão

Csillag e Neto (1998) apontam que o pulmão (*buffer*) é criado para proteger uma programação, sendo um adiantamento da liberação de material, para garantir o cumprimento da programação do tambor.

Segundo Diego et al. (2012),

> "Os pressupostos da TOC para absorver o efeito da variabilidade passam pelo posicionamento de pulmões e excedente de capacidade para proteger os recursos restritivos e, por consequência, o sistema produtivo."

Para Cox e Schleier Junior (2010), o pulmão é o estoque de material anterior à restrição, que garante seu funcionamento ininterrupto. Esse estoque é diretamente proporcional às flutuações estatísticas, e inversamente proporcional à capacidade protetiva dos recursos não-gargalo (CSILLAG E NETO, 1998).

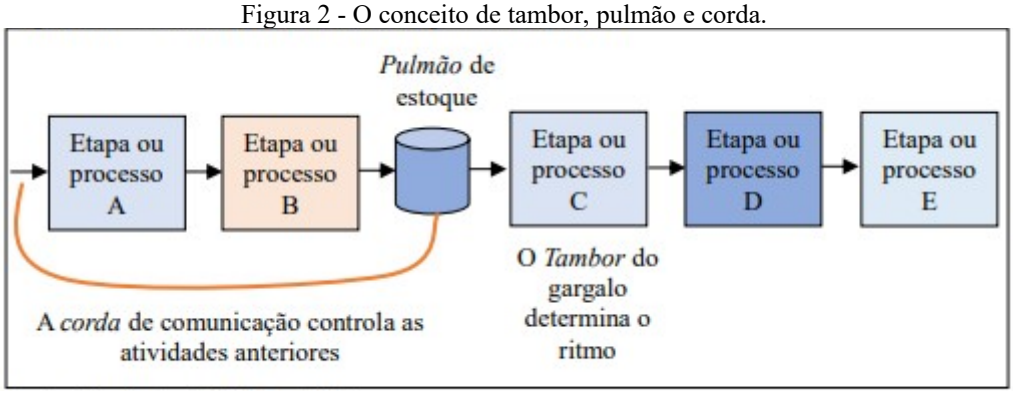
Goldratt e Cox (2002) observam que os custos advindos do mantimento de um pulmão e do excedente de capacidade em certos centros produtivos, presumindo a venda dos produtos fabricados, é compensado pela melhoria da produtividade do sistema.

Srikanth e Umble (1997) e Goldratt e Cox (2002) indicam que o pulmão de tempo total de um produto deve corresponder a aproximadamente metade do *throughput time* atual da empresa. Cox e Schleier Junior (2010) antecipam que, pelo fato de o gerenciamento do pulmão ser dinâmico, permitindo ajustes caso ocorra um erro em seu dimensionamento inicial, este será rapidamente identificado durante a produção, e um redimensionamento poderá ser realizado.

c) A corda

Cox e Schleier Junior (2010) definem a corda, (*rope*) como o sistema de sinalização do pulmão para o centro que abastece a fábrica de material, à medida que o tambor realiza trabalho. Csillag e Neto (1998), por sua vez, define a corda como a própria programação de liberação de matéria-prima, de acordo com a programação do tambor e o tamanho do pulmão. Dessa forma a produção se configura como puxada, e não empurrada.

Figura 2 - O conceito de tambor, pulmão e corda.




Fonte: Slack et al. (2013).

d) O Gerenciamento dos Pulmões (GP)

Segundo Csillag e Neto (1998), com o sistema TPC, o gerenciamento da fábrica fica muito simplificado. A atenção deverá se ater aos pulmões, no que se chama Gerenciamento dos Pulmões (GP). Consiste basicamente em monitorar e garantir que as peças cheguem aos pulmões de acordo com o programado. Dessa forma é possível antever quando um problema interromperá a produção, e medidas poderão ser tomadas para evitar a parada.

Segundo os mesmos autores, "o pulmão é um sonar que mostra o que está por vir e permite evitar os problemas". Nessa lógica, o pulmão também permite à empresa adotar uma posição de melhoria contínua, reagindo sempre aos desabastecimentos demasiados do pulmão de forma a identificar suas causas e corrigi-las, para que não voltem a ocorrer.

### 2.2.4 PASSOS PARA SE GERENCIAR UMA OPERAÇÃO

De forma geral, Goldratt (1990b) elenca cinco passos a partir dos quais qualquer operação produtiva deve ser gerenciada:

> Passo 1: Identificar (ou escolher) a restrição do sistema.
> Passo 2: Decidir como explorar a restrição do sistema ao máximo.
> Passo 3: Subordinar todo o resto à decisão anterior.
> Passo 4: Elevar a restrição do sistema, caso se queira elevar o desempenho atual para um patamar superior.
> Passo 5: Se, no Passo 4, a restrição tiver sido eliminada, voltar ao primeiro passo, mas não permitir que a inércia se torne a restrição do sistema.

Segundo o autor, tais passos permitem estruturar um sistema com alta confiabilidade e alto nível de produção, como foi discutido.

Passo 1) Identificar (ou escolher) a restrição do sistema.

Para identificá-la, a maneira mais simples é comparar a carga em cada centro de trabalho com a produção e preparação requerida deste recurso para atender à demanda de mercado. Nem sempre a decisão se restringe a produção/fabricação, por vezes a escolha do recurso gargalo é baseada na estratégia da empresa (COX; SCHLEIER JUNIOR, 2010).

Segundo Csillag e Neto (1998), na maioria das vezes restrições consistem em políticas da empresa. Estas, por sua vez, são geralmente causadas por conflitos internos, ou nas palavras do autor (2023), doenças crônicas. Dessa forma, é muito comum que uma restrição física seja consequência, na verdade, de uma restrição política - como uma máquina que não consegue dar conta da demanda, mas seu aumento de capacidade depende de um consenso.

Passo 2) Decidir como explorar a restrição do sistema ao máximo.

Explorar a restrição é maximizar seu desempenho no que diz respeito às medidas operacionais globais: gerenciar eficazmente as despesas operacionais e o estoque, e maximizar o ganho. Para tanto, não devem ser tolerados desperdícios de capacidade com paradas de gargalo devido a: paralisação de recursos, tempos de preparação, almoço e trocas de turno. O gargalo deve sempre ter produção programada, e no sentido de atender demandas de mercado de curtíssimo prazo. Dessa maneira, os materiais necessários para seu funcionamento devem estar sempre disponíveis (COX; SCHLEIER JUNIOR, 2010).

Segundo Csillag e Neto (1998), no caso de a restrição ser uma política da empresa advinda de um conflito interno, é preciso achar uma solução que elimine esse conflito. Uma ferramenta para auxiliar nesse ponto é o Diagrama de Dispersão de Nuvem (DDN), que, desafiando alguns pressupostos básicos sobre a realidade da empresa, orienta diferentes caminhos para resolução do entrave.

Ainda segundo Csillag e Neto (1998), algumas formas de explorar a restrição é terceirizar operações da mesma, ou atribuindo parte da produção do gargalo para outras máquinas, ainda que estas tenham eficiência menor. O importante não é a eficiência local, mas o ganho para o sistema.

Passo 3) Subordinar todo o resto à decisão anterior.

Tal subordinação ocorre na medida em que se dimensiona a carga e a capacidade de todos os recursos com intuito de que o fluxo programado para o gargalo seja atendido. Dessa forma, ociosidade nos recursos não gargalo serão inevitáveis (COX; SCHLEIER JUNIOR, 2010). Apesar de a ociosidade ser condenada na visão de balanceamento de capacidades, na visão de balanceamento de fluxo, ela é condição para garantir o melhor desempenho do fluxo de produção (GOLDRATT, 1992).

Segundo Csillag e Neto (1998), subordinar tudo ao gargalo identificado significa que estes devem trabalhar no ritmo da restrição, nem mais devagar, nem mais rápido. Se trabalhassem mais rápido, aumentariam o nível de estoque em processo sem aumentar o nível de produção. Se trabalhassem mais devagar, não abasteceriam o gargalo, e o sistema todo seria prejudicado.

Passo 4: Elevar a restrição do sistema, caso se queira elevar o desempenho atual para um patamar superior.

Nesse ponto, investimentos devem ser empregados, e, segundo Csillag e Neto (1998), algumas alternativas são adicionar um recurso idêntico ou aumentar a quantidade de turnos. Dessa forma, uma restrição pode ser "quebrada", ou seja, deixar de ser restrição para dar lugar a outra restrição do sistema.

Passo 5: Se, no Passo 4, a restrição tiver sido eliminada, voltar ao primeiro passo, mas não permitir que a inércia se torne a restrição do sistema.

Segundo Csillag e Neto (1998), é comum que, por conta do esforço para se subordinar o sistema a uma restrição, se deixe de lado as regras que ditam essa subordinação, após se quebrar uma restrição. Dessa forma, a melhoria contínua que poderia ser proporcionada pela TOC é restringida pela inércia. Essa inércia, por sua vez, se configura como uma limitação política – que, não por acaso, é a mais comum dentro de um sistema.

### 2.2.5 MEDIDAS DE DESEMPENHO SEGUNDO A TOC

Csillag e Neto (1998) apontam que, segundo a Teoria das Restrições, existem três medidas de desempenho aplicáveis a uma fábrica. A primeira medida é o ganho, que é o índice através do qual o sistema gera dinheiro por meio de vendas. A segunda medida é o

inventário, entendido como todo o valor que o sistema investe em compras daquilo que pretende vender. A última medida é a despesa operacional, que remete a toda verba que o sistema aplica transformando investimento em ganho. Está incluso em despesa operacional, despesas em geral, folha de pagamentos, energia elétrica e impostos. O objetivo da organização seria alcançado aumentando o ganho (fluxo), reduzindo o inventário (estoques), e reduzindo as despesas operacionais.

#### 2.2.5.1 Mundo dos Custos

No mundo dos custos, a visão gerencial que prevalece na maioria das empresas, o foco é a redução dos custos e as eficiências locais de cada setor da empresa, no que Goldratt e Cox (2002) chamam de mundo das variáveis independentes. Há um grande controle dos resultados locais dos níveis inferiores, quanto a custos e eficiências, e o acompanhamento dos ganhos da empresa, por serem de mais difícil mensuração local, ficam exclusivamente como responsabilidade da diretoria e da gerência financeira. Isso acaba acarretando a busca de cada setor por alcançar seu resultado local, sem necessariamente, e muitas vezes, não acarretando lucro para a empresa. A gerência média é cobrada a alcançar esses resultados, e quando o setor não alcança, por exemplo, alta utilização dos recursos, há um desconforto (CSILLAG; NETO, 1998).

No mundo dos custos, os indicadores que amparam as decisões têm grau de importância nessa ordem: i) Despesas Operacionais; ii) Inventário; Ganho (iii) (LACERDA; RODRIGUES, 2009). Essa visão se relaciona a proposta de balanceamento de capacidades, que apregoa que, uma vez niveladas as capacidades de todos os recursos exatamente com a demanda, a eficiência de todos os setores seria máxima, e portanto, a empresa também alcançaria máximo resultado, uma vez que reduziria seus custos ao máximo (SOUZA; PIRES, 1999).

Um aspecto que reflete o mundo dos custos são os lotes de mesmo tamanho, e geralmente grandes, para todos os recursos, para evitar desperdícios com preparação. Dessa maneira, se busca aumentar a eficiência local dos setores, sem se considerar que as eficiências locais, se não estiverem subordinadas ao fluxo, não geram ganhos para empresa (CSILLAG; NETO, 1998).

#### 2.2.5.2 Mundo dos Ganhos

Segundo Mesquita e Filho (2010), o mundo dos ganhos surgiu como resposta à visão da TOC de que uma empresa deve ser encarada como um sistema, e que, no processo de decisão, os custos não deveriam ser decisivos, mas sim as consequências globais da decisão. Segundo o autor, a busca do ganho obriga o gerente a pensar no global, enquanto almejar o custo o leva a pensar localmente.

