

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
CENTRO TECNOLÓGICO
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO E SISTEMAS
CURSO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO CIVIL

Eliane Wommer

**Aumento de produtividade em células de montagem de alta variedade e baixo volume
(*High Variety Low Volume*) através do *Lean Manufacturing***

Florianópolis

2021

Eliane Wommer

**Aumento de produtividade em células de montagem de alta variedade e baixo volume
(*High Variety Low Volume*) através do *Lean Manufacturing***

Trabalho Conclusão do Curso de Graduação em Engenharia de Produção Civil do Centro Tecnológico da Universidade Federal de Santa Catarina como requisito para a obtenção do título de Engenheira Civil com habilitação em Engenharia de Produção.
Orientador: Prof. Dr. Glauco Garcia Martins Pereira da Silva.

Florianópolis

2021

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor,
através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Universitária da UFSC.

Wommer, Eliane

Aumento de produtividade em células de montagem de alta variedade e baixo volume (High Variety Low Volume) através do Lean Manufacturing / Eliane Wommer ; orientador, Glauco Garcia Martins Pereira da Silva, 2021.

89 p.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) -
Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico,
Graduação em Engenharia de Produção Civil, Florianópolis,
2021.

Inclui referências.

1. Engenharia de Produção Civil. 2. Lean Manufacturing.
3. Alta variedade e baixo volume. 4. Aumento de
produtividade. 5. Agregação de valor. I. da Silva, Glauco
Garcia Martins Pereira. II. Universidade Federal de Santa
Catarina. Graduação em Engenharia de Produção Civil. III.
Titulo.

Eliane Wommer

**Aumento de produtividade em células de montagem de alta variedade e baixo volume
(*High Variety Low Volume*) através do *Lean Manufacturing***

Este Trabalho Conclusão de Curso foi julgado adequado para obtenção do Título de “Engenheira Civil habilitada em Produção” e aprovado em sua forma final pelo Curso de Graduação em Engenharia de Produção Civil.

Florianópolis, 06 de maio de 2021.

Prof. Mônica Maria Mendes Luna, Dra.
Coordenadora do Curso

Banca Examinadora:

Prof. Glauco Garcia Martins Pereira da Silva, Dr.
Orientador
Universidade Federal de Santa Catarina

Prof. Guilherme Ernani Vieira, Dr.
Avaliador
Universidade Federal de Santa Catarina

Profa. Olga Regina Cardoso, Dra.
Avaliadora
Universidade Federal de Santa Catarina

Este trabalho é dedicado às mulheres que lutaram e ainda lutam para conquistar espaço na ciência, na engenharia e, sobretudo, no mercado de trabalho.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus, por tudo o que Ele proporciona. Agradeço aos meus pais, Eleri e Ilaine, pelo apoio em todas as minhas decisões, e pelo suporte que sempre me deram para que eu possa seguir meus sonhos e me tornar engenheira. Agradeço às minhas irmãs, Patrícia e Daiane, pelo amor e carinho que sempre tivemos umas pelas outras. Aos meus sobrinhos, Pedro, Cecilia e Alice, pelo simples fato de existirem e tornarem a vida mais especial e cheia de significado. Aos meus cunhados, Eduardo e Pablo, por estarem ali quando precisei. E agradeço às minhas avós, Semilda e Valéria, por serem a base da família e exemplos de mulheres fortes nas quais eu posso me inspirar.

Agradeço às minhas amigas da vida, Amanda, Ana Carolina, Anaiara, Daniela, Flávia, Gianna, Isadora, Jéssica, Mariana, Schayane, Tatiele, Thayla, Tuane e Yohana, por estarem comigo há tantos anos e nada mudar. Ao meu amigo irmão, Marcel, pelo carinho e paciência de sempre. Aos meus amigos da UFSC, pelos momentos importantes que passamos juntos, e em especial à Luana, que esteve comigo todos os dias durante mais de quatro anos, e não mede esforços para me apoiar. Agradeço às minhas novas companhias diárias, Lorena e Pietra, por tornarem mais fácil o desafio que estou vivendo hoje. E agradeço ao Leonardo, pelo amor e pela força que me transmite.

Agradeço ao meu orientador, professor Glauco, que me apoiou não só para essa monografia como também durante a graduação. E aos demais professores e servidores da UFSC, por todo o conhecimento compartilhado e suporte fornecido.

Agradeço à A7, pela oportunidade de trabalhar com pessoas que me ensinaram muito sobre determinação e trabalho em equipe. E agradeço ao GLean, grupo que tem grande responsabilidade sobre meu desenvolvimento profissional, e que me uniu à minha paixão dentro da Engenharia de Produção, o *Lean*.

A mente que se abre a uma nova ideia jamais
voltará ao seu tamanho original.

(Albert Einstein)

RESUMO

A mudança de perfil do consumidor contemporâneo e a competitividade de mercado exigem cada vez mais diversificação de produtos em empresas de diferentes setores. Para o setor secundário, fabricar uma grande variedade de produtos demanda decisões estratégicas das organizações, além do foco em ter processos eficientes. Diante desse contexto, o *Lean Manufacturing* destaca-se por ter ferramentas simples, que podem ser adaptadas para qualquer cenário, embasadas por um pensamento de redução de desperdícios. Considerando isso, esse trabalho tem como objetivo implementar melhorias em uma célula de montagem de alta variedade e baixo volume, para obter um aumento de produtividade da mesma. Por meio do procedimento metodológico de pesquisa-ação e sustentado pelo pensamento científico de resolução de problemas, aplicado na metodologia A3, foram mapeadas as etapas da operação de montagem estudada e identificadas as características da sua demanda, para então aplicar técnicas adaptadas do *Lean Manufacturing* e analisar os resultados esperados. A principal ferramenta utilizada foi o Gráfico de Balanceamento de Operadores, que permitiu viabilizar a proposta do estudo de substituir a função de um operador, tirando-o da montagem e colocando-o como um abastecedor de célula. O trabalho resultou na eliminação das atividades que não agregam valor encontradas, na redução de tempo das atividades que não agregam valor mas são necessárias, e gerou ganhos em termos de capacidade de produção diária e produtividade. Esses ganhos foram possíveis através da criação de uma logística de abastecimento de célula, baseada no *mizusumashi*, mas com adaptações necessárias pela falta de padrão de consumo dos postos de trabalho. Esse estudo contribui para o entendimento de como as ferramentas do *Lean Manufacturing* são flexíveis e adaptáveis para gerar bons resultados em um cenário de produção de alta variedade e baixo volume.

Palavras-chave: *Lean*. Alta variedade e baixo volume. Aumento de produtividade. Agregação de valor.

ABSTRACT

The change of the contemporary consumer profile and the market competitiveness demand increasingly product diversification in companies from different sectors. For the secondary sector, manufacturing a wide variety of products requires strategic decisions by organizations, in addition to the focus on having efficient processes. Given this context, Lean Manufacturing stands out for having simple tools, which can be adapted to any scenario, based on the thought of reducing waste. Considering this, the present work aims to implement improvements in a High Variety Low Volume assembly cell, in order to obtain an increase in its productivity. Through the action research methodological procedure and supported by scientific problem-solving thinking, applied in the A3 methodology, the stages of the studied assembly operation were mapped and the characteristics of its demand were identified. Then, was applied techniques adapted from Lean Manufacturing and analyze the expected results. The main tool used on this research was the Operator Balance Chart, which enabled the study proposal to replace the role of an operator, taking him out of the assembly and placing him as a cell supplier. The work resulted in the elimination of activities that do not add value found, as well as reduced time with activities that do not add value but are necessary, and also generated gains in terms of daily production capacity and productivity. These gains were made possible through the creation of a cell supply logistics, based on mizusumashi, but with necessary adaptations due to the lack of consumption pattern of the operations. This study contributes to the understanding of how the tools of Lean Manufacturing are flexible and adaptable to generate good results in a scenario of High Variety Low Volume production.

Keywords: Lean Manufacturing. High Variety Low Volume. Productivity increase. Added value.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Os 5 princípios do <i>Lean</i>	21
Figura 2 - Desperdícios em um fluxo de valor.	23
Figura 3 - Diagrama de Espaguete: fluxo dos pacientes.	24
Figura 4 - “ <i>Plan, Do, See</i> ” de Taylor.	25
Figura 5 - Ciclo de Shewhart.....	25
Figura 6 - Ciclo PDCA.	26
Figura 7 - Ciclo PDCA com mini-ciclo no “ <i>Do</i> ”.	26
Figura 8 – Relatório A3 com PDCA.	27
Figura 9 - A logística interna.....	29
Figura 10 - Exemplo de GBO.....	32
Figura 11 - Caracterização do HVLV com o ponto de desacoplamento do pedido do cliente.	34
Figura 12 - Arranjo físico de acordo com volume e variedade.	35
Figura 13 - Capacidades <i>takt</i>	38
Figura 14 - Enquadramento metodológico da pesquisa.....	40
Figura 15 - Ciclo da pesquisa-ação.	42
Figura 16 - <i>Layout</i> da montagem A.....	49
Figura 17 - Fluxograma do processo da montagem A.	50
Figura 18 - Diagrama de espaguete dos operadores e legenda.....	61
Figura 19 - Classificação das atividades do abastecedor de célula proposto.	63
Figura 20 - Atividades do abastecedor de célula.....	73
Figura 21 - Filas FIFO para carrinhos preparados.....	76
Figura 22 – A3 do trabalho.....	87

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Composição do Método 5W2H.....	28
Quadro 2 - Comparação entre planta <i>Lean</i> típica e planta HVLV.	36

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Demanda anual prevista da montagem A.....	51
Tabela 2 - Tempos coletados da família 1.....	53
Tabela 3 - Tempos coletados da família 2.....	53
Tabela 4 - Tempos coletados da família 3.....	53
Tabela 5 - Tempos coletados da família 4.....	53
Tabela 6 - Demanda e tempo disponível por família de produtos.....	56
Tabela 7 - Utilização do <i>takt time</i>	56
Tabela 8 - Capacidade atual da família de produtos 1.....	57
Tabela 9 - Capacidade atual da família de produtos 2.....	58
Tabela 10 - Capacidade atual da família de produtos 3.....	59
Tabela 11 - Capacidade atual da família de produtos 4.....	60
Tabela 12 - Média ponderada dos tempos de ciclo atuais por fatia.....	61
Tabela 13 - Capacidade proposta da família de produtos 1.....	65
Tabela 14 - Capacidade proposta da família de produtos 2.....	65
Tabela 15 - Capacidade proposta da família de produtos 3.....	66
Tabela 16 - Capacidade proposta da família de produtos 4.....	67
Tabela 17 - Média ponderada dos tempos de ciclo propostos por fatia.	68
Tabela 18 - Matriz de polivalência atual.	69
Tabela 19 - Ganho na capacidade diária de fatias.	71
Tabela 20 - Ganho na capacidade de fatias por turno por operador.	71
Tabela 21 - Ganho em produtividade.	72
Tabela 22 - Simulação de capacidade <i>takt</i> de demanda muito baixa para a família 1.	88
Tabela 23 - Simulação de capacidade <i>takt</i> de demanda muito alta para a família 1.	89
Tabela 24 - Simulação de capacidade <i>takt</i> de demanda muito baixa para a família 3.	89

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Representatividade das famílias de produtos no volume de demanda.....	52
Gráfico 2 - Porcentagem de agregação de valor da família 1.....	54
Gráfico 3 - Porcentagem de agregação de valor da família 2.....	54
Gráfico 4 - Porcentagem de agregação de valor da família 3.....	55
Gráfico 5 - Porcentagem de agregação de valor da família 4.....	55
Gráfico 6 - GBO atual família de produtos 1.	57
Gráfico 7 - GBO atual família de produtos 2.	58
Gráfico 8 - GBO atual família de produtos 3.	59
Gráfico 9 - GBO atual família de produtos 4.	60
Gráfico 10 - GBO proposta para a família de produtos 1.....	64
Gráfico 11 - GBO proposta para a família de produtos 2.....	65
Gráfico 12 - GBO proposta para a família de produtos 3.....	66
Gráfico 13 - GBO proposta para a família de produtos 4.....	67
Gráfico 14 - GBO acumulado para as 4 famílias de produtos.....	68
Gráfico 15 - Comparativo dos tempos de ciclo por fatia.....	70
Gráfico 16 - Comparativo das capacidades diárias de fatias.	71
Gráfico 17 - Simulação de capacidade <i>takt</i> de demanda muito baixa para a família 1.....	88
Gráfico 18 - Simulação de capacidade <i>takt</i> de demanda muito alta para a família 1.....	88
Gráfico 19 - Capacidade <i>takt</i> de demanda muito baixa para a família 3.....	89

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABEPRO – Associação Brasileira de Engenharia de Produção

GBO – Gráfico de Balanceamento de Operadores

HVLV – *High Variety Low Volume*

OP – Ordem de Produção

PCP – Planejamento e Controle da Produção

TC – Tempo de Ciclo

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	15
1.1	CONTEXTUALIZAÇÃO	15
1.2	PROBLEMA E JUSTIFICATIVA DE PESQUISA	16
1.3	OBJETIVOS	17
1.3.1	Objetivo Geral.....	17
1.3.2	Objetivos Específicos	17
1.4	LIMITAÇÕES DO TRABALHO.....	17
1.5	ESTRUTURA DO TRABALHO	18
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	20
2.1	<i>Lean Manufacturing</i>	20
2.1.1	A essência do <i>Lean Thinking</i>.....	20
2.1.2	O método científico para resolução de problemas.....	24
2.1.3	O foco no processo	28
2.2	Produção <i>High Variety Low Volume</i> (HVLV)	33
2.3	<i>Lean</i> Aplicado na Produção <i>High Variety Low Volume</i>	36
3	METODOLOGIA.....	40
3.1	Enquadramento Metodológico.....	40
3.2	Etapas da Pesquisa-Ação	41
3.2.1	Contexto e Propósito.....	42
3.2.2	Coleta de Dados.....	43
3.2.3	<i>Feedback</i> dos Dados	43
3.2.4	Análise dos Dados	44
3.2.5	Planejamento da Ação	45
3.2.6	Implementação	46
3.2.7	Avaliação	46

4	RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	47
4.1	DESCRIÇÃO DA EMPRESA E DO PRODUTO	47
4.2	LEVANTAMENTO DA SITUAÇÃO ATUAL.....	48
4.3	ANÁLISE DA SITUAÇÃO ATUAL.....	55
4.4	PLANEJAMENTO DA SITUAÇÃO PROPOSTA	63
4.5	IMPLEMENTAÇÃO E AVALIAÇÃO	72
4.6	DISCUSSÕES E CONTRIBUIÇÕES	78
5	CONCLUSÕES.....	80
	REFERÊNCIAS.....	82
	APÊNDICE A – A3 do trabalho.....	87
	APÊNDICE B – Simulações de capacidades <i>takt</i>.....	88

1 INTRODUÇÃO

1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO

As condições competitivas enfrentadas pelas empresas estão mudando fundamentalmente à medida que os mercados e as indústrias se globalizam, e esses fenômenos econômicos são tão significativos que devem induzir mudanças na estratégia corporativa das organizações (WIERSEMA; BOWEN, 2007), gerando impactos que são percebidos por indústrias do mundo todo. No Brasil, a economia está constantemente buscando se recuperar das crises econômicas, como a crise de 2014, conhecida como a grande recessão brasileira, pois caracteriza a recuperação mais lenta da história do país, e até mesmo a crise atual causada pela pandemia do COVID-19.

Diante dos efeitos de crises econômicas e globalização, do crescimento exponencial da tecnologia nos últimos anos e também da crescente mudança de comportamento do público consumidor - que hoje busca informações aprofundadas antes de tomar a decisão da compra e está interessado em novas tendências -, o mercado exige das empresas do setor secundário cada vez mais diversificação de produtos, para atender às mais variadas necessidades dos consumidores e, assim, manter sua competitividade.

Com o intuito de aumentar a diversificação de produtos, faz-se necessário o foco em processos eficientes. Sem uma produção bem planejada, que consiga se adaptar rapidamente às mudanças, que tem as responsabilidades bem definidas e que dedica esforços para resolver problemas e melhorar constantemente, é praticamente impossível alcançar a estabilidade em uma produção de alta variedade de produtos.

Nesse contexto, destaca-se o *Lean Manufacturing*. Sua filosofia de foco na agregação de valor para o cliente e redução de desperdícios, com práticas que visam a estabilidade básica e o aumento de produtividade, se encaixa perfeitamente na busca por uma produção de variedade mantendo a desejada eficiência dos processos.

É importante salientar que as características de uma indústria variam significativamente de acordo com suas definições de variedade de produtos e demanda, sendo que, mantendo a mesma capacidade de produção, a relação entre esses dois critérios é inversamente proporcional: quanto maior a variedade, menor o volume produzido e vice-versa. Portanto, o presente trabalho visa abordar as questões acima citadas em um cenário de produção *High Variety Low Volume* (HVLV).

1.2 PROBLEMA E JUSTIFICATIVA DE PESQUISA

Como citado anteriormente, a busca por maior competitividade no mercado gera a produção em maior variedade. Processos HVLV geralmente produzem sob encomenda e, além da grande diversidade de produtos, muitas vezes os mesmos são personalizados. Com isso, não é possível amortecer o impacto da variabilidade de demanda e do processo através de estoque final, sendo necessário encontrar outras saídas (JINA; BHATTACHARYA; WALTON, 1997).

Assim, esses processos sofrem significativamente com qualquer mudança no planejamento de produção, o que gera grande complexidade operacional (RAMALINGAM, 2008). Ainda, a produção precisa estar preparada para trabalhar em uma grande variedade de produtos em uma só instalação de manufatura, e com a necessidade de mão de obra qualificada e versátil, que não seja especializada apenas em um tipo de tarefa (HAIDER; MIRZA, 2015). Por esses e outros motivos, sistemas de alta variedade e baixo volume têm maiores *lead times* produtivos, maiores custos de produção e maior necessidade de flexibilidade para se ajustar às mudanças (TUBINO, 2007).

A empresa objeto de estudo do presente trabalho, em especial o setor de montagem que será abordado nos próximos capítulos, se encaixa em um cenário *High Variety Low Volume*. Com isso, enfrenta diversos obstáculos rotineiros relacionados com a análise apresentada, os quais geram instabilidade nos resultados alcançados pela equipe. Além disso, também apresenta desperdícios que se enquadram nos 7 desperdícios do *Lean*, como excesso de movimentação dos operadores e excesso de transporte de materiais e ferramentas. Esses obstáculos prejudicam os indicadores relacionados à eficiência, impactando negativamente na estratégia da organização.

Para isso, a atual relevância do *Lean Manufacturing* no cenário industrial, com sua capacidade de encontrar oportunidades de melhorias em todos os processos e de entregar o máximo de valor para o cliente, prova que essa filosofia é um bom direcionamento na busca por melhorar os processos de montagem em questão.

Para que a aplicação das ações oriundas do Sistema Toyota de Produção seja eficaz, é necessária a adaptação dessas práticas para cada situação. A cultura da empresa, com a iniciativa principalmente dos níveis mais altos de liderança, precisa se transformar para que esteja de acordo com a filosofia *Lean*; e as aplicações devem levar em consideração as características específicas do tipo de sistema de produção que se está atuando.

Apesar do aumento no número de organizações que operam em uma produção *High Variety Low Volume*, observa-se que ainda há dificuldade em encontrar trabalhos científicos no assunto, o que dificulta ainda mais a disseminação desse conhecimento, de ideias e sugestões para que as empresas possam se inspirar e melhorar seus resultados.