Os indicadores que amparam as decisões têm sua ordem de grau de importância invertida para: i) Ganho; ii) Inventário; Despesas Operacionais (iii) (LACERDA; RODRIGUES, 2009). Os ganhos são medidos com base nas medidas de desempenho, e como ela não atribui custos aos produtos, é muito mais fácil de entender e de utilizar, além de oferecer informações melhores (CSILLAG; NETO, 1998).

### 2.2.6 RESUMO DOS CONCEITOS

Para resumir o que foi exposto até aqui, os principais termos da Teoria das Restrições se encontram no Quadro 1.

Quadro 1 - Termos e conceitos – Teoria das Restrições

| Termo | Conceito |
|---|---|
| Gargalo/Restrição | Qualquer coisa que limite um sistema de atingir um desempenho superior em relação à sua meta. |
| Meta | A meta de uma empresa sempre será ganhar dinheiro no presente e no futuro. |
| RRC | Recurso com Restrição de Capacidade, aquele que limita a capacidade do processo. |
| Teoria das Restrições (TOC) | Método de gestão voltado para a melhoria contínua através da potecialização das restrições do sistema. |
| Tambor-Pulmão-Corda (TPC) | Estratégia de produção puxada da TOC. |
| *Optimized Production Tecnology* (OPT) | Sistema de gestão a partir da identificação, gerenciamento e resolução de gargalos. |

Fonte: Simões e Lima (2018). Adaptado pelo autor (2023).

Já o Quadro 2 apresenta as diferentes posições de cada abordagem de balanceamento.

Quadro 2 - Pressupostos da abordagem de balanceamento de capacidade e de fluxo

| Elementos do balanceamento da capacidade | Elementos do balanceamento de fluxo |
|---|---|
| Alocar carga de acordo com a capacidade dos recursos. | Alocar carga dos recursos não restritivos de acordo com a necessidade do recurso restritivo. |
| Maximizar a utilização dos recursos. | Distinguir utilização e ativação dos recursos não restritivos. |
| Maximizar a eficiência dos recursos (ótimo local). | Maximizar a eficiência no recurso que restringe o melhor desempenho do sistema (ótimo global). |
| Reduzir as capacidades em excesso dos recursos, ajustando-se à demanda. | Tolerar capacidades em excesso nos recursos não restritivos, visando obter a máxima produtividade no recurso restritivo. |
| Garantir o suprimento dos recursos mantendo estoques de materiais. | Definir o volume e a variedade de materiais necessários para garantir um determinado tempo de proteção para funcionamento do recurso restritivo (pulmão tempo). |
| Focar as ações nos recursos que não estão atingindo suas capacidades máximas. | Focar as ações no recurso restritivo. |
| Focar na redução dos custos por unidade (Mundo dos Custos). | Focar no aumento dos ganhos do sistema (Mundo dos Ganhos). |

Fonte: Pacheco (2012). Adaptado pelo autor (2023).

O primeiro ponto se refere à alocação de carga, que no balanceamento de capacidade se dá de acordo com a capacidade do recurso, ou seja, de acordo com o máximo que o recurso pode produzir. Já no balanceamento de capacidades, a alocação de cargas não é em função das capacidades de cada recurso, mas somente em função da capacidade do gargalo.

Dessa forma, no segundo e terceiro pontos observamos que no balanceamento de capacidades, busca-se maximizar a utilização dos recursos, mantendo-os sempre trabalhando em sua máxima capacidade, alcançando assim o ótimo local de cada um. Se ignora que haja diferença entre ativar e utilizar um recurso. Já o balanceamento de fluxo distingue utilização de ativação, como discutido no terceiro dos nove princípios do OPT, e maximiza a utilização de um recurso somente em função do ótimo global.

O quarto ponto aborda as capacidades em excesso. No balanceamento capacidade, se considera que elas são desperdício, e que a capacidade deveria ser nivelada exatamente com a demanda. Já no balanceamento de fluxo, se parte do princípio que as capacidades em excesso são necessárias para um melhor fluxo.

O quinto ponto aborda o suprimento dos recursos, que para o balanceamento de capacidades deveria ser garantida com estoques anteriores a todos os recursos, para abastecê-los; já para o balanceamento de fluxo, somente antes do gargalo.

Já o sexto ponto aborda os esforços de melhoria, que no balanceamento de capacidades se dispersa entre todos os recursos, e no balancemento de fluxo, foca somente naquele que restringe o maior ganho do sistema. Como observado por Goldratt e Cox (2002), os esforços do balanceamento de capacidades de melhorar também a eficiência dos recursos

não-gargalo, podem ser muito prejudiciais ao sistema. Isso ocorre pois no balanceamento de capacidade, ao mesmo tempo que se aumenta a capacidade desses recursos, se aumenta a carga alocada a eles, o que pode significar aumento do estoque em processo (inventário) e do consumo de matéria-prima (despesa operacional), sem aumento do fluxo (ganho).

Por fim, no último ponto é observado que o balanceamento de capacidades se foca na redução dos custos por unidade, através de alta eficiência dos recursos, e no balanceamento de fluxo, se foca no ganho do sistema, que finalmente se desdobra também em uma redução dos custos por unidade (GOLDRATT, 2009).

### 2.2.7 APLICAÇÕES DA TEORIA DAS RESTRIÇÕES

Csillag e Neto (1998) abordam a aplicação da Teoria das Restrições em sete empresas brasileiras diferentes, todas indústrias de autopeças, levantando as principais dificuldades e os resultados incorridos da implementação e utilização do método. Dentre as dificuldades, pontuou-se:

- A resistência à mudança: verificou-se que houve uma resistência a mudança da cultura do mundo dos custos, de busca de 100% de eficiência em todos os setores. Os gerentes ficaram receosos de serem penalizados por seus resultados locais, e a diretoria nem sempre apoiou a implementação, continuando a exigir tais resultados.
- Software: identificou-se que a falta de um software para fazer o planejamento e controle da produção segundo os princípios da TOC prejudicou a implementação, sendo que algumas empresas criaram seu próprio sistema através de planilhas eletrônicas, ou encomendaram softwares personalizados.
- Restrições interativas: observou-se que, nas empresas com capacidades de recursos muito semelhantes, o gargalo se tornava flutuante, e foi necessária a elevação da capacidade de certos recursos de forma a estabelecer-se um gargalo fixo.
- Queda de demanda: verificou-se que o TPC gerava maior satisfação às empresas com demanda superior a sua capacidade. Quando a demanda é inferior à capacidade, os benefícios do TPC não se evidenciam facilmente.
- Treinamento de pessoal: identificou-se que a saída de pessoas-chave para implementação da metodologia obrigou ao treinamento de novas pessoas recém-contratadas, retardando a implementação.

Já quanto aos resultados alcançados nas empresas estudadas, houve, em média, uma queda de *lead-time* de 43%, uma melhora no desempenho das datas de entrega de 23%, um aumento da capacidade produtiva em 29%, uma queda no estoque em processo de 50,6%, e uma queda do estoque de produto acabado em 41,7% (CSILLAG; NETO, 1998).

Urban (2019) propõe uma nova forma de identificar o gargalo, considerando um cenário em que os produtos tenham diferentes rotas produtivas e utilizem quantidades distintas de recursos para serem fabricados. Para tanto, além da capacidade produtiva dos recursos, seria preciso calcular a sua utilização, com base na presente demanda e mix de produção da fábrica. Com essa abordagem, foram levantadas três propostas para aumentar o desempenho do sistema, após identificação do gargalo: aumento da capacidade produtiva através da compra de uma máquina, implementação de um processo de melhoria contínua, e mudança na estrutura dos pedidos, através de ajuste de preços e estratégias de marketing. O resultado previsto com a implementação das três propostas foi um aumento de 152,6% na capacidade produtiva do sistema.

Panizzolo (2016) estudou uma amostra de 61 manufaturas de cinco países europeus que aplicaram a TOC, e identificou que algumas práticas da TOC deveriam ser priorizadas frente a outras, por serem mais efetivas em melhorar o desempenho das plantas industriais: a estratégia Tambor, Pulmão e Corda, o desenvolvimento de uma programação mestre da produção para o gargalo, e o uso de capacidade extra nos recursos não-gargalo.

Enfim, Inman, Lair Sale e Green Jr. (2009) apontam em um estudo com 110 manufaturas americanas, que, quando implementada, a TOC é uma filosofia de gestão que resulta em resultados positivos e observáveis, são eles: aumento do fluxo de produção, redução de estoque em processo e redução nas despesas operacionais.

# 3. DESENVOLVIMENTO

São tratados neste tópico a situação geral do balanceamento da fábrica; os cálculos de capacidade da família Alpha nos setores de tecelagem, remalho e acabamento e o respectivo balanceamento entre eles; uma análise da família de meias com base nos princípios da TOC, e uma avaliação final e sugestões de melhorias com base nos cinco passos de gerenciamento.

## 3.1 SITUAÇÃO GERAL DO BALANCEAMENTO DA FÁBRICA

A Malhas D'Estefano produziu, em 2021, 358.811 dúzias de meias, o que equivale a 4.305.732 pares de meias. Sua produção vem crescendo consideravelmente desde 2018, fruto da valorização de sua mão de obra, melhorias contínuas dos processos, investimento em maquinário de ponta e aceitação dos produtos no mercado. A fábrica, no final de 2022, contava com 117 teares e 130 funcionários. Seu setor produtivo de capital intensivo, a tecelagem, funciona sem interrupção de segunda a sábado de tarde, somando-se a isso as horas extras. Outros setores a jusante vêm tendo seus turnos expandidos, para suportar a produção crescente desse setor.

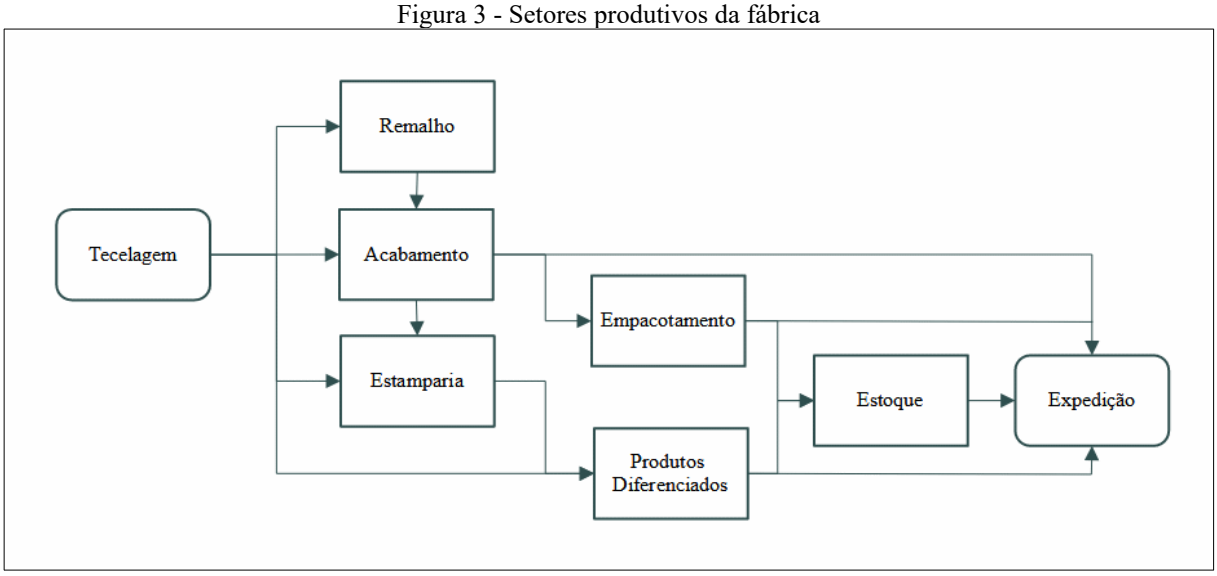
Houve um grande crescimento e o planejamento e controle da produção se tornou mais complexo na medida em que entravam novos produtos para terceiros, que aumentaram o mix de produção. Dessa forma, sinais de desbalanceamento entre os setores surgiram, como altos estoques em processo, longos *lead times* de produção e dificuldade de prever problemas.