Dessa forma, pretende-se com esse trabalho identificar quais são as contribuições do *Lean Manufacturing* para a produção em alta variedade e baixo volume, e como elas podem ser aplicadas para melhorar a produtividade em uma célula de montagem.

1.3 OBJETIVOS

Nesse tópico, são apresentados o objetivo geral e os objetivos específicos relacionados ao problema de pesquisa dessa monografia.

1.3.1 Objetivo Geral

Esse trabalho tem como objetivo geral implementar melhorias para o aumento de produtividade em uma célula de montagem de alta variedade e baixo volume.

1.3.2 Objetivos Específicos

O objetivo geral do trabalho foi desdobrado nos seguintes objetivos específicos:

1. Levantar as etapas da operação da célula de montagem do estudo;
2. Identificar as características da demanda da célula de montagem;
3. Aplicar técnicas do *Lean Manufacturing* adaptadas para a produção de alta variedade e baixo volume na célula de montagem do estudo;
4. Analisar os resultados esperados com a implementação das melhorias com base na literatura existente.

1.4 LIMITAÇÕES DO TRABALHO

A primeira limitação desse estudo é o tempo hábil para sua execução. O trabalho teve duração de 2 meses, o que impossibilitou o acompanhamento de indicadores reais obtidos um

tempo após a implementação, limitando os resultados desse trabalho a ganhos esperados através de simulações.

Outro fator limitante é a falta de dados atualizados e confiáveis dos tempos de ciclo da montagem. Sem esses dados disponibilizados, não foi possível criar Gráficos de Balanceamento de Operadores para cada produto, como aconselha a literatura, além de serem necessárias algumas premissas para que a construção dos gráficos por família seja possível. Ainda nesse contexto, o próprio fato de a célula ser responsável pela montagem de uma grande gama de produtos também é considerada uma limitação, pois não é possível acompanhar a montagem de todos os principais produtos dentro de um curto intervalo de tempo.

Por fim, há uma grande oportunidade de melhoria no *layout* da célula, pois os postos de trabalho não são fisicamente interligados, gerando assim deslocamentos desnecessários para transportar o produto em processo. Esse fator é uma limitação porque, em um *layout* adequado, na prática, seria facilitada a movimentação dos operadores que são responsáveis por mais de um posto de trabalho.

Apesar de haver limitações, as mesmas não invalidam os resultados obtidos através do trabalho desenvolvido nessa pesquisa.

1.5 ESTRUTURA DO TRABALHO

O presente trabalho é composto por 5 capítulos: introdução, fundamentação teórica, metodologia, resultados e discussões, e conclusão. O capítulo de introdução contextualiza o cenário em que o problema está inserido, define o problema e justifica sua importância, determina os objetivos a serem alcançados com o estudo desenvolvido, e identifica as limitações existentes no trabalho e como ele foi estruturado.

O segundo capítulo apresenta, após a busca e o estudo das literaturas disponíveis sobre os temas explorados, uma fundamentação teórica com relação ao *Lean Manufacturing* e alguns subitens, à produção *High Variety Low Volume*, e a união dos dois assuntos em um só tópico de *Lean* aplicado na produção HVLV. No capítulo de metodologia, é realizado o enquadramento metodológico do trabalho em questão, onde o método da pesquisa-ação é apresentado e suas etapas são levantadas.

O capítulo quatro explora todas as etapas do estudo, embasadas pelos passos da pesquisa-ação, e disserta sobre como o trabalho foi planejado e colocado em prática, além dos

resultados que podem ser obtidos com sua implementação e discussões sobre o que foi desenvolvido. O quinto capítulo reserva-se às considerações finais e algumas sugestões para trabalhos futuros.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Para melhor entendimento dos próximos capítulos, será dado um embasamento inicial sobre o *Lean Manufacturing*, considerando a filosofia e algumas ferramentas. Em seguida, serão abordados os conceitos e as características da produção *High Variety Low Volume* e, por fim, será apresentada a união entre esses dois temas: o *Lean* aplicado na produção *High Variety Low Volume*.

2.1 LEAN MANUFACTURING

Nos dias atuais, é muito comum encontrar implementações bem sucedidas da filosofia *Lean* nas mais diversas organizações, seja a manufatura, que é a origem pensamento enxuto, como também em serviços e no gerenciamento da cadeia de suprimentos. O *Lean Manufacturing* abrange diversos fatores, e alguns serão apresentados nesse trabalho.

2.1.1 A essência do *Lean Thinking*

Na década de 1980, a Toyota começou a chamar a atenção mundial pela durabilidade e pela qualidade dos seus automóveis, se comparado aos modelos americanos. Na década seguinte, esses aspectos se evidenciaram ainda mais com o comparativo entre a Toyota e outras fabricantes automobilísticas japonesas, apresentado no livro “A Máquina que Mudou o Mundo”, de Daniel Roos e James P. Womack. A Toyota mantém seu destaque até os dias atuais, sendo intitulada a montadora mais valiosa do mundo pelo estudo *BrandZ Top 100 Most Valuable Brands 2020*, realizado pela empresa de consultoria de mercado Kantar.

Com todo o conhecimento desenvolvido internamente na empresa, foi criado o Sistema Toyota de Produção, de onde originou o conceito de *Lean Production* ou *Lean Manufacturing*, tendo como um de seus grandes responsáveis o engenheiro Taiichi Ohno. Essa forma de ver e de pensar, baseada em técnicas de melhoria da qualidade e sustentada por uma filosofia baseada na motivação humana, na boa liderança e na aprendizagem constante, é o que gera a excelência operacional consistente da Toyota ao longo do tempo (LIKER, 2005).

Uma das grandes chaves do *Lean* é entender que ele é uma forma de pensar, e não um compilado de ferramentas. O pensamento *Lean* inicia-se com o conceito de cinco princípios. Esse conceito foi introduzido por Womack e Jones, em meados de 1996, no livro

intitulado “A Mentalidade Enxuta nas Empresas (*Lean Thinking*)”, com o objetivo de resumir o pensamento enxuto e mostrar como pode-se criar valor duradouro de forma simples e factível em qualquer negócio e em qualquer condição.

Os princípios consistem em determinar o valor por produto, identificar o fluxo de valor de cada produto, fazer o valor fluir sem interrupções, deixar que o cliente puxe esse valor e, por fim, buscar continuamente a perfeição (WOMACK; JONES, 2003). A visão dos princípios é através de cinco ações sequenciais, que podem ser vistas de forma ilustrativa na Figura 1, mas elas trabalham em conjunto onde o foco é apenas um: a maximização de valor. Nos próximos parágrafos, os princípios serão melhor explicados.

Figura 1 - Os 5 princípios do *Lean*.



Fonte: Coutinho (2020)

O primeiro princípio é especificar valor. O valor é o ponto de partida essencial para o pensamento enxuto, e somente o cliente final pode defini-lo (WOMACK; JONES, 2003). Isso quer dizer que o valor é aquilo que atende às necessidades do cliente, e é representado como um produto, um serviço ou um bem. Pinto (2008) explicita que todas as características ou atributos de um produto ou serviço que não atendam às expectativas ou necessidades dos clientes são oportunidades de melhoria.

O segundo princípio é a identificação do fluxo de valor. Para Womack e Jones (2003), o fluxo de valor é composto pelas ações necessárias para fazer um produto passar pelas tarefas de resolução de problemas, gerenciamento da informação e transformação física. A identificação do fluxo de valor por completo expõe diversos desperdícios que são ofuscados no dia a dia.

Em um fluxo de valor, geralmente são observados três tipos de atividades (WOMACK; JONES, 2003):

- a) Atividades que Agregam Valor (AV);
- b) Atividades que Não Agregam Valor, mas são Necessárias (NAVN);
- c) Atividades que Não Agregam Valor e devem ser eliminadas imediatamente (NAV).

O terceiro princípio é fazer o valor fluir. Segundo Pinto (2008), nessa etapa a cadeia de valor é organizada para eliminar as atividades que não agregam valor e, assim, poder fabricar produtos no mesmo ritmo em que eles são pedidos pelo cliente.

O quarto princípio é puxar, ou seja, produzir em um sistema puxado pelo cliente, apenas o que for necessário e quando for preciso. Pinto (2008) observa que puxar evita a acumulação de estoques de produtos, porque nada é produzido mais cedo do que o necessário.

Por fim, para fechar o ciclo dos cinco princípios do *Lean*, vem a perfeição. Esse é o estado inatingível em que todos os desperdícios foram completamente eliminados. Womack e Jones (2003) ressaltam que, quando os quatro primeiros princípios interagem entre si, os desperdícios - que antes estavam ocultos - se revelam cada vez mais, permitindo assim a eliminação deles e a busca constante pela perfeição.

Os cinco princípios retratam uma jornada de melhoria contínua, a qual só acontece efetivamente quando há uma mudança de cultura da organização que impacte positivamente nas atitudes de todos os colaboradores. Em união com os cinco princípios e em busca dos mesmos objetivos está a eliminação de desperdícios, a qual é, de forma absoluta, a base do Sistema Toyota de Produção (OHNO, 1978). No segundo dos cinco princípios, foram citadas as atividades que não agregam valor e devem ser eliminadas. Essas atividades representam desperdícios. Womack e Jones (2003) definem o conceito de desperdício como “qualquer atividade humana que absorve recursos, mas não cria valor”. Ohno (1978), por sua vez, define que a capacidade atual é igual à soma de trabalho e desperdício. Quando se busca melhorar a eficiência, é necessário atentar-se aos desperdícios existentes e eliminá-los. Os sete tipos de desperdícios identificados por Ohno (1978) são:

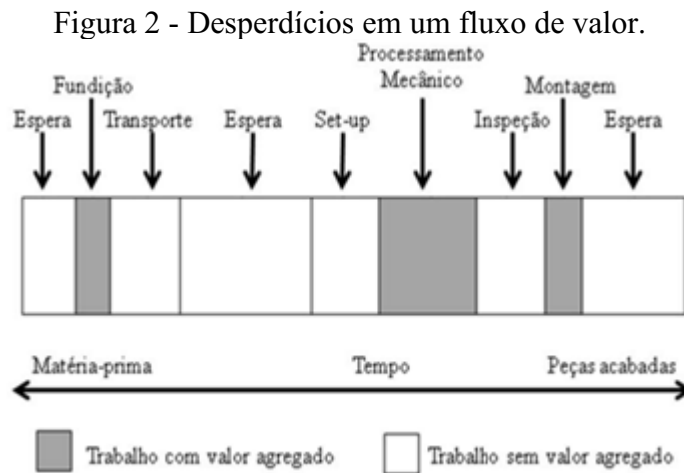
- i. Superprodução;
- ii. Espera (tempo disponível);
- iii. Transporte;
- iv. Processamento impróprio;
- v. Estoque (em excesso);

- vi. Movimentação;
- vii. Defeito (produzir produtos defeituosos).

Nos dias de hoje, alguns outros desperdícios são acrescentados à essa lista, dentre eles o desperdício intelectual.

Slack *et al.* (2009) declaram que mesmo que um trabalhador pareça ocupado, ele não necessariamente está adicionando valor ao produto. Com isso, entende-se que, para acontecer a eliminação de desperdícios, faz-se necessária uma análise a nível micro das atividades realizadas. A capacidade do desperdício de se disfarçar em carga de trabalho, somada à falta de análise com foco na redução de desperdícios, é um dos fatores que fazem empresas dos mais variados setores terem tanta dificuldade em gerar os resultados esperados em termos de produtividade.

A Figura 2 exemplifica uma análise dos desperdícios encontrados em um sistema produtivo de fundição, representado através de uma linha do tempo desde a chegada da matéria-prima até a finalização das peças acabadas.



Fonte: adaptado de Liker (2005, p. 49)

O pensamento enxuto proporciona a eliminação de desperdícios, porque é uma maneira de fazer cada vez mais com cada vez menos esforço humano, menos tempo, menos espaço e menos equipamentos, oferecendo aos clientes o que eles desejam (WOMACK; JONES, 2003).

Para auxiliar na identificação dos desperdícios, principalmente o de movimentação, utiliza-se uma ferramenta chamada Diagrama de Espaguete. Ela permite analisar o trajeto percorrido por um operador para executar determinada atividade (FREITAS, 2018).

Ainda segundo Freitas (2018), a análise inicia com o desenho do *layout* da área onde a avaliação acontecerá, seguido pelo acompanhamento da movimentação do operador e a anotação do trajeto diretamente sobre o *layout* desenhado. Esse papel evidencia, de forma muito visual, se a movimentação que o operador precisa fazer é eficiente ou não e, com isso, o deslocamento pode ser otimizado através de mudanças no *layout* ou nas funções desempenhadas por cada operador.

Essa ferramenta pode ser utilizada em análises de qualquer setor, não apenas em ambientes fabris. A Figura 3 é um exemplo de diagrama de espaguete do fluxo de movimentação dos pacientes em um hospital.

Figura 3 - Diagrama de Espaguete: fluxo dos pacientes.



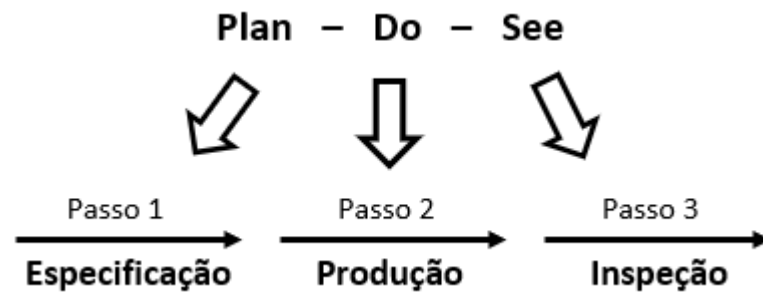
Fonte: Deguirmendjian (2016)

2.1.2 O método científico para resolução de problemas

A filosofia *Lean* pode ser vista como uma forma de evidenciar problemas e resolvê-los, resultando em melhorias para a organização. Independentemente do tipo do problema que será tratado, a maneira mais segura de abordá-lo é utilizando um método científico.

Frederick Taylor, criador do modelo conhecido como Taylorismo ou Administração Científica, recomendava o uso do termo “*Plan, Do, See*” (Planejar, Executar, Ver), o qual já era discutido por pensadores e filósofos (ORIBE, 2009). O conceito era visto na forma ilustrada na Figura 4.

Figura 4 - “Plan, Do, See” de Taylor.



Fonte: adaptado de Moen e Norman (2007)

Oribe (2009) declara que Walter Andrew Shewhart, conhecido como o pai do controle estatístico da qualidade, revolucionou a forma de ver esse modelo, ao colocá-lo em um círculo, como pode ser visto na Figura 5, onde os resultados de um ciclo são considerados no planejamento do próximo ciclo, o que demonstra a busca pela melhoria contínua.

Figura 5 - Ciclo de Shewhart.



Fonte: adaptado de Moen e Norman (2007)

Ainda segundo Oribe (2009), Kaoru Ishikawa, mais um grande nome do controle de qualidade, observou que o verbo “See” (ver) demonstra atitude passiva. Com isso, William Edwards Deming ensinou aos japoneses que o verdadeiro sentido do verbo “See” é de tomar uma ação, e esse aprendizado culminou no Ciclo PDCA como é conhecido até hoje, “Plan, Do, Check, Act” (Planejar, Executar, Verificar, Agir), apresentado na Figura 6.

Figura 6 - Ciclo PDCA.

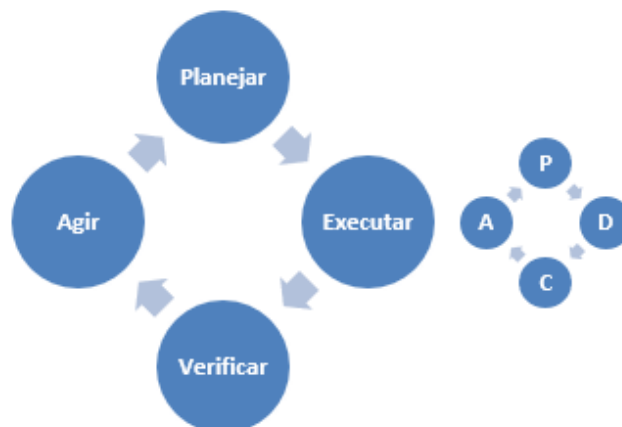


Fonte: Cesar (2018)

O Ciclo PDCA pode ser visto como um plano de ação que gera aprendizado, pois ele é realizado em iterações e a cada troca de ciclo, o conhecimento é ampliado. Na fase de planejamento, alguns indicadores são elaborados para acompanhar o andamento do trabalho e verificar os resultados finais. Na execução do plano, Dennis (2007) adiciona um pequeno Ciclo PDCA, como pode ser visto na Figura 7, propondo que sejam realizados testes pilotos antes de uma implementação de um projeto, para que o conhecimento adquirido fortaleça o que está sendo planejado.

A fase de checar é composta por observação e avaliação dos resultados em relação às metas definidas na primeira fase, o planejamento. A última fase do ciclo carrega consigo a reflexão sobre os resultados coletados, a padronização das coisas que deram certo e a busca pela causa raiz dos problemas que impediram o sucesso esperado (DENNIS, 2007).

Figura 7 - Ciclo PDCA com mini-ciclo no “Do”.



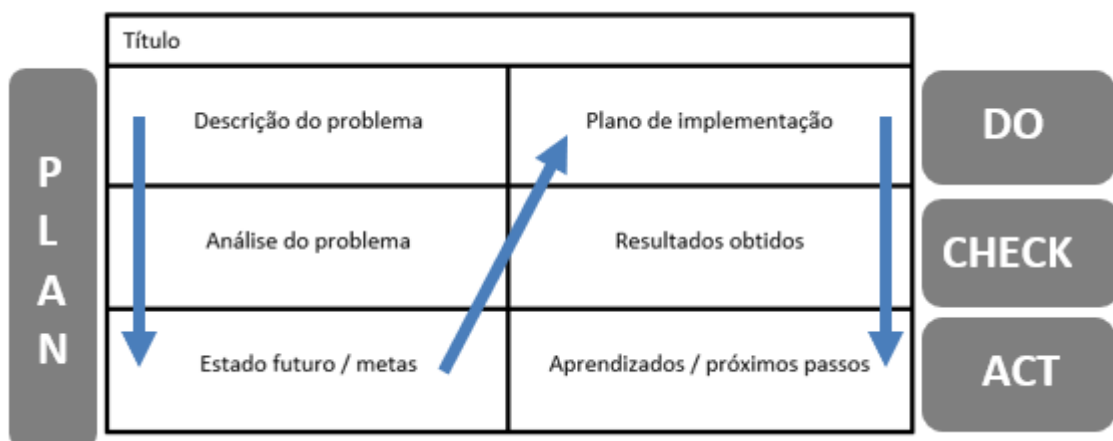
Fonte: adaptado de Dennis (2007)

Apesar de todo o detalhamento da estrutura do Ciclo PDCA disponível na literatura, as empresas ainda falham muito na sua execução. Costuma-se dizer que muitas vezes o ciclo se torna PPPP, onde as organizações discutem muito e agem pouco na resolução dos problemas. Ainda, as duas fases finais do ciclo, checar e agir, acabam sendo esquecidas por muitas pessoas. Uma forma de auxiliar na aplicação correta do método científico do PDCA é através do Pensamento A3.

Visando facilitar a troca de informação entre as plantas da Toyota, o relatório A3 começou a ser utilizado, pois a comunicação era feita por meio de fax e o tamanho de folha A3 era o maior possível a ser transmitido. O A3 conta uma história, com início, meio e fim, em que os elementos se relacionam de forma sequencial para resolver algum problema ou alcançar algum objetivo.