Atualmente, são mais de 600 produtos diferentes, e mais de 4.000 variações de meias, quanto a modelo, cor e tamanho, sendo comercializadas. Historicamente, esse valor sobe para 20.000 variações de meias, considerando aquelas descontinuadas, de temporadas passadas.

Muitos produtos são constituídos de meias de um mesmo modelo, mas de diferentes estampas. Um produto comum, por exemplo, é um kit que inclui uma meia preta, uma branca e uma cinza. Há kits que envolvem até seis cores diferentes de meias, e a programação da produção deve garantir a chegada das seis cores nas quantidades e hora certas, para se montar o produto.

A fábrica possui oito setores produtivos, sendo eles representados na Figura 3. Como se pode observar, há uma grande variedade de rotas, de acordo com o produto, e os únicos setores comuns pelos quais todos os produtos passam são a tecelagem e a expedição. Nesse cenário, a pesquisa de Urban (2019) pode auxiliar a identificação do gargalo.

Figura 3 - Setores produtivos da fábrica



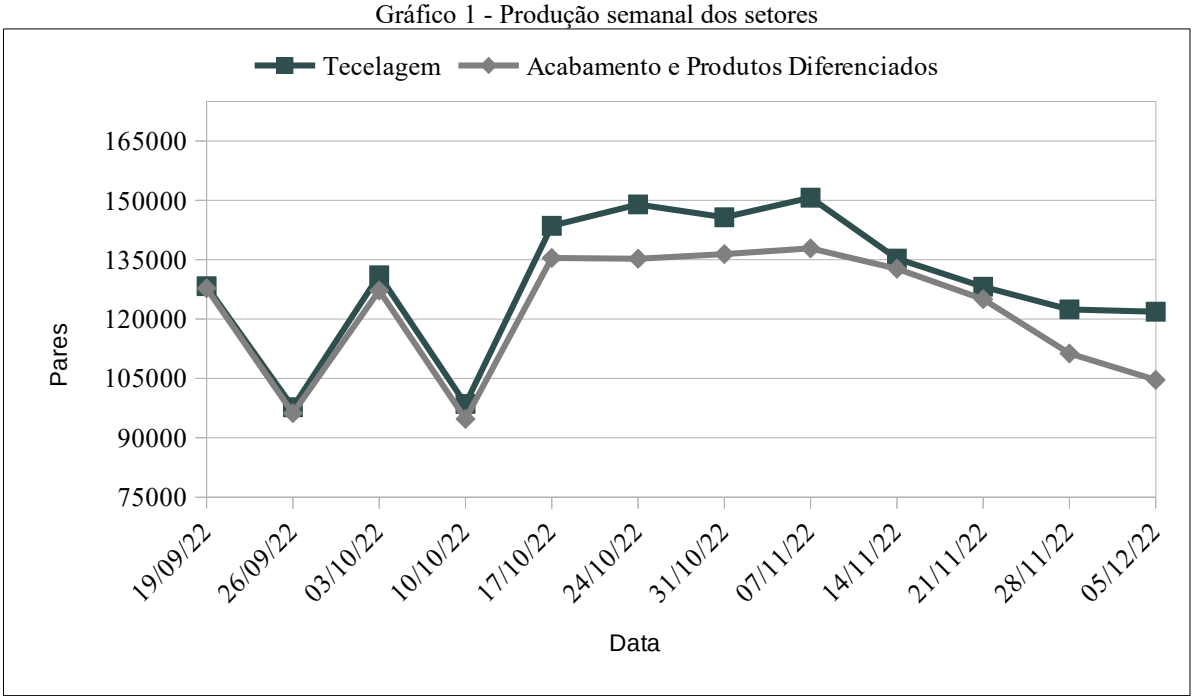

Fonte: o autor (2023).

Na tecelagem, a meia é tecida nos teares. No remalho, a ponta da meia é costurada, nos casos do modelo do tear não costurar. No acabamento, as meias são passadas, revistadas e embaladas. Na estamparia, as meias têm seu solado emborrachado. No empacotamento, as meias são empacotadas em meia ou uma dúzia. No produtos diferenciados, as meias são costuradas para se colocar os elásticos, no caso de sapatilhas, e acabadas. Por fim, no estoque as meias são estocadas em contenedores, e na expedição, encaixotadas e expedidas através da doca.

Os turnos trabalhados por setor variam: a tecelagem trabalha em três turnos, o acabamento e a estamparia, em dois turnos, e os demais setores, em um turno. No segundo turno do acabamento é ativada somente uma das três linhas do setor, e portanto a capacidade equivale a um terço da capacidade do primeiro turno.

No Gráfico 1 podemos ver a diferença na produção entre o setor da tecelagem e os setores de acabamento e de produtos diferenciados, considerando essa configuração dos turnos. Se comparou a tecelagem com o acabamento e o produtos diferenciados, pois a produção da tecelagem se divide entre esses dois setores. O período avaliado foi de 18 de setembro a 11 de dezembro, por ser o período cujos dados estavam disponíveis.

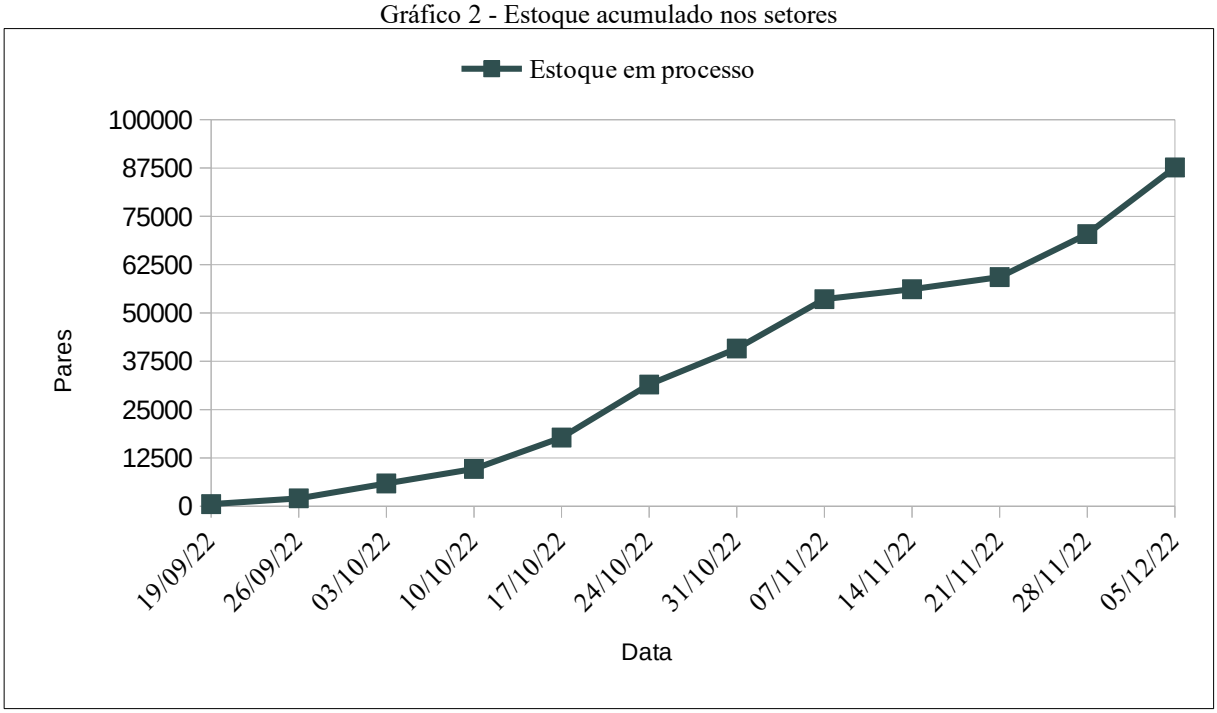
Gráfico 1 - Produção semanal dos setores




Fonte: o autor (2023).

Como se pode observar, a tecelagem produziu mais do que o acabamento e o produtos diferenciados processaram em todas as semanas consideradas. No Gráfico 2 podemos verificar o acúmulo de estoque em processo no setor de acabamento e de produtos diferenciados ao longo do mesmo período.

Gráfico 2 - Estoque acumulado nos setores




Fonte: o autor (2023).

Pode-se constatar que o estoque em processo aumentou a cada semana, e ao final do período acumularam-se 87.644 pares nos setores de acabamento e produtos diferenciados, que equivalem a aproximadamente três dias e meio de produção da tecelagem. As Figuras 4 e 5 ilustram o nível do estoque em processo no acabamento em novembro de 2022, final do período avaliado.

Figura 4 - Nível de estoque em processo no setor de acabamento 1

Fonte: o autor (2023).

Figura 5 - Nível de estoque em processo no setor de acabamento 2

Fonte: o autor (2023).

Como se pode observar, um grande volume de itens se acumulou, o que pode sinalizar um desbalanceamento do fluxo na fábrica. Alguns pontos influenciaram no acúmulo de itens nesses setores durante o período avaliado: a capacidade da tecelagem ser nivelada com a capacidade dos recursos a jusante, o que torna a produção suscetível às variabilidades dos recursos – esse ponto será discutido mais a frente; produções que não dão montagem em produtos finais, visto que muitos produtos da fábrica são compostos de um conjunto de pares de meias diferentes, e para serem montados são necessárias as variações das meias (cor, tamanho); e falta de insumos nos setores de acabamento e produtos diferenciados, como cartelas e embalagens, que paralisam os lotes até que cheguem os insumos.

A fábrica opera produzindo para pedido (*Make to Order* – MTO) e produzindo para estoque (*Make to Stock* – MTS). Segundo Pires (2004), a produção MTS é caracterizada por produzir com base em uma previsão de demanda, e a venda é feita a partir de um estoque preexistente, sendo interessante para produtos com ciclo de vida longo e previsível. Já a

produção MTO é para os casos em que o início da produção se dá após o recebimento do pedido formal, podendo ser marcada pela interação entre o cliente e o produto, através de personalizações.

Na fábrica, a produção MTO é para clientes que terceirizam sua produção. Esses clientes fazem grandes pedidos, e quando este é processado, tem prioridade frente aos demais. A produção MTS é para atender um grande volume de pedidos pequenos e médios, por produtos da própria fábrica. É realizada mediante uma previsão de demanda com base no histórico de vendas, ou mediante intuição dos gestores.

Cabe pontuar que, ao longo do período de alta de produção, a empresa se utiliza, frequentemente, dos chamados "serões" para aumentar a produção ao longo da fábrica, que consistem em utilizar horas extras nos finais de semana em determinados setores. Todos os setores têm serões, com maior ou menor frequência, o que pode sinalizar também o desbalanceamento do fluxo.

Para avaliar a situação atual do balanceamento da fábrica, foram realizadas entrevistas semiestruturadas com os gestores e chefes de seção. As principais observações foram registradas resumidamente no Quadro 3. As perguntas e respostas das entrevistas podem ser encontradas no Anexo 1.

Quadro 3 - Observações da entrevista semiestruturada

| Índice | Observação |
|---|---|
| 1 | Política de não ter ociosidade |
| 2 | Confiabilidade do estoque de produtos acabados |
| 3 | Planejamento/programação da produção |
| 4 | Produção de uma cor de cada vez, impedindo de fechar a montagem |
| 5 | Produção antecipada |
| 6 | Planejamento de compras |
| 7 | Insumos |
| 8 | Falta de espaço/excesso de estoque em processo |
| 9 | Previsão de demanda |
| 10 | Atraso de pedidos |

Fonte: o autor (2023).