Diferentemente do relatório A3, que é apenas uma ferramenta, o Pensamento A3 é um processo que gera aprendizado para toda a organização, através do uso do método científico, que permite a criação de pessoas solucionadoras de problemas (SOBEK; SMALLEY, 2016). Dessa forma, é importante entender que o preenchimento de um relatório A3 não pode ser feito de forma superficial, mas sim desenvolvendo um pensamento crítico sobre o que está sendo colocado no papel. Um modelo de relatório A3, com as etapas do Ciclo PDCA alocadas em sua montagem, é apresentado na Figura 8.

Figura 8 – Relatório A3 com PDCA.



Fonte: elaborado pela autora.

Metade da folha A3 é ocupada com a fase de planejamento. Charles Kettering, inventor estadunidense, dizia que “um problema bem definido é um problema meio

resolvido”, o que ressalta quão importante é um bom entendimento do estado atual e da causa fundamental do problema.

Dentro do relatório A3 consta o plano de execução do projeto, o qual pode ser feito através do método 5W2H. Segundo Candeloro (2008), esse método é um tipo de *checklist* que garante que um projeto seja conduzido sem dúvidas quanto às ações que serão tomadas. O Quadro 1 apresenta os pontos que são definidos em um 5W2H completo, mas o método pode ser adaptado para cada realidade porque nem todas as situações necessitam da definição de todos esses fatores.

Quadro 1 - Composição do Método 5W2H.

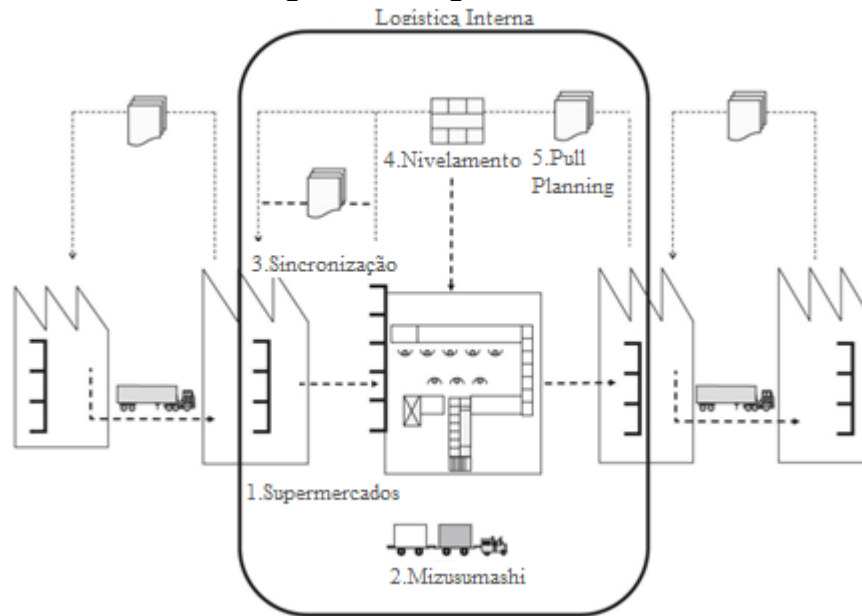


Fonte: adaptado de Candeloro (2008)

2.1.3 O foco no processo

A logística interna de uma organização é a responsável pela integração entre produção e logística, para que o sistema trabalhe de acordo com o *takt time* e forneça produtos com maior qualidade e menor custo (COIMBRA, 2013). O sistema de logística interna é composto de cinco elementos, como destacado na Figura 9: supermercado, *mizusumashi*, sincronização, nivelamento e *pull planning*. Nesse trabalho, serão explorados os três primeiros conceitos.

Figura 9 - A logística interna.



Fonte: Coimbra (2013)

Segundo Coimbra (2013), o supermercado é uma área de armazenamento interno e uma forma de organizar os materiais e produtos visando facilitar o *picking* (processo de separação e preparação de materiais ou pedidos). O conceito de supermercado para o ambiente fabril foi criado por Taiichi Ohno, quando visitou os Estados Unidos no ano de 1953 em busca de *benchmarking* e se deparou com um supermercado convencional de alimentos, que se utiliza até hoje, onde os produtos são expostos em prateleiras e retirados pelos clientes conforme necessidade (TOYOTA, 20--). Transferir essa ideia para a indústria permite que a produção deixe de ser programada e passe a ser realizada de acordo com o consumo real do cliente.

Diferentemente de um estoque comum, o supermercado é controlado e dimensionado de tal forma que o processo fornecedor sempre faz a reposição antes que a quantidade disponível alcance o nível mínimo e, assim, o processo cliente sempre encontra o que quer, mas sem haver o desperdício de excesso de estoque (NORTEGUBISIAN, 2018). Todos esses fatores causam grande redução nos custos, além de criar uma conexão entre os processos, o que evidencia problemas e, conseqüentemente, gera melhorias.

Existem diversos tipos de supermercado, e eles podem ser adaptados de acordo com as necessidades de cada ambiente produtivo. Um tipo que será explorado nesse trabalho é o bordo de linha. Esse é o armazenamento de materiais localizado em volta das estações de trabalho (COIMBRA, 2013), o mais próximo possível da agregação de valor, onde os

materiais são dispostos de forma ergonômica para permitir um *picking* facilitado aos operadores.

Para que a produção, o *picking* e a entrega de materiais necessários aconteçam ao mesmo tempo, sem grandes dificuldades, é necessário que haja uma informação efetiva entre oferta e demanda: isso é a sincronização. Ela é realizada no *gemba* (lugar onde as coisas realmente acontecem), e geralmente através de dispositivos visíveis que podem ser físicos ou automatizados (COIMBRA, 2013).

Uma das formas de realizar a sincronização é através do Sistema *Kanban*. Um cartão *Kanban* representa o pedido de um cliente para um fornecedor, sejam eles internos ou externos. Coimbra (2013) cita que, em um ciclo *Kanban*, há um loop de reposição contínua do material, o que faz com que o produto esteja sempre disponível no ponto de uso no momento em que será consumido.

Muito mais do que uma ferramenta, Rother (2010) clarifica que há uma intenção invisível por trás do *Kanban*: apoiar a melhoria contínua, através das conexões entre os processos, as quais expõem as necessidades de melhoria para, assim, alimentar a resolução de problemas. Rother (2010) conta que para os colaboradores da Toyota, o propósito do *Kanban* é eliminar o *Kanban*, ou seja, melhorar o sistema de tal forma que o fluxo aconteça de forma natural e os cartões não sejam mais necessários.

Para que o sistema funcione de forma sincronizada, existe o *mizusumashi*, nome originário do termo “aranha d’água” em japonês, o qual é um operador de abastecimento interno que move toda a informação relacionada à produção. Coimbra (2013) explica que esse trabalhador transporta os materiais e os cartões *Kanban* entre os supermercados e os bordos de linha através de uma rota fixa, em um intervalo de tempo também fixo, parando nos pontos necessários para entregar a informação.

O *mizusumashi* garante uma logística confiável e um fornecimento frequente para seus clientes, os operadores da produção (COIMBRA, 2013). Com isso, esses operadores podem focar o seu tempo em atividades que agregam valor aos olhos dos clientes, sem se preocupar com a busca de materiais para utilizar e a definição de qual produto será produzido e quando.

Além da organização da logística interna, faz-se necessário dispor também a mão de obra nas etapas de transformação. O balanceamento de linha consiste em dividir a carga de trabalho entre os operadores da linha de produção, para que todos os tempos de ciclo fiquem abaixo do *takt time* (TAPPING *et al.*, 2002).

O tempo de ciclo, conforme definem Tapping *et al.* (2002), é o intervalo de tempo entre o início e a completude de uma operação. O *takt time*, por sua vez, representa a taxa de demanda de consumo de uma família de produtos criados por um processo (ROTHER, 2010). O cálculo do *takt time* é realizado através da Equação 1, e sua unidade é segundos por peça.

$$takt\ time = \frac{\text{tempo de operação efetivo por turno [segundos]}}{\text{demanda do consumidor por turno [peças]}} \quad (1)$$

O tempo de operação efetivo diz respeito ao tempo do turno que realmente fica disponível para o trabalho, ou seja, as paradas programadas são subtraídas do tempo total do turno.

Segundo Gori (2012), o balanceamento de linha nivela os diferentes postos de trabalho de tal forma que o fluxo contínuo (produção que move um produto de cada vez, sem geração de estoques entre os processos) possa ser atingido, e conseqüentemente as despesas operacionais relacionadas à produção sejam reduzidas. Para Dembogurski, Oliveira e Neumann (2008), o balanceamento de linha busca sincronizar os recursos necessários para processar algum produto ou serviço, atendendo a demanda no tempo previsto e com a quantidade solicitada.

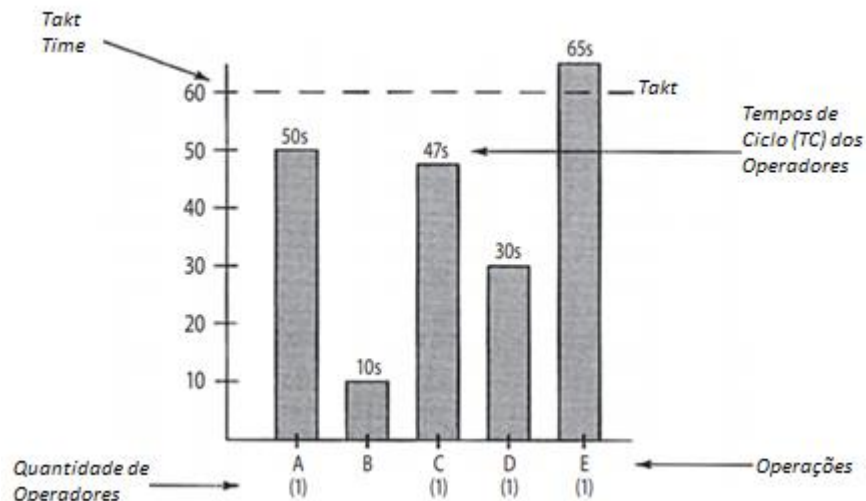
De acordo com um levantamento elaborado por Torres e Lemos (2014), existem diversas sistemáticas utilizadas em trabalhos científicos para realizar um balanceamento, e cada uma conta com algum objetivo específico. Uma sistemática muito utilizada em projetos de *Lean Manufacturing* é o Gráfico de Balanceamento de Operadores (GBO).