Os pontos acima serão avaliados em sequência, com base no que se verifica na fábrica atualmente.

1) Política de não ter ociosidade.

Há na fábrica uma política de não ter ociosidade na tecelagem, para que haja uma diluição dos custos fixos e para evitar a parada de máquinas, que tendem a apresentar problemas ao voltar a produzir depois de uma parada. Dessa forma, na falta de matéria-prima para se produzir para uma ordem planejada, se utiliza a matéria-prima disponível para fazer outro item. Esse ponto demanda atenção para que o item produzido se torne produto final, e não estoque em processo, visto que há muitos produtos na fábrica que demandam mais de uma variação da meia para serem montados, uma vez que são vendidos em kits (de três a seis pares diferentes) e não em meias individuais.

2) Confiabilidade do estoque de produtos acabados.

Devido à recente implementação de um novo ERP na fábrica, que ainda está sendo devidamente configurado para o setor de estoque de produtos acabados, ainda não é possível verificar as quantidades em estoque através do sistema. Dessa forma surgem dificuldades para o planejamento da produção MTS da tecelagem.

3) Planejamento/programação da produção.

Com a implementação do novo ERP, o apontamento da produção foi afetado temporariamente, o que prejudicou a visão global da fábrica e, assim, o planejamento da produção da tecelagem.

Além disso, há uma falta de programação para os setores a jusante da tecelagem. A carência de programação ocasiona um desconhecimento por parte dos setores sobre qual é a prioridade de processamento e o que está por vir. Como consequência, observa-se entraves no fluxo de produção, ordens imprevistas e desentendimentos entre áreas.

4) Produção de uma cor de cada vez, impedindo de fechar a montagem.

Pela característica dos produtos da fábrica, é ideal que haja uma sincronia na produção das diferentes cores/tamanhos das meias que compõem um produto (kit) para que ele seja montado. Essa sincronia por vezes não ocorre, e produz-se uma meia de cada cor/tamanho por vez, obrigando que a montagem do produto tenha início somente quando o último lote de transferência seja completado. Esse tempo de atravessamento longo aumenta o estoque em processo, e a chance de surgirem outras ordens urgentes, que, por terem prioridade, entram na máquina, e a produção necessária para fechar a montagem não tem prosseguimento.

5) Produção antecipada.

Se observa na fábrica uma produção antecipada para atender pedidos grandes com extensas datas de entrega. Isso ocasiona alto estoque em processo, acumulado ao longo dos setores da fábrica, conforme espaço disponível para armazená-lo.

Segundo Goldratt (2009), o material não deve ser liberado para ordens remotas, pois isso ocasiona mais ordens de produção no chão de fábrica, e mais atenção gerencial para definir prioridades, maiores filas, atrasos, e um alto consumo de insumos. Para evitar esse cenário, o autor indica restringir a liberação de material, e só liberá-lo com um *buffer* de tempo estipulado. Na empresa Hitachi Tools, apresentada pelo mesmo autor, observou-se que, após a restrição de liberação de material, o número de pedidos atrasados diminuiu consideravelmente.

6) Planejamento de compras.

As compras de insumos da fábrica geralmente são realizadas com base na notificação dos responsáveis pelo estoque, a respeito dos insumos que estão acabando. Em um cenário de novos produtos entrando na linha de produção, aumentando a variedade de insumos a serem comprados, e fornecedores que nem sempre são confiáveis quanto a data de entrega, um planejamento de compras para se garantir a não interrupção do fluxo de produção da fábrica pode ser necessário.

Outro ponto é que, ao se evitar o *setup* na tecelagem, um determinado fio pode ser consumido para a produção de itens cuja demanda não foi prevista. Isso dificulta a gestão do estoque de insumos a partir da previsão de demanda de itens finais.

7) Insumos.

Como observado no tópico anterior, o planejamento de compras é uma boa e necessária medida para a fábrica. Atualmente ocorrem faltas de insumos, que atrapalham o fluxo de produção, aumentando estoque em processo, filas e tempo de atravessamento. Além disso, a falta de insumos gera ociosidade nos setores enquanto estes não chegam, e uma aceleração quando chegam, demandando horas extras.

8) Falta de espaço/excesso de estoque em processo.

Foi observado na entrevista que a fábrica está constantemente cheia. Já foram citados acima fatores que ocasionam esse cenário: falta de insumos que entravam ordens de produção; produção muito antecipada de pedidos, que se espraiam pela fábrica; produção da tecelagem que precisa ser feita tendo em vista a rápida montagem dos produtos finais (fluxo) e falta de programação dos setores que acabam sem orientação do que produzir.

O excesso de estoque em processo gera desorganização na fábrica, que por sua vez gera lentidão e maior propensão a erros, além de desperdício de tempo e esforço com o transporte e acomodação desse material. Também se incorre em altos custos de inventário, e em gastos com a produção que demoram a ser remunerados, prejudicando o fluxo de caixa da empresa.

9) Previsão de demanda.

A previsão de demanda da fábrica é feita parte com base na intuição, e parte com base no histórico de produção, que por sua vez não leva em conta o desvio-padrão associado. Cox e Scheiler (2010) apontam que para uma previsão ser eficaz, ela deve considerar não só a média histórica, mas o desvio padrão, e a estratégia de atendimento deve ser traçada com base nessa dispersão. De outra forma, fica-se mais propenso a erros de produção MTS, seja por excesso de produção ou por falta.

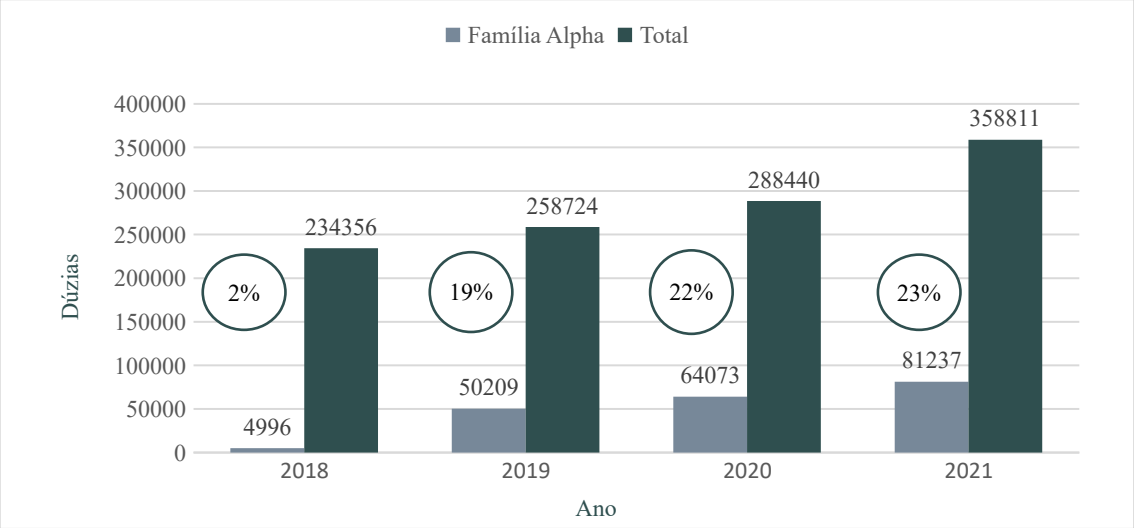
10) Atraso de pedidos.

Atrasos em pedidos foram relatados por cinco dos seis entrevistados. Tais atrasos se dão especialmente por conta do alto tempo de atravessamento, consequência do alto estoque em processo, que por sua vez tem seus frutos nos fatores apontados no tópico oito.

## 3.2 ANÁLISE DA FAMÍLIA DE MEIAS ALPHA

A família escolhida para o recorte da realidade da fábrica foi a Alpha, de acordo com os três critérios apresentados na metodologia: possui frequência de produção, representa uma parcela considerável da produção total da fábrica, e possui similaridade entre os processos das meias. No Gráfico 3, pode-se ver a representatividade da família Alpha ao longo dos anos, em relação ao total de dúzias (dz) produzidas.

Gráfico 3 - Vendas família de meias Alpha x Total




Fonte: o autor (2023).

A produção dessa família é por pedido (MTO). As quantidades pedidas geralmente são grandes, bem como o prazo para entrega. A entrega deve ser feita de toda a quantidade de uma vez, em um dia estipulado pelo cliente. Antecipação por parte da Malhas D'Estefano não é permitida. Por outro lado, se o cliente solicitar, é permitido antecipar entregas de pedidos de tudo o que já foi produzido até o momento da solicitação, faturando o montante produzido.

A família Alpha é composta por 13 modelos de meias, mas serão consideradas somente 3 deles, por representarem 90% da produção dessa família. Dentre esses três modelos, dois deles são fabricados em duas cores: preto e branco. Dessa forma, há um total de cinco variações de meias diferentes. O produto final é montado no formato de um kit, que inclui três pares de mesma cor, sendo, portanto, cinco produtos diferentes. O Quadro 4 apresenta os modelos, tipos e cores de cada meia.

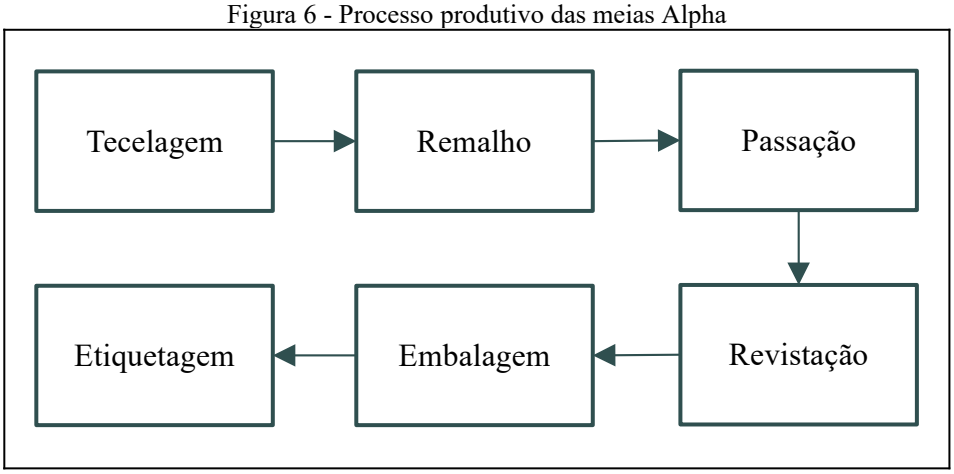
Quadro 4 - Meias consideradas da família Alpha

| Meias consideradas – Família Alpha | | | |
|---|---|---|---|
| Modelo | Tipo | Cor | Produto |
| Meia A | Sapatilha | Branco | Kit 3 pares |
| Meia B | Cano curto | Branco | Kit 3 pares |
| | | Preto | Kit 3 pares |
| Meia C | Sapatilha | Branco | Kit 3 pares |
| | | Preto | Kit 3 pares |

Fonte: o autor (2023).

A Figura 6 apresenta o fluxograma das operações do processo produtivo da família Alpha. O processo é composto por quatro etapas: passação, revistação, embalagem e etiqueta.

Figura 6 - Processo produtivo das meias Alpha



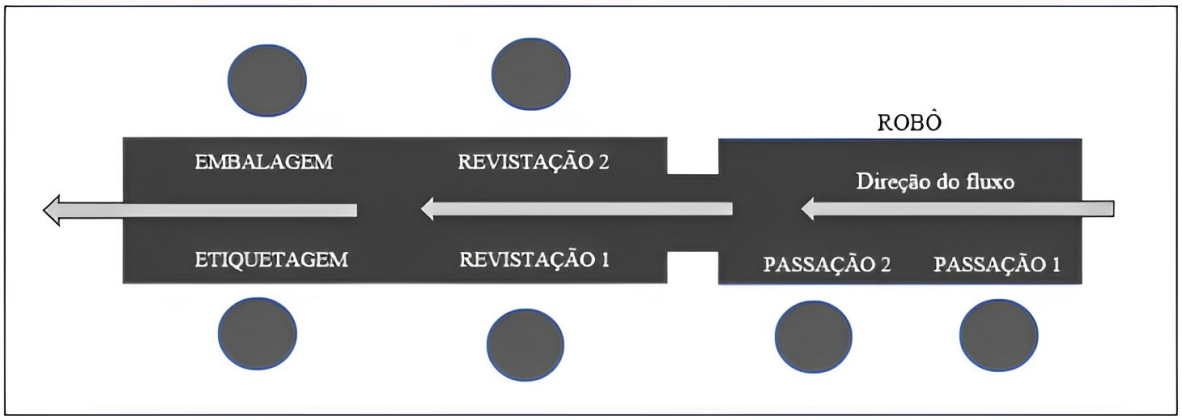

Fonte: o autor (2023).

Na passação, a meia passa pela máquina conhecida como “robô”, e é passada, para ficar com sua malha lisa. A revistação vem em seguida, onde a qualidade dos itens é verificada e são formados os kits (conjuntos de 3 pares). Logo após, na embalagem, os kits são colocados dentro da embalagem, que é selada e enviada para a fase de etiqueta, onde se cola a etiqueta e se transfere a embalagem para o saco onde ficam os produtos acabados.

As quatro operações são realizadas no setor de acabamento, e ao conjunto dessas quatro operações se dá o nome de “robô”, visto ser onde ocorre o primeiro processo da sequência. Todas as meias consideradas têm que passar por esse setor, sendo também as únicas meias da família a passarem por ele.

Para operar um robô, são utilizados atualmente seis funcionários, dois na passação, dois na revistação, um na embalagem e um na etiquetagem. A disposição de um robô pode ser observada na Figura 7.

Figura 7 - Disposição de um robô do acabamento

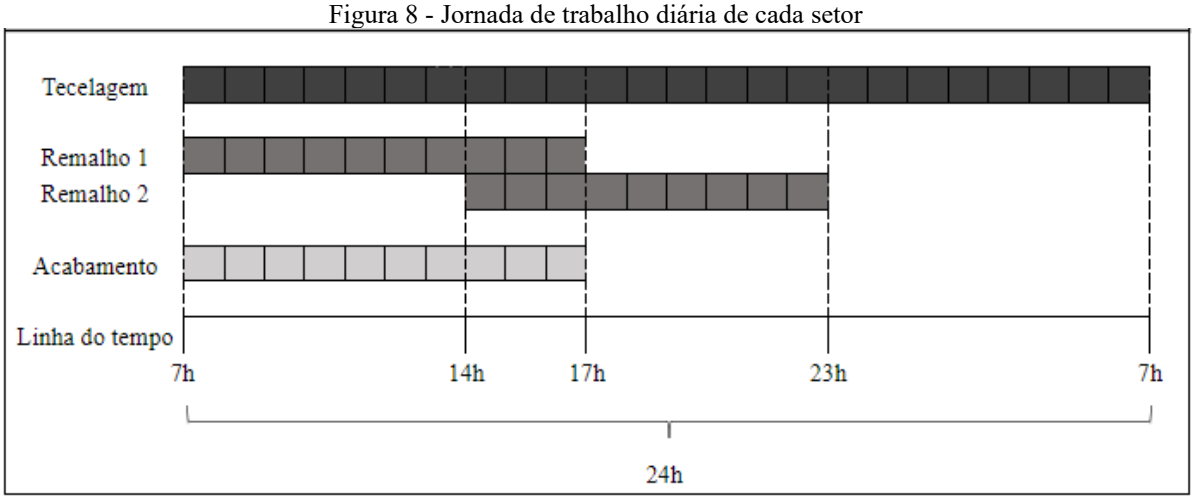



Fonte: o autor (2023).

As jornadas de trabalho dos setores variam, conforme Figura 8. A tecelagem tem três jornadas de 8h, que equivalem a 24h, sendo as 24h produtivas. O remalho tem duas jornadas, de 10h e 9h, sendo 9h e 8h produtivas em cada, respectivamente. O acabamento tem uma jornada de 10h, sendo 9h produtivas. Há paradas para lanche de manhã e de noite, que subtraem alguns minutos do tempo produtivo de cada setor, e na sexta-feira, remalho e acabamento trabalham uma hora a menos.

No remalho, não há disputa por recursos entre os turnos no período entre 14h e 17h. Há máquinas de remalhagem suficientes para os dois turnos trabalharem concomitantemente.

Figura 8 - Jornada de trabalho diária de cada setor




Fonte: o autor (2023).

Através da Figura 8, percebe-se ainda que, sempre no início do primeiro turno do dia, às 7h, há uma fila de produtos formada antes do remalho, produzidos pela tecelagem durante o turno da noite. O acabamento só pode começar a processar os produtos que a tecelagem produziu depois que o remalho os processa. No início do primeiro turno, há também uma fila formada antes do acabamento, visto que o remalho trabalha entre 17h e 23h, período no qual o acabamento não trabalha.

É possível verificar também que, dado que uma ordem dura, em média, 24h de produção, caso a ordem tenha início na tecelagem após as 17h, ela só será processada pelo acabamento dois dias depois. Já caso uma ordem se inicie após as 23h na tecelagem, ela só será processada pelo remalho também dois dias depois. Portanto, o *lead time* varia de acordo com a hora de início da produção da ordem na tecelagem.

### 3.2.1 CÁLCULO DE CAPACIDADES

Para melhor analisar a família de meias Alpha, foi necessário medir as capacidades de cada setor em relação à produção dos itens escolhidas. Não há alteração no tempo de produção entre cores diferentes de uma mesma meia. A unidade de medida da capacidade calculada foi dúzias por dia.

#### 3.2.1.1 Tecelagem

Para o cálculo da capacidade da tecelagem, foram utilizados dados do OEE (*Overall Equipment Effectiveness*) médio, a partir de dados fornecidos pela empresa do OEE de cada máquina – tear circular – no mês de novembro de 2022. Segundo Muchiri e Pintelon (2008), o OEE permite identificar as perdas de eficiência da produção e, dessa forma, a produtividade, com base em três fatores: paradas (disponibilidade), ritmo (performance) e produtos não conformes (qualidade). Os teares considerados foram aqueles que eram capazes de produzir os três produtos da família Alpha, e que fossem do modelo que produz a meia com a ponta aberta, cujas meias têm que passar no setor de remalho.

Os passos utilizados são descritos abaixo.

1) Calcular o tempo médio ponderado em minutos para produzir um pé de uma meia da família. A ponderação foi de acordo com a demanda pela meia no período avaliado (maio de 2022 a novembro de 2022). As demandas pelas meias preta e branca das meias B e C foram somadas.

Quadro 5 - Cálculo do tempo de um tear produzir um pé de meia da família Alpha

| Meia | Tempo para produzir um pé (s) | Demanda (pés) | Ponderação | Tempo médio (s) | Tempo médio ponderado (s) | Tempo médio ponderado (min) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Meia A | 135,67 | 188.760,00 | 38,38% | 130,29 | 130,75 | 2,18 |
| Meia B | 118,60 | 150.080,00 | 30,52% | | | |
| Meia C | 136,60 | 152.960,00 | 31,10% | | | |

Fonte: o autor (2023).

2) Adicionar o OEE ao tempo médio ponderado, para se encontrar a taxa de produção de um tear em dúzias por dia. Foram consideradas 24h de produção em um dia na tecelagem.

Quadro 6 - Cálculo da taxa de produção de um tear das meias da família Alpha

| Tempo médio ponderado (min) | OEE | Tempo médio ponderado com OEE (min) | Taxa de produção (pés/min) | Taxa de produção (pés/h) | Taxa de produção (pés/dia) | Taxa de produção (dúzias/dia) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 2,18 | 85,14% | 2,56 | 0,39 | 23,44 | 562,61 | 23,44 |

Fonte: o autor (2023).

#### 3.2.1.2 Remalho

O cálculo da capacidade média do remalho se deu através da utilização de um histórico de produção do setor. O período considerado foi de 22 de agosto de 2022 até 08 de dezembro de 2022, por ser o período com disponibilidade de dados. Foram desconsiderados os dias atípicos, cuja produção não foi a usual, como, por exemplo, finais de semana, dias em que uma máquina quebrou, ou dias em que houve jogos da Copa do Mundo de 2022.

Os passos para o cálculo de capacidades estão descritos abaixo.

1) Calcular a média histórica de produção do setor em pés por dia, e converter para dúzias por dia.

Quadro 7 - Capacidade média do setor de remalho

| Média pés/dia | Média pares/dia | Média dúzias/dia |
|---|---|---|
| 28.963,0 | 14.481,5 | 1.206,8 |

Fonte: o autor (2023).

2) Dividir a produção do setor pelo número de remalhadeiras, para encontrar a produção média em dúzias/dia de uma remalhadeira.

Quadro 8 - Capacidade média de uma remalhadeira

| Média dúzias/dia do setor | Quantidade de remalhadeiras no setor | Média dúzias/dia de uma remalhadeira |
|---|---|---|
| 1206,8 | 6,0 | 201,1 |

Fonte: o autor (2023).

#### 3.2.1.3 Acabamento

No acabamento, a capacidade foi mensurada de forma semelhante à do remalho. Se utilizou o histórico de produção em dias usuais, nos quais não houve quebras de máquina ou

eventos que pudessem perturbar a produção. O cálculo foi simplificado pois já havia um histórico que segregava a produção do robô que processava os itens da família escolhida, então foi necessário somente calcular a média diária de produção do robô. Esse robô produz exclusivamente as meias avaliadas.

Quadro 9 - Capacidade média de um robô do acabamento

| Dúzias/dia |
|---|
| 605 |

Fonte: o autor (2023).

#### 3.2.1.4 Cálculo de balanceamento

Encontradas as capacidades, preliminarmente é possível calcular um balanceamento de capacidades, que será útil para analisar o balanceamento da fábrica. Como no setor de acabamento há um robô exclusivamente dedicado aos modelos da família Alpha avaliados, o balanceamento será calculado de acordo com a capacidade desse robô. Os outros setores, tecelagem e remalho, não têm recursos exclusivos destinados a alguma família de meias. No Quadro 10 se pode observar as capacidades dos recursos, e o balanceamento de capacidades.

Quadro 10 - Balanceamento de capacidade dos setores

| Setor | Recurso | Horas produtivas em um dia | Capacidade média dúzias/dia | Capacidade média dúzias/hora |
|---|---|---|---|---|
| Tecelagem | 1 Tear | 24,00 | 23,44 | 0,98 |
| | 26 Teares | | 609,49 | 25,40 |
| Remalho | 1 Remalhadeira | 8,50 | 201,13 | 23,66 |
| | 3 Remalhadeiras | | 603,40 | 70,99 |
| Acabamento | 1 Robô | 9,00 | 605,00 | 67,22 |

Fonte: o autor (2023).

Conclui-se que são necessários 26 teares e 3 remalhadeiras para que a capacidade produtiva da tecelagem e do remalho sejam aproximadamente iguais à capacidade produtiva do acabamento.

As ordens de produção das meias Alpha são fixas em 25 dúzias, o que equivale a 300 pares, ou 600 pés. Como calculado, em um dia de produção, em média, uma máquina na tecelagem produz 23,4 dúzias; uma remalhadeira no remalho produz 201,1 dúzias, e um robô no acabamento produz 605 dúzias.