O GBO gera uma visualização clara da relação entre tempos de ciclo e *takt time*. Conforme explicitam Rother e Harris (2002), se o tempo de ciclo é muito menor que o *takt time*, a linha tem capacidade de produzir muito mais do que o necessário, o que gera ociosidade ou produção em excesso. Por outro lado, se o tempo de ciclo é maior que o *takt time*, não sobra tempo disponível no sistema para recuperar possíveis atrasos ocasionados por falhas na logística dos materiais ou nos equipamentos e, ainda, não há condições de entregar os produtos dentro do ritmo dos clientes.

A Figura 10 ilustra um exemplo de Gráfico de Balanceamento de Operadores desbalanceado, em uma linha de cinco operações e quatro operadores, representados no eixo x, enquanto o eixo y apresenta o tempo em segundos. É possível identificar de forma visual que há duas operações que se encaixam nos casos citados no parágrafo anterior: a operação E

tem um tempo de ciclo acima do *takt time* e a operação B tem um tempo de ciclo muito abaixo do *takt time*.

Figura 10 - Exemplo de GBO.



Fonte: Tapping *et al.* (2002)

Para realizar o balanceamento de linha, é necessário identificar os elementos de trabalho necessários para fazer um item (um produto ou serviço). Rother e Harris (2002) definem que um elemento de trabalho é o menor incremento de trabalho que pode ser transferido para outra pessoa, como por exemplo pegar um tubo e colocá-lo na bancada. Para identificar os elementos, é preciso olhar detalhadamente para o processo e verificar todas as pequenas tarefas desempenhadas pelos operadores.

Na sequência, os tempos necessários de execução das tarefas precisam ser cronometrados e registrados, para depois realizar a construção do gráfico. O exemplo da Figura 10 acima ilustra apenas o tempo de ciclo total de cada operação, mas é importante salientar que o GBO pode ser adaptado de acordo com a situação e o nível de detalhamento de visão que o realizador do projeto busca ter. Também é necessário avaliar os tempos de atividade de máquinas, caso existam.

Com o gráfico montado, o primeiro passo é eliminar as atividades que não agregam valor (NAV) e reduzir o tempo das atividades que não agregam valor mas são necessárias (NAVN). Se possível e necessário, o arranjo físico do local pode ser modificado para otimizar o fluxo dos materiais, produtos e operadores, além de outras melhorias que possam surgir para facilitar a readequação da linha (ROTHER; HARRIS, 2002).

Por fim, faz-se o balanceamento através da distribuição de trabalho. Existe uma gama de possibilidades para realizar a alocação de trabalho, e os responsáveis pela linha escolhem a forma que mais faz sentido para ela. Ohno (1978) destaca que, como o Sistema Toyota de Produção revela o excesso de trabalhadores após a eliminação dos desperdícios, algumas pessoas suspeitam de que se trata de um mecanismo para demitir operadores, mas essa não é a ideia. Operadores que antes estavam ociosos devido ao excesso de mão de obra, agora podem usar seu tempo de forma mais útil e valiosa em outras atividades da organização.

2.2 PRODUÇÃO *HIGH VARIETY LOW VOLUME* (HVLV)

Os sistemas de manufatura podem ser orientados para o processo, chamados de produção contínua, ou orientados para o produto, conhecidos como manufatura discreta. A discreta é categorizada, ainda, de acordo com o volume produzido pela indústria em questão, podendo ser baixo, médio ou alto. Além disso, a gama de produtos dessa determinada indústria pode conter muitos itens diferentes uns dos outros, resultando assim em uma alta variedade (HAIDER; MIRZA, 2015).

O objetivo de uma produção de alta variedade e baixo volume é a sua flexibilidade e capacidade de fabricar produtos diferentes em um mesmo chão de fábrica, por meio de roteamentos alternativos (BERTOLINI; ROMAGNOLI; ZAMMORI, 2017). A produção HVLV, de acordo com Jina, Bhattacharya e Walton (1997), caracteriza-se por:

- a) Uma grande variedade de produtos que são, muitas vezes, personalizados, enquanto há baixo volume total de produtos sendo produzidos;
- b) Uma política de produção MTO (*make to order* – produção sob encomenda) com prazos de entrega garantidos;
- c) Uma instalação de manufatura que precisa satisfazer a necessidade de variados segmentos de clientes;
- d) Um nível de integração vertical que varia de muito baixo a muito alto.

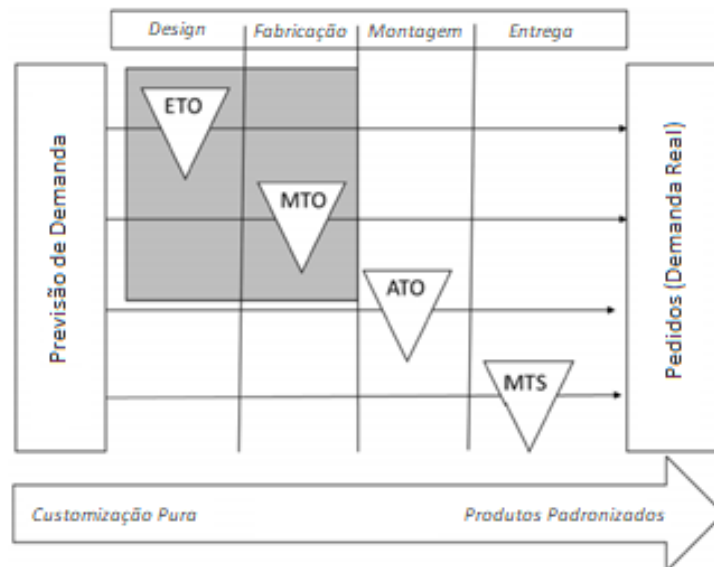
A integração vertical acontece quando uma empresa passa a atuar em mais de uma etapa no processo produtivo em que faz parte, em busca de expansão para explorar ao máximo o seu negócio e assim obter maior competitividade (PROPÉRCIO, 2015).

As empresas HVLV podem se encaixar em um determinado nível de integração vertical, ou abranger em seu portfólio de produtos os dois extremos: produtos de alto nível de integração vertical para ter maior controle da exclusividade e variedade das opções, e

produtos com baixo nível de integração vertical por conta da dificuldade em manter controle de tecnologias complexas e altos investimentos em determinados produtos, como aviões, por exemplo (JINA; BHATTACHARYA; WALTON, 1997).

Quanto à política de produção, Wikner e Rudberg (2005) acrescentam que os sistemas HVLV também podem funcionar na forma ETO (*engineer to order* - engenharia sob encomenda). Isso depende do ponto onde o pedido do cliente se infiltra na cadeia de valor, dependendo do grau de personalização oferecido pela organização. A Figura 11 mostra quatro etapas produtivas: *design*, fabricação, montagem e entrega, e em qual dessas etapas o cliente se infiltra na cadeia – o ponto de desacoplamento, para as produções ETO e MTO, já citadas, bem como ATO (*assembly to order* - montagem sob encomenda) e MTS (*make to stock* - produção para estoque), destacando em cinza onde comumente se localizam os sistemas de alta variedade e baixo volume.

Figura 11 - Caracterização do HVLV com o ponto de desacoplamento do pedido do cliente.

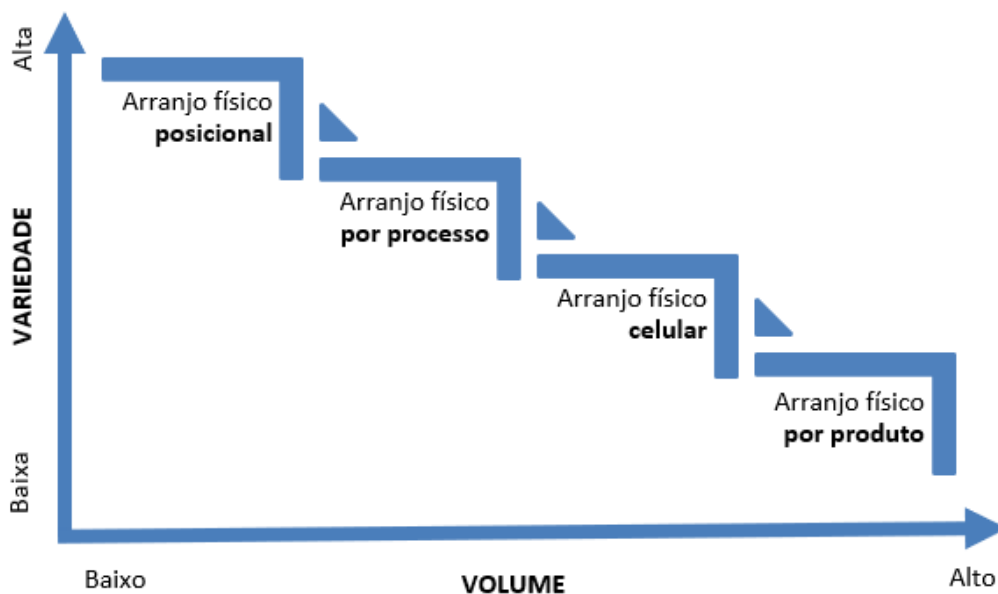


Fonte: Katic e Agarwal (2018)

Conforme Jina, Bhattacharya e Walton (1997), as produções comuns, de alto volume e baixa variedade, conseguem amortecer o impacto da variabilidade de entradas no sistema através do desacoplamento entre a cadeia de suprimentos interna e externa, com um estoque final. As organizações HVLV não podem adotar essa política, devido à sua natureza de produção sob encomenda. Isso permite concluir que qualquer mudança no planejamento da produção gera um impacto significativamente maior em ambientes de alta variedade do que geraria em uma produção de alto volume.