Sabendo que uma ordem de produção das meias Alpha possui 25 dúzias, é possível calcular o tempo médio total de atravessamento de uma ordem de produção. No Quadro 11,

podemos verificar esses cálculos, considerando um cenário ideal, onde tempos de transporte e de atravessamento são desprezíveis, e o remalho e o acabamento estariam disponíveis para processar a meia assim que chegasse (que estaria dentro do seu turno de produção e com capacidade disponível). O lote de transferência é igual ao lote de processamento.

Quadro 11 - Tempo médio de atravessamento por ordem em condições ideais

| Recurso | Capacidade média dúzias/hora | Dúzias de uma ordem de produção | Tempo médio despendido por ordem (h) | Tempo total médio de atravessamento por ordem (h) |
|---|---|---|---|---|
| Um tear | 0,98 | 25,00 | 25,60 | 27,03 |
| Uma remalhadeira | 23,66 | | 1,06 | |
| Um robô | 67,22 | | 0,37 | |

Fonte: o autor (2023).

Como se pode observar, o tempo total médio de atravessamento por ordem foi calculado em 27,03 horas, em um cenário ideal. Quando a tecelagem termina de tecer fora do turno do remalho, ou o remalho termina de processar fora do turno do acabamento, o tempo total de atravessamento aumenta.

Mesmo que se aumentasse o número de teares na tecelagem, remalhadeiras no remalho ou robôs no acabamento, o tempo necessário para processar uma ordem de produção de 25 dúzias se manteria igual, pois as ordens são processadas por somente um recurso por vez.

Vale destacar que 95% do tempo de atravessamento é despendido na tecelagem, nas condições ideais. O que se observa na fábrica hoje é que, por conta dos problemas abordados anteriormente, as ordens acabam aguardando dias para serem processadas após a tecelagem, e os últimos 5% do tempo de atravessamento ideal, não conseguem ser concluídos.

### 3.2.2 ANÁLISE DA FAMÍLIA DE MEIAS ALPHA COM BASE NOS PRINCÍPIOS DO OPT

Abaixo, será analisada a produção das meias escolhidas da família Alpha, com base nas nove regras do OPT.

1. Balancear o fluxo, não a capacidade.

Para balancear o fluxo é preciso definir quem é o gargalo. Para o recorte atual, a tecelagem será considerada o gargalo do processo, pois os donos da fábrica entendem que o

setor com maior investimento de capital não deve ter ociosidades. Tal escolha condiz com a literatura, que afirma que o gargalo pode ser definido com base em uma estratégia da empresa.

Para haver um gerenciamento capacidades de forma a manter um fluxo constante, seria preciso condicionar o setor de remalho e o setor de acabamento à tecelagem, mantendo-os com capacidade sempre superior à da tecelagem. Seria preciso também um pulmão antes da tecelagem, que seria um pulmão de matérias-primas. Com essas medidas, o tempo de atravessamento seria mais previsível e constante, como apontado na literatura.

Atualmente, se verifica já haver o pulmão de matéria-prima antes da tecelagem, pelo fato das cores dos fios da família Alpha serem cores padrão para diversas meias da fábrica (branco e preto). Dessa forma, faltas raramente ocorrem pois os fios são ressupridos com frequência e em grandes quantidades, segundo o responsável pelo estoque de matérias-primas.

Contudo, quanto às capacidades dos setores, se observa que, na prática, são semelhantes. Como observado no cálculo de balanceamento de capacidades, 26 máquinas com 3 remalhadeiras e um robô produzem volumes equivalentes. O que ocorre na fábrica é que se busca uma alocação de capacidades nas proporções calculadas acima, o que configura como um balanceamento de capacidades.

Como observado no referencial teórico, o balanceamento de capacidades ocasiona suscetibilidade a variações do processo, perdas no fluxo, aumento de filas e do *lead time*. Além disso, por conta do gargalo se tornar flutuante, se torna mais difícil gerenciar a operação.

2. O nível de utilização de um recurso não gargalo não é determinado por seu potencial, mas pela restrição do sistema.

Os setores a jusante da tecelagem teriam naturalmente sua utilização condicionada à produção da tecelagem, que seria o gargalo. Contudo, por conta do balanceamento de capacidades que se verifica atualmente, não há um gargalo bem definido e o tempo produtivo da tecelagem é desperdiçado devido à variabilidade dos tempos dos outros setores de capacidade semelhante.

3. Utilização e ativação de um recurso não são sinônimos.

Considerando a tecelagem o gargalo, como os recursos não-restritivos estariam à frente da restrição, sempre que fossem ativados seria para sua efetiva utilização. Contudo, com o balanceamento de capacidades atual, todos os recursos estão sempre sendo utilizados.

Em um primeiro momento, este cenário pode parecer bom, mas, dessa forma, se qualquer recurso sofrer alguma variação negativa em sua produção, todo o sistema perderá também, como se observará no próximo princípio.

4. Uma hora perdida em um gargalo é uma hora perdida no sistema como um todo.

Uma hora perdida na tecelagem seria uma hora perdida no sistema.

Contudo, com o balanceamento de capacidades atual, uma hora perdida em qualquer setor pode vir a ser uma hora perdida no sistema, já que o fluxo fica dependente de todos os recursos trabalharem em sua máxima eficiência, e fica suscetível a variabilidade de qualquer setor.

5. Uma hora economizada em um recurso não gargalo é apenas uma miragem.

Nesse caso, uma hora economizada nos recursos a jusante da tecelagem significaria menor tempo de atravessamento. Isso ocorreria pois a tecelagem trabalha por três turnos, enquanto o remalho e o acabamento trabalham por dois e um turno, respectivamente. As consequências seriam filas formadas atrás dos recursos não-restritivos durante parte do dia, e quanto antes elas fossem processadas, menor seria o tempo de atravessamento.

Com o cenário atual de balanceamento de capacidades, contudo, os recursos não-restritivos não estão bem definidos.

6. Os gargalos determinam tanto o ganho quanto os estoques.

Em um cenário em que a tecelagem se mantivesse sempre como o gargalo, ela determinaria o fluxo, e, portanto, o ganho, e também o estoque de matéria-prima necessário, que seria o pulmão.

Com o balanceamento de capacidades atual, estoques se acumulam entre os três setores considerados, visto que as variabilidades de cada setor não são absorvidas, Dessa maneira, se incorre em desníveis de capacidade – equivalentes à carga, nesse caso, pois se utiliza toda a capacidade dos recursos – que geram estoque em processo.

7. O lote de transferência pode não ser, e muitas vezes não deveria ser, igual ao lote de processamento.

Considerando a tecelagem como gargalo, e que, portanto, não haveria um pulmão de produtos em processo, somente de matéria-prima, seria possível um fluxo contínuo a partir da

produção da tecelagem, presumindo-se que não ocorressem falhas no remalho ou no acabamento. Nas condições ideais foi calculado que, com os atuais lotes de processamento e transferência de 25 dúzias, uma ficha teria um tempo de atravessamento de 27,03 horas. Reduzindo-se o lote de transferência para 12,5 dúzias, se observaria uma redução desse tempo de atravessamento pela metade, como apresentado no Quadro 12.

Quadro 12 - Tempo de atravessamento de um lote de 12,5 dúzias das meias Alpha

| Recurso | Capacidade média dúzias/hora | Dúzias do lote de transferência | Tempo médio despendido por lote (h) | Tempo total médio de atravessamento por lote (h) |
|---|---|---|---|---|
| Um tear | 0,98 | 12,5 | 12,80 | 13,51 |
| Uma remalhadeira | 23,7 | | 0,53 | |
| Um robô | 67 | | 0,19 | |

Fonte: o autor (2023).

Com um tempo médio de atravessamento reduzido pela metade, se observaria menos filas e estoque em processo, e um *lead time* menor. Defeitos poderiam ser rastreados mais rapidamente – um tear que estivesse produzindo um item com defeito poderia ser interceptado para corrigir a sua causa antes de finalizar a produção do lote de processamento.

Uma dificuldade incorrida com lotes de transferências menores é a maior necessidade de controle, visto que haveriam mais lotes em trâmite pela fábrica, e esses lotes de transferência teriam que se encontrar novamente para formar o lote de processamento ao final do fluxo produtivo. Os ganhos de agilidade e menores estoques, por sua vez, tendem a compensar, como observado na literatura.

8. Os lotes de processamento devem ser variáveis, e não fixos.

Para se aproveitar dos tempos de preparação de máquinas da melhor forma, a tecelagem poderia manter os lotes de transferência em 25 dúzias. Acabamento e remalho poderiam processar em lotes de 12,5 dúzias, garantindo agilidade ao final do processo. Essa proposta é apresentada no Quadro 13.

Quadro 13 - Tempo de atravessamento de lotes de transferência variados das meias Alpha

| Recurso | Capacidade média dúzias/hora | Dúzias do lote de transferência | Tempo médio despendido por lote (h) | Tempo total médio de atravessamento por lote (h) |
|---|---|---|---|---|
| Um tear | 0,98 | 25,00 | 25,60 | 26,31 |
| Uma remalhadeira | 23,70 | 12,50 | 0,53 | |
| Um robô | 67,00 | | 0,19 | |

Fonte: o autor (2023).

Apesar de o tempo de atravessamento diminuir pouco com essa alternativa, reduziu-se pela metade o tempo médio despendido nas etapas após a tecelagem, o que garantiria menores filas e estoque em processo nessas etapas. Além disso, com essa agilidade a mais, se poderia evitar que lotes tenham que ser processados somente no dia seguinte, o que se configura como uma grande redução do *lead time*.

9. As programações devem ser estabelecidas examinando-se simultaneamente todas as restrições. Os tempos de processamento resultam da programação e não é possível pré determiná-los.

O tempo de processamento vai depender das restrições. No cenário atual de balanceamento, essas restrições não estão bem definidas, então não é possível calcular o tempo de atravessamento com precisão. No cenário cuja restrição fosse a tecelagem, seria possível calcular esse tempo com base na programação

## 3.3 AVALIAÇÃO E SUGESTÕES DE MELHORIA SEGUNDO OS CINCO PASSOS DE GERENCIAMENTO

Como foi aferido, a fábrica atualmente é balanceada conforme as capacidades, e não conforme o fluxo. Dessa forma, há perturbações no fluxo produtivo por conta das flutuações estatísticas. Essas flutuações de cada recurso, combinadas, diminuem o *throughput* da empresa, aumentam as filas, os custos com inventário e o *lead time*. Além disso, dificultam o rastreamento de problemas de qualidade e dificultam também o gerenciamento das operações, visto que o gargalo se torna flutuante

A fábrica conta também com as três instabilidades externas às empresas, relacionadas à comercialização de seus produtos, apontadas por Goldratt (2009):

- Instabilidade pelo curto ciclo de vida do produto, pois novas tendências do mercado são frequentes e os catálogos da fábrica estão sempre se atualizando para atendê-las;
- Instabilidade na demanda, visto que o mercado de meias é sazonal, com um incremento grande na demanda no período invernal;
- Instabilidade na carga geral de trabalho da fábrica, visto que não há uniformidade nos pedidos postados pelo mercado.

Segundo o autor, quanto mais instável o ambiente, mais benefícios o balanceamento de fluxo pode trazer.

Em um cenário de balanceamento de fluxo, as flutuações estatísticas são agregadas em um único local, onde se coloca um pulmão para amortecê-las (WOEPPEL, 2004). O fluxo fica ditado pelo gargalo, e, devido à maior capacidade dos recursos não-gargalo em relação ao gargalo, as filas diminuem, liberando espaço da fábrica e diminuindo o *thoughput time*.

Tendo em vista propor direcionamentos para a fábrica alcançar o balanceamento de fluxo, será feita uma análise com base nos cinco passos da TOC para gerenciar uma operação. Somente os três primeiros passos serão tratados, pois o objetivo atual é alcançar o balanceamento de fluxo.

Passo 1: Identificar (ou escolher) a restrição do sistema.

Na perspectiva apresentada acima, a fábrica deveria gerenciar suas operações considerando a tecelagem como o gargalo. Os motivos foram apontados anteriormente: a gerência tem uma política de usar 100% da capacidade desse setor, e é o setor no qual a grande maioria do investimento da empresa se concentra. Dessa maneira, considerando o cenário atual de balanceamento de capacidades, seria economicamente mais viável aumentar a capacidade dos outros setores, para manter a tecelagem como gargalo.

Passo 2: Decidir como explorar a restrição do sistema ao máximo.

Uma possível maneira de explorar melhor a tecelagem poderia ser aprimorando o planejamento da produção. Como observado, por vezes são produzidas meias para uma determinada montagem sem sincronia, fazendo-se uma meia de cada cor/tamanho por vez. Isso aumenta o *lead time* e ocasiona o risco da produção para montagem não ser finalizada, em caso de ordens urgentes precisarem ser priorizadas, ou faltar alguma matéria-prima.

Um planejamento eficaz também depende da confiabilidade das informações contidas no ERP, que em breve deve ser garantida, e de uma boa previsão de demanda. Como observado, uma boa previsão de demanda deve ser feita levando em conta a dispersão dos dados históricos. Os benefícios de um plano de produção de longo prazo para a Malhas D'Estefano, a partir de previsão de demanda, foram apresentados no trabalho de Amaral (2014).

Cox e Schleier Junior (2010) apontam que existem restrições simbólicas, que são aquelas que podem ser eliminadas de forma barata. Elevar a qualidade das ferramentas de T.I da tecelagem poderia se configurar como uma restrição desse tipo. Outra sugestão nesse sentido é fazer a programação da produção (*scheduling*) de capacidade finita, usando, por exemplo, sistemas APS para melhorar o desempenho da tecelagem, conforme apontado nos trabalhos de Granato (2016) e Chaves (2017) na mesma fábrica deste estudo.

Passo 3: Subordinar o resto à decisão anterior.

Definido a tecelagem como gargalo e explorada sua capacidade, o primeiro direcionamento seria a expansão da capacidade do remalho e do acabamento, para um patamar superior ao da tecelagem. O que se observa hoje é um aumento frequente da capacidade da tecelagem, com a compra de novos maquinários, mas sem o aumento concomitante em outros setores. Esse aumento nos outros setores ocorre somente após um período, quando outro aumento de capacidade da tecelagem já está próximo. O ideal seria aumentar a capacidade dos outros setores antes de aumentar a capacidade da tecelagem, garantindo suas capacidades protetivas.

As capacidades protetivas têm que ser maiores, quanto maior for a variabilidade dos processos. Para diminuir a variabilidade, algumas medidas poderiam ser tomadas na fábrica.

A primeira é quanto à garantia dos insumos necessários à produção. A falta de insumos como cartelas e embalagens interrompem o fluxo e geram estoque em processo, e demanda atenção gerencial para acompanhar o fornecimento do insumo. Uma vez que o insumo chegue, podem ser necessárias horas extras para dar vazão à produção estancada. Tais picos de utilização aumentam a instabilidade do sistema.

Esse problema é agravado no cenário atual de balanceamento de capacidades, no qual um entrave em qualquer setor pode ocasionar perdas ao fluxo. Um planejamento de compras poderia minimizar esse cenário.

A segunda é quanto a programação da produção nos setores a jusante da tecelagem. Como observado, hoje os setores não tem uma programação, e não sabem qual é a prioridade de processamento, ou a sequência que deve ser seguida. Assim, é gerado um cenário instável de ordens imprevistas e entraves no fluxo de produção. Uma programação periódica, com base em uma reunião envolvendo os líderes dos setores e o gerente de produção, poderia minimizar o problema.

Vale ressaltar que as medidas acima, uma vez reduzindo a variabilidade, podem aumentar a produtividade do remalho e do acabamento, aumentando a capacidade desses setores ao mesmo tempo que diminui a necessidade por capacidade protetiva para suportar a variabilidade.

Finalmente, lotes de transferência menores poderiam ser utilizados no remalho e no acabamento, para agilizar o fluxo produtivo, como apresentado na seção anterior. Como foi pontuado, esses setores representam somente 5% do tempo de atravessamento ideal, e, portanto, é essencial garantir que não hajam longos atrasos por conta de lentidão no processo, que jogam as ordens de produção para o dia seguinte, aumentando consideravelmente o *lead time*.

Segundo o que foi discutido, há indícios de que um melhor PCP (Planejamento e Controle da Produção) seria necessário para um balanceamento do fluxo produtivo na fábrica, através do devido sequenciamento da produção, e de seu planejamento, programação e controle.

No quadro 14 pode-se observar uma relação das propostas levantadas anteriormente.

Quadro 14 - Relação de sugestões de melhorias

| Linhas gerais | Referência | O que fazer | Benefício |
|---|---|---|---|
| Elevar a capacidade da tecelagem | Passo 2: Decidir como explorar a restrição do sistema ao máximo. | Melhorar o PCP | Melhorar o fluxo da fábrica |
| | | Utilizar previsão de demanda considerando a dispersão | Produzir o que vai ser demandado |
| | | Quebrar restrições simbólicas | Melhorar o desempenho da tecelagem (gargalo) |
| Aumentar a capacidade do remalho e do acabamento | Passo 3: Subordinar o resto à decisão anterior. | Incrementar a capacidade do acabamento e do produtos diferenciados antes de incrementar da tecelagem. | Garantir as capacidades protetivas do recursos não-gargalo |
| | | Planejar as compras | Evitar paradas na produção por falta de insumos |
| | | Programar a produção | Garantir o fluxo contínuo a jusante da tecelagem |
| | | Adotar lotes de transferência menores no remalho e acabamento | Diminuir o *lead time* |

Fonte: o autor (2023).

Pacheco (2012) levanta três pontos que sustentam a tese de que o balanceamento do fluxo é superior ao de capacidade.

a) A restrição define o ganho global, e portanto reduz-se a ação das flutuações estatísticas e da dependência entre setores;
b) O planejamento da fábrica é simplificado, evitando-se assim algoritmos complexos de balanceamento;
c) Facilita a priorização de ações de melhoria, garantindo eficácia nas medidas tomadas.

Cabe salientar que, para ser bem-sucedido, o balanceamento do fluxo através da TOC deve partir das lideranças da empresa, para assim minimizar as dificuldades de implementação associadas ao convencimento dos gerentes de produção de que um recurso não restritivo pode ficar ocioso, sem perdas para o sistema (CSILLAG; NETO, 1998).

# 4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

## 4.1 CONCLUSÕES

O trabalho buscou cumprir com seu objetivo de analisar o balanceamento da produção da fábrica, abordando-se problemas e linhas gerais de ações com base na Teoria das Restrições. Se verificou que os efeitos observados na fábrica, que motivaram o estudo, de fato estavam associados ao seu balanceamento, e que, com uma abordagem de balanceamento de fluxo, o desempenho da Malhas D'Estefano poderia ser elevado. O principal fator de elevação de desempenho é a redução do estoque em processo, que reduz também o *throughput time*, os custos com inventário e as despesas operacionais, e fazem com que a empresa aumente seu ganho.

O processo de elaboração do trabalho foi de grande aprendizado para aluno, na medida que proporcionou o estudo detalhado, com base na literatura, e maior domínio de assuntos importantes para um engenheiro de produção. Na mesma medida, foi de aprendizado para fábrica, por meio das discussões que foram levantadas para realização do trabalho, levando a um maior entendimento do processo produtivo.

Csillag e Netto (1998) apontam em sua pesquisa sete passos para aplicação da Teoria das Restrições em uma empresa, com base em um estudo que avaliou a aplicação da metodologia em sete empresas diferentes. Os passos foram elaborados de forma a evitar os principais problemas pelos quais as empresas passam. Em trabalhos futuros, pesquisas podem ser de aplicação dos princípios da TOC na fábrica, com base nos passos levantados pelos autores e as análises trazidas no presente trabalho, para verificar os ganhos ou não que seriam incorridos, e o porquê do resultado.

Trabalhos futuros podem versar também a respeito de um novo cenário de expansão da fábrica, no qual a função produção será dividida em duas plantas industriais, e novos desafios para o balanceamento do fluxo produtivo surgirão.

**REFERÊNCIAS**

AMARAL, L. S. R. **Elaboração de uma proposta de planejamento agregado da produção para uma indústria têxtil de Juiz de Fora-MG**. 2014. 107 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia de Produção) – Faculdade de Engenharia, Universidade Federal de Juiz de Fora, Juiz de Fora, 2014.

CHAVES, K. T. S. **Estudo do sequenciamento da produção usando o software Preactor**. 2017. 67 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia de Produção) – Faculdade de Engenharia, Universidade Federal de Juiz de Fora, Juiz de Fora, 2017.

CSILLAG, J. M.; NETO, T.C. **Utilização da Teoria das Restrições no ambiente de manufatura em empresas no Brasil**. EAESP/FGV/NPP – Núcleo de Pesquisas e publicações. São Paulo, 1998.

COX, J. F.; SCHLEIER JUNIOR, J. G. **Theory of Constraints: Handbook**. New York: McGraw-Hill, 2010.

DETTMER, W. **Beyond Lean Manufacturing: Combining Lean and the Theory of Constraints for Higher Performance**. Port Angeles, 2000.

FLORES. F. **Teoria das Restrições: análise da implantação de um modelo de gestão baseado na Teoria das Restrições na Ucar Produtos de Carbono em Cadeias, BA**. Dissertação (Mestrado Profissional em Administração) – Núcleo de Pós-Graduação em Administração, Escola de Administração, Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2005.

GOLDRATT, E. M. **Standing on the Shoulders of Giants: Production concepts versus production applications The Hitachi Tool Engineering example**. Gestão e Produção, v. 16, n. 3, p. 333-343, 2009.

GOLDRATT, E. M. **What's This Thing Called Theory of Constraints and How Should It Be Implemented?** Croton-on-Hudson, NY: North River Press, 1990b.

GOLDRATT, E. M.; **A Síndrome do Palheiro**. São Paulo: IMAM, 1992.

GOLDRATT, E. M.; COX, J. **A meta: um processo de aprimoramento contínuo**. São Paulo: Nobel, 2002.

GRANATO, A. **Estudo do sequenciamento da produção em uma indústria de Meias utilizando um software APS**. 2016. 72 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia de Produção) – Faculdade de Engenharia, Universidade Federal de Juiz de Fora, Juiz de Fora, 2016.

GUERREIRO, R. **Os Princípios da Teoria das Restrições sob a ótica da mensuração econômica**. Scielo. Caderno de Estudos nº13, São Paulo, 1996.

HOPP, W.; SPEARMAN, M. L. **Factory Physics**. Boston: Irwin, 2001.

INMAN, R. A.; LAIR SALE, M.; GREEN JR, K. W. **Analysis of the relationships among TOC use, TOC outcomes, and organizational performance**. International Journal of Operations & Production Management, v. 29, n. 4, p. 341-356, 2009.

JACOB, D.; BERGLAND, S.; COX, J. **Velocity: Combining Lean, Six Sigma, and the Theory of Constraints to Achieve Breakthrough Performance: A Business Novel**. Hardcover. 2010.

LACERDA, D. P.; CASSEL, R. A.; RODRIGUES, L. H. **Service process analysis using process engineering and the theory of constraints thinking process**. Business Process Management Journal, v. 16, n. 2, p. 264-281, 2010.

LACERDA, D.; RODRIGUES, L. H. **Uma Discussão sobre o Mundo dos Custos e o Mundo dos Ganhos sob o Ponto de Vista da Teoria das Restrições**. Sistemas e Gestão, v. 4, n. 1, p. 36-54, 2009.