Um ambiente de manufatura de baixo volume e alta variedade de produção requer força de trabalho qualificada e versátil. Alto nível de automação e especialização em alguma tarefa específica não são suportadas nesse tipo de produção (HAIDER; MIRZA, 2015). Ainda, Lane (2016) explica que nesses ambientes produtivos, o foco é no processo e não no produto. A variedade de produtos é muito grande e o processo precisa ser preparado para receber toda essa diversidade e conseguir lidar com seus desafios particulares. Com isso, analisando a Figura 12, nota-se que o *layout* funcional – também conhecido como *job shop* – é um dos mais utilizados para ambientes HVLV, quando o *layout* fixo não faz sentido para a situação.

Figura 12 - Arranjo físico de acordo com volume e variedade.



Fonte: adaptado de Slack *et al.* (2009)

Ramalingam (2008) acrescenta que o ambiente de manufatura HVLV é conhecido por grande complexidade operacional, devido às condições de mix de produtos e instabilidade de volumes de pedidos em que opera. Essa complexidade gera dificuldade em manter um trabalho padronizado, o que acarreta em muitos desafios que impactam nos resultados dos processos.

Jina, Bhattacharya e Walton (1997) também apresentam o conceito de turbulência: a variabilidade e incerteza dos insumos resulta em um comportamento na produção, que faz com que o sistema experimente grande imprevisibilidade enquanto busca alcançar os resultados esperados. A turbulência pode acontecer por mudanças relacionadas ao cronograma

de entregas, ao *mix* de produtos, ao volume de produção ou ao *design* dos produtos. Esse comportamento é vivenciado muito mais em ambientes HVLV do que em ambientes produtivos típicos.

2.3 LEAN APLICADO NA PRODUÇÃO HIGH VARIETY LOW VOLUME

Como citado, a complexidade do HVLV causa dificuldade de padronização das atividades. Com isso, há falta de clareza e compreensão do processo, o que pode dificultar a implementação do *Lean Manufacturing* nesses sistemas. Em termos mais práticos, Lane (2013) também cita a dificuldade de definir alguns fatores, como o *takt time* e o processo puxador (processo onde se inicia a produção puxada; é ele quem dita o ritmo da produção de acordo com o ritmo do cliente, o *takt time*) em linhas de alta variedade e baixo volume.

O Quadro 2 apresenta uma tabela com a comparação entre as características de uma planta enxuta típica e uma planta HVLV, ilustrando que as grandes diferenças realmente geram desafios.

Quadro 2 - Comparação entre planta *Lean* típica e planta HVLV.

Característica	Planta <i>Lean</i> típica	Planta HVLV
Volume anual típico	De 100.000 a 1.000.000+ unidades por ano.	De 20-500 e 5.000-20.000 unidades por ano.
Variedade e complexidade dos produtos	Médio, sem produtos sob medida. Produtos personalizados são separados em plantas dedicadas.	Muito alta. Embora produtos personalizados sejam feitos, tudo é manufaturado na mesma planta.
Grau de integração vertical	Médio e decrescente.	Pode ser baixo, médio ou alto - a natureza especializada dos produtos frequentemente inibe qualquer aumento ou diminuição.
Sistemas de planejamento de manufatura	Estabilizado por um grau de MTS e principalmente ATO.	Baixo volume e MTO.

Fonte: adaptado de Jina, Bhattacharya e Walton (1997)

Apesar das dificuldades enfrentadas, sabe-se que os princípios do *Lean Manufacturing* geram benefícios nas mais variadas organizações e podem ser adaptados de

acordo com as necessidades. Ohno (1978) cita que as melhorias nas fábricas da Toyota são feitas com base nas necessidades, e que isso vai de acordo com a famosa frase do filósofo Platão: “a necessidade é a mãe da invenção”. Assim, faz-se importante a adequação da filosofia *Lean* para gerar ganhos em produções de alta variedade e baixo volume também.

Para que a implementação do pensamento *Lean* obtenha sucesso em um sistema diferente de onde ele foi criado, com processos simplificados, é necessário que os conceitos sejam corretamente ajustados e as ferramentas certas sejam escolhidas. Com esses fatores, a implementação *Lean* no HVLV pode garantir enormes melhorias no sistema produtivo, gerar grande vantagem competitiva e benefícios econômicos que recompensam os esforços da implementação (RAMALINGAM, 2008). Jina, Bhattacharya e Walton (1997) citam que o objetivo da manufatura enxuta em ambientes HVLV é amortecer ou eliminar a turbulência, apresentada anteriormente, no fluxo de material.

Segundo Lane (2016), há determinados fatores que justificam o motivo de produções HVLV necessitarem de um método único de implementação. Alguns deles são:

- i. O foco é no processo e não no produto;
- ii. A demanda varia significativamente;
- iii. O *lead time* varia de acordo com o *mix* de produção e o tamanho de lote;
- iv. O *takt time* precisa ser aplicado diferentemente, por causa da variedade de produtos e recursos compartilhados.

Dado que a demanda varia muito, e sabendo que a capacidade não é tão flexível a ponto de acompanhar essa variação e atender aos pedidos que chegam, uma opção muito benéfica é a polivalência dos operadores (LANE, 2016). Ter operadores polivalentes significa ter profissionais capacitados para trabalhar de forma eficiente em diversas tarefas do processo (MORAES, 2014), o que gera flexibilidade de alocação de mão de obra de acordo com a demanda que precisa ser atendida no momento.

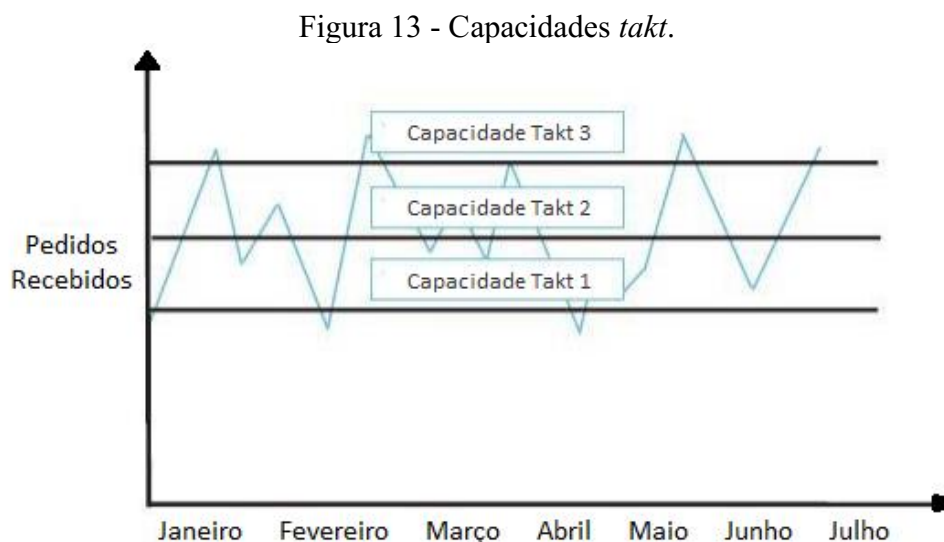
Uma técnica utilizada no *Lean Manufacturing* e que se adequa à necessidade de aumentar a flexibilidade da capacidade produtiva é o *Shojinka*. Moraes (2014) explica que o termo pode significar “adaptação à demanda mediante a flexibilidade”, o que implica em alterar o número de trabalhadores em determinada área de produção, desde que eles sejam polivalentes, reduzindo o tempo de ociosidade quando a demanda diminui e permitindo atender a demanda existente quando ela aumenta.

Para o balanceamento dos operadores, em uma produção simples de baixa variedade, os tempos de ciclo alocados em um GBO são praticamente constantes e, uma vez que o

balanceamento é feito, pode-se operar tranquilamente nessa definição. Conforme Duggan (2013), na produção HVLV é necessário criar um GBO para cada produto, pois produtos diferentes passam pelas mesmas estações de trabalho, mas não necessariamente contêm o mesmo conteúdo de trabalho para sua produção. Esse é outro fator que exalta a necessidade de haver flexibilidade na mão de obra do processo.

Quanto à definição do *takt time*, quando a demanda é variável ou desconhecida, determinar um valor verdadeiro é uma tarefa difícil. O tempo de operação efetivo não muda, mas a demanda a ser atendida nesse tempo de operação é uma incógnita. Nesse caso, Duggan (2013) sugere que a abordagem de determinação do *takt time* é adaptada: ao invés de definir qual é a demanda do cliente, cria-se uma capacidade *takt*, ou seja, uma medida de quanto a empresa é capaz de produzir em termos de volume e *mix*. Por exemplo, uma fábrica tem a capacidade de produzir 400 peças por dia (volume), sendo esse conteúdo composto por no máximo 10 variedades de peças (*mix*).

Devido à volatilidade da demanda, é necessário, ainda, estabelecer mais de uma capacidade *takt*, conforme ilustrado na Figura 13. A quantidade de capacidades *takt* depende do fluxo de valor. Se a demanda aumenta ou diminui a ponto de exigir uma mudança física no fluxo de valor, uma nova capacidade *takt* é configurada para esse novo fluxo de valor (DUGGAN, 2013).



Fonte: Duggan (2013)

Algumas considerações quanto à aplicação do *Lean Manufacturing* em ambientes HVLV foram apresentadas, mas o ponto principal a ser entendido é que se a adaptação das

técnicas for feita de forma correta, seguindo sempre os princípios da filosofia por trás dessas ferramentas e garantindo o apoio total da liderança nessa jornada, os benefícios da implementação *Lean* podem aparecer mais rápido do que se imagina.