MARTINS, F. A. **O processo de raciocínio da Teoria das Restrições na indústria moveleira de pequeno porte: um estudo de caso**. 2002. 105f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) - Programa de Pós-graduação em Engenharia de Produção, UFSC, Florianópolis. 2002

OZPEYNIRCI, S.; AZIZOGLU, M. **Capacity allocation problem in flexible manufacturing systems: branch and bound based approaches**. International Journal of Production Research, v. 47, n. 21, p. 5941-5958, 2009.

PACHECO, D. A. J.; LACERDA, P. L.; NETO, S. L. H. C.; JUNG, C. F.; JÚNIOR, J. A. V. A.; **Balanceamento de fluxo ou balanceamento de capacidade - Análises e proposições sistêmicas**. Gest. Prod., São Carlos, v. 21, n. 2, p. 355-367, 2014.

PANIZOLLO, R.**Theory of Constraints (TOC) Production and Manufacturing Performance**. International Journal of Industrial Engineering and Management (IJIEM), Vol. 7 No 1, 2016, pp. 15-23.

SILVA, L. M. F.; PORTO, E. S.; **O balanceamento do fluxo produtivo à luz da TOC: caso prático no processo de montagem de calçados autoclavados**. ENEGEP, Rio de Janeiro, 2008.

SLACK, N.; CHAMBERS, S.; JOHNSTON R.; BETTS, A. **Gerenciamento de operações e processos: princípios e práticas de impacto estratégico**. Tradução Luiz Claudio de Queiroz Faria. 2 ed. Porto Alegre, RS: Bookman, 2013.

SOUZA, F. B.; RENTES, A. F.; AGOSTINHO, L. O. **A Interdependência entre controles de produção e critérios de alocação de capacidades**. Gestão e Produção, v. 9, n. 2, p. 215-234, ago. 2002.

SOUZA, F.B.; PIRES, S.R.I. **Análise e proposições sobre o balanceamento e uso de excesso de capacidade em recursos produtivos**. Gest. Prod., São Carlos, v. 6, n. 2, p. 111-126, 1999.

SRIKANTH , M. L.; UMBLE, M. M. **Synchronous Management: Profit-Based Manufacturing for the 21st Century**. Guilford, CT: Spectrum Publishing Company, 1997, vols. 1 e 2.

TAVARES, A. R. F. M.; **OPT – Optimized Production Technology: Ensaio numa Indústria de Componentes**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica e Industrial) - Programa de Pós-graduação em Engenharia Mecânica e Industrial, Instituto Técnico de Viseu. Viseu, 2018.

UMBLE, M. M.; SRIKANTH, M. L. **Synchronous Manufacturing: principles for world class excellence**. Cincinnati: South-Western, 1995.

URBAN, W. **TOC implementation in a medium-scale manufacturing system with diverse product rooting.** Production & Manufacturing Research, 2019.

WOEPPEL, M. **Solving the Wandering Bottleneck Problem**. Pinnacle Strategies, 2004.

## ANEXO 1 – RESPOSTAS DA PESQUISA SEMIESTRUTURADA

1) Na sua opinião, há muitos produtos aguardando para serem processados na fábrica? Se sim, quais são as causas para esses produtos ficarem aguardando para serem processados?

- Falta de planejamento (da produção e de compras). Talvez a diferença de horas trabalhadas em cada setor, mais relacionado às horas extras. Não recalcular o impacto das HE de certos setores.
- Falta de embalagem, produção antecipada mas com exigência do cliente, desbalanceamento de capacidade entre setores, desbalanceamento de carga horária, falta de matéria prima, falta de funcionários.
- Sim, falta de matéria prima e falta de planejamento.
- Sim. Foram muitas causas este ano: atraso dos fornecedores a entregar os insumos da produção, o que trava o processo produtivo; e a tecelagem produzir muito a frente do acabamento.
- Sim, uma das causas para isso é o fato de que alguns estão aguardando o complemento para fechar a montagem, e outros estão aguardando a liberação para processar o pedido. Ocorre também dos setores não terem acesso aos pedidos e assim, não saberem priorizar uma saída. A política na fábrica de estar sempre rodando o maquinário da tecelagem para se aproveitar seu potencial ao máximo tende a gerar filas nos outros setores.

2) Você enxerga isso como um problema para fábrica? Se sim, quais são, na sua opinião, as consequências para a fábrica desses produtos aguardarem para ser processados?

- Estoque intermediário acumulado, problema de espaço, problema de poluição visual, desorganização, risco de acidentes e produto não vendável.
- Sim, mas também é solução (a questão da antecipação da produção de pedidos), pois usa capacidade da fábrica em épocas de não demanda. Problemas: desordem, dificuldade de organizar o *layout*, *lead time* alto (2 meses/3 meses). Aumento de capacidade em um setor e não no outro. Combinação de produtos e materiais que dificultam casar tudo.
- Sim, é um problema. As consequências são desperdício de matéria prima e perdas financeiras.
- Sim, as consequências são que o produto inacabado além de não gerar venda, gera tumulto entre os setores. Em um cenário ideal de produção enxuta a quantidade de produtos aguardando seria muito menor, mas isso não depende da fábrica, mas de terceiros (pontualidade de fornecedores, especialmente).
- Sim. As consequências são que defeitos podem acabar não sendo identificados a tempo de se corrigir a produção errônea, e o volume produzido com defeito aumenta. Além disso, meias

paradas em processo não são vendáveis, e a bagunça gerada pode impedir de se encontrar uma meia, ocasionando entrega de pedidos defasados ou novas ordens de produção duplicadas.

3) Tem havido horas extras na fábrica? Por quê?

- Sim, pois se trabalha com uma demanda pouco previsível, novos clientes e novos pedidos entram. Falta de planejamento. Uso de 100% de capacidade, obrigando a aumentar o tempo de trabalho das máquinas. Acabamento dá mais margem para replanejar, retrabalhar, aumentar a quantidade de turnos. HE permite a empresa esquivar de custos de demissão, contratação, impostos.
- Sim, é uma forma de "dividir um pouco o bolo", para dar conta da produção. Resolver o desbalanceamento, e imprevistos.
- Sim, pois a tecelagem produz mais do que os setores à frente.
- Sim, tem havido horas extras, pois não é balanceado a produção entre a tecelagem e o acabamento. A falta de matéria prima agrava o problema, fazendo com que, quando um determinado material faltante chegue para se produzir uma meia de determinada cor faltante para montar o kit (conjunto de duas ou mais cores), haja um pico de utilização do acabamento. Meias cuja tecelagem é terceirizada desbalanceiam o remalho, pois chegam em grande quantidade e de uma só vez. Isso exige desse setor horas extras.
- Sim, por conta da demanda. A tecelagem começa a trabalhar antes, gerando filas. Além disso, a falta imprevista de matéria-prima faz com que, quando esta chegue, um grande volume de trabalho tenha que ser feito, demandando horas extras.

4) Na sua opinião, é possível identificar rapidamente um defeito na meia, quando este ocorre? Por quê?

- Não. A identificação do problema é tardia, impedindo de consertar o problema enquanto ele ocorre. Com a virada de sistema, subiu a demanda, perdeu o controle de horas extra (deixou de fazer os cálculos), o que gerou o desbalanceamento de setores e um grande aumento do estoque em processo.
- Há produtos que demoram e outros que não. Melhorou muito, havia sacos que ficavam 2~3 anos.
- Não é possível rastrear rapidamente um defeito, pois a meia demora a ser processada. É preciso produção enxuta.
- Não é possível identificar rapidamente, por conta das filas ocasionadas no acabamento. Dessa forma a meia demora a ser processada, e o defeito ocorrido na etapa anterior só é identificado tempos depois.

- Não, pois não há fluxo contínuo: uma meia pode esperar muito antes de ser processada pela etapa seguinte, desfavorecendo qualquer identificação de defeitos

5) Na sua opinião, a fábrica atrasa muitos pedidos? Se sim, quais são as principais causas que você enxerga para isso?

- Sim. Falta de matéria prima, falta de capacidade na tecelagem. Inverno atrasou bastante por conta de falta de capacidade, muito de demanda e dificuldade de planejamento. Os pedidos por vezes vão com saldo (somente uma parte é entregue, e a segunda parte vai depois).
- Atrasa poucos pedidos. Há um acúmulo de pedidos no inverno que aumenta os atrasos.
- Sim, atrasa bastante, a ponto de haver cancelamentos. Como causas enxergo a falta de comunicação, matéria prima e planejamento. Além do fato de o acabamento não saber quais pedidos estão em vigor, para poder processar as meias de acordo.
- Sim. As principais causas são a falta de matéria-prima, e o fato de se atender pedidos parcialmente, postergando o atendimento de meias que não estão disponíveis ainda, em vez de negociar com o cliente o não atendimento daquelas meias.
- Sim, por conta de frequentes faltas de matéria-prima, e a falta de confiabilidade do estoque, que gera decisões equivocadas ou não embasadas de quais meias produzir.

6) Sugestões

- Fazer um fluxo de produção enxuta, evitando meias aguardando para serem processadas. Para isso, como primeira medida se poderia fazer um levantamento geral do que precisa para fechar as montagens pendentes de meias acumuladas, e assim liberar essa produção estancada.
- Oferecer um cronograma de produção aos setores, no início de cada dia, para que produzam de acordo com o fluxo.

# ANEXO 2 – TERMO DE AUTENTICIDADE

UNIVERSIDADE FEDERAL DE JUIZ DE FORA
FACULDADE DE ENGENHARIA

**Termo de Declaração de Autenticidade de Autoria**

Declaro, sob as penas da lei e para os devidos fins, junto à Universidade Federal de Juiz de Fora, que meu Trabalho de Conclusão de Curso do Curso de Graduação em Engenharia de Produção é original, de minha única e exclusiva autoria. E não se trata de cópia integral ou parcial de textos e trabalhos de autoria de outrem, seja em formato de papel, eletrônico, digital, audio-visual ou qualquer outro meio.
Declaro ainda ter total conhecimento e compreensão do que é considerado plágio, não apenas a cópia integral do trabalho, mas também de parte dele, inclusive de artigos e/ou parágrafos, sem citação do autor ou de sua fonte.
Declaro, por fim, ter total conhecimento e compreensão das punições decorrentes da prática de plágio, através das sanções civis previstas na lei do direito autoral[1] e criminais previstas no Código Penal[2], além das cominações administrativas e acadêmicas que poderão resultar em reprovação no Trabalho de Conclusão de Curso.

Juiz de Fora, 06 de janeiro de 2023.

| | |
|---|---|
| Inácio Mares Viñas | 201749032 |
| NOME LEGÍVEL DO ALUNO (A) | Matrícula |
| Inácio M. Viñas | 180.125.477-08 |
| ASSINATURA | CPF |

[1] LEI N° 9.610, DE 19 DE FEVEREIRO DE 1998. Altera, atualiza e consolida a legislação sobre direitos autorais e dá outras providências.
[2] Art. 184. Violar direitos de autor e os que lhe são conexos: Pena - detenção, de 3 (três) meses a 1 (um) ano, ou multa.

# ANEXO 3 – DECLARAÇÃO DA EMPRESA

Declaro para os devidos fins, Inácio Mares Viñas, estagiário da empresa Malhas D'Estefano Ltda. possui autorização para divulgar o nome da empresa Malhas D'Estefano Ltda. bem como dados não confidenciais na elaboração de seu trabalho de conclusão de curso apresentado à Faculdade de Engenharia da Universidade Federal de Juiz de Fora, como requisito parcial para a obtenção do título de Engenheiro de Produção.

Juiz de Fora, 06 de janeiro de 2023.

Responsável da Empresa

(carimbo da empresa)

MALHAS D'ESTEFANO LTDA.
CNPJ: 26.315.952/0001-98