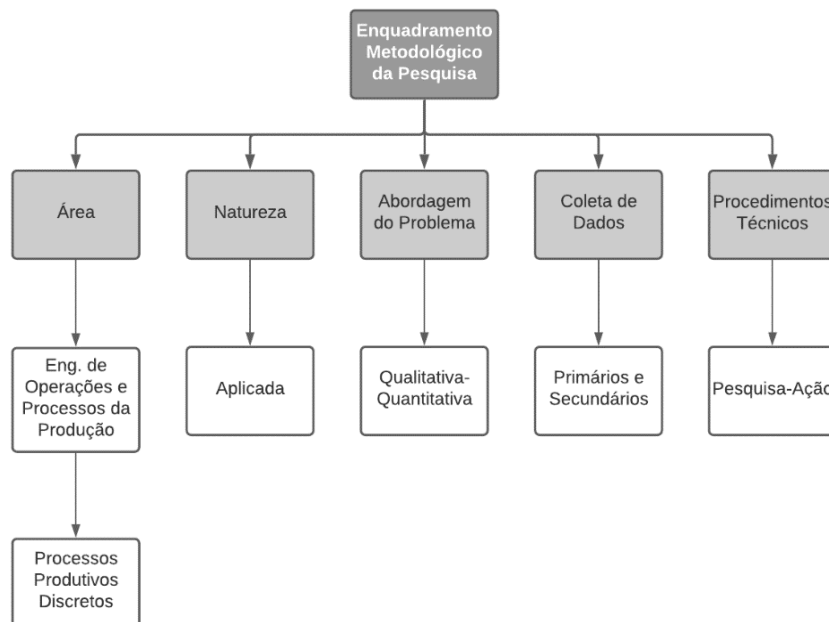
3 METODOLOGIA

Nesse capítulo são apresentadas as questões metodológicas que sustentam o trabalho. Inicialmente, é realizado o enquadramento metodológico do estudo em termos de área, natureza, abordagem do problema, tipo de coleta de dados e procedimentos técnicos. Então, é apresentada a caracterização da pesquisa-ação e são descritas as etapas que a compõem.

3.1 ENQUADRAMENTO METODOLÓGICO

Existem inúmeras metodologias que podem ser escolhidas para a execução de uma pesquisa científica. O enquadramento de uma pesquisa em uma metodologia dá sustentação ao trabalho através de um alinhamento entre as etapas e permite aos leitores identificar sob qual ótica a pesquisa foi realizada. A Figura 14 apresenta o enquadramento metodológico desta pesquisa, o qual será explanado a seguir, e foi formulado baseado no enquadramento proposto por Lacerda, Ensslin e Ensslin (2012).

Figura 14 - Enquadramento metodológico da pesquisa.



Fonte: elaborado pela autora.

Sendo um trabalho de conclusão de curso em Engenharia de Produção, a primeira definição foi em qual área e subárea da ABEPRO a pesquisa se encaixa. A área definida é a número 1, “engenharia de operações e processos da produção: projetos, operações e melhorias

dos sistemas que criam e entregam os produtos (bens ou serviços) primários da empresa”. Para dar maior especificidade, a subárea selecionada é a 1.5, “processos produtivos discretos e contínuos: procedimentos, métodos e sequências”, sendo que esse trabalho atua em processos produtivos discretos.

Quanto à natureza da pesquisa, Fantinato (2015) sugere a classificação entre básica e aplicada. Esse trabalho se encaixa na natureza aplicada porque seus objetivos envolvem a geração de conhecimentos para a aplicação prática, e se dirigem à solução de alguns problemas específicos.

A abordagem do problema será tanto quantitativa quanto qualitativa. Os principais dados utilizados serão qualitativos, como os tempos coletados, que serão explicados no tópico 3.2.2, mas também existem fatores quantitativos que serão levados em consideração, como as conversas realizadas com os operadores e o *layout*.

Com relação à coleta de dados para a pesquisa, Mattar (2005) indica que os dados primários são aqueles que não foram coletados ainda, e são pesquisados para atender necessidades específicas daquele projeto em andamento, enquanto que dados secundários são aqueles que foram coletados previamente. Esse trabalho utiliza os dois tipos de coleta de dados, porque os dados primários não foram suficientes para a robustez do estudo, como será explanado no tópico 3.2.3.

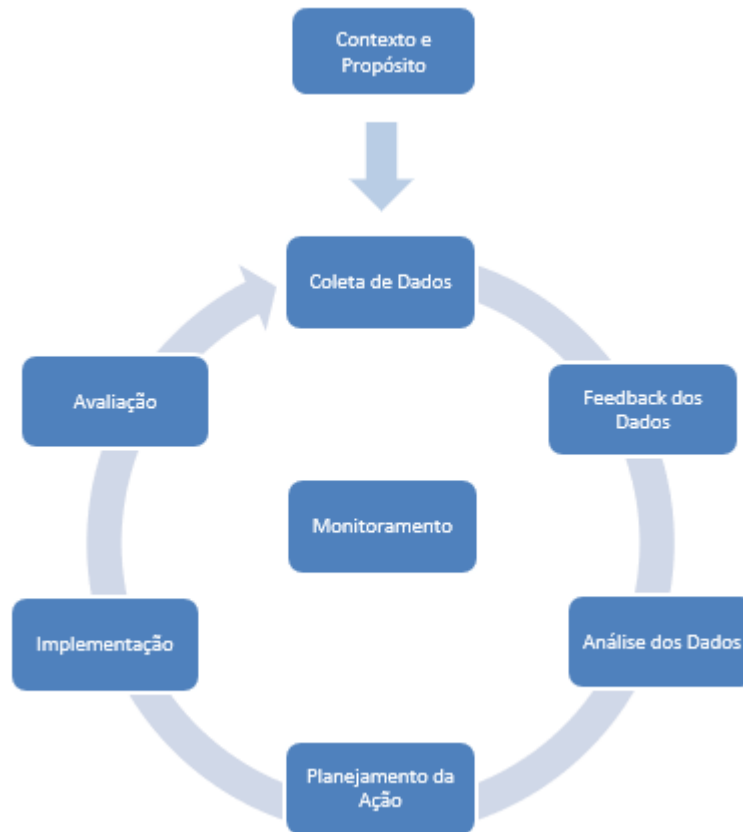
Por fim, os procedimentos técnicos do presente trabalho se identificam com a abordagem de pesquisa-ação. A pesquisa-ação indica uma associação entre a teoria e a prática, onde o pesquisador se envolve de forma participativa em uma sequência de eventos para resolução de problemas, e o objetivo é gerar conhecimento através dos resultados dos dois âmbitos: pesquisa e ação (COUGHLAN; COGHLAN, 2005).

3.2 ETAPAS DA PESQUISA-AÇÃO

A pesquisa-ação é iniciada com uma fase preliminar, onde o problema é identificado e seu contexto e propósito servem de inputs para a próxima fase. Esta segunda fase, por sua vez, se dá através de seis passos: coleta de dados, feedback dos dados, análise dos dados, planejamento da ação, implementação e avaliação. Coughlan e Coughlan (2005) explicam que esses passos funcionam como um ciclo, onde ao fim de cada ciclo avalia-se o que foi adquirido com ele, através do monitoramento constante, e novos dados podem ser coletados

para dar início a um novo ciclo, garantindo assim a aprendizagem contínua. Um diagrama representativo de todas as etapas de uma pesquisa-ação pode ser visto na Figura 15.

Figura 15 - Ciclo da pesquisa-ação.



Fonte: adaptado de Coughlan e Coughlan, 2005.

As etapas da pesquisa-ação desse trabalho serão destrinchadas a seguir.

3.2.1 Contexto e Propósito

No capítulo 1, foi contextualizado o cenário em que esse trabalho se aplica, bem como a definição do problema que será tratado nas etapas da pesquisa-ação e a justificativa de sua relevância, demonstrando qual é o propósito final desse trabalho através dos objetivos definidos. No capítulo 2, foi realizado um embasamento teórico com relação à filosofia que guiará as análises e decisões da pesquisa-ação, e também quanto às suas ferramentas adaptadas para o cenário do presente trabalho.

3.2.2 Coleta de Dados

Para entender melhor as necessidades do setor, o primeiro passo na elaboração do trabalho foi a análise do estado atual identificando as etapas do processo produtivo e a disposição do *layout*. O processo foi compreendido através do acompanhamento do trabalho dos operadores e do auxílio dos mesmos, enquanto o *layout* foi coletado de forma visual e com o suporte de um material disponibilizado pela empresa. Além disso, houveram discussões com os líderes e operadores da montagem, para coletar suas expectativas e angústias com relação a como o trabalho é feito.

Tendo maior conhecimento sobre o processo produtivo, iniciou-se a etapa de coleta de tempos das atividades realizadas pelos operadores através da cronometragem, a qual aconteceu com o auxílio de um cronômetro e uma prancheta com folhas para as anotações. Devido ao ritmo de trabalho da montagem, não foi necessário realizar filmagens para conseguir coletar os dados, o processo de registro de tempos ocorreu simultaneamente ao trabalho dos operadores. Os tempos foram coletados em todos os postos de trabalho, identificando cada atividade realizada por cada operador.

Ainda, ao longo do estudo, de forma natural, os desperdícios existentes no setor foram identificados e registrados em uma planilha para, posteriormente, servirem de insumo para o planejamento da ação. Ainda, a movimentação dos operadores foi observada como o maior desperdício existente no setor, porque os próprios operadores são responsáveis por buscar no supermercado o material necessário para a montagem que vão realizar. Para ilustrar essa movimentação, ela foi registrada através de um diagrama de espaguete.

3.2.3 Feedback dos Dados

Após todo o tempo de trabalho destinado para a coleta de dados, observou-se que não haviam dados suficientes para fundamentar a próxima etapa de análise dos dados. Isso aconteceu devido à altíssima variedade de produtos montados nesse setor e a baixa repetição de produtos alocados no cronograma de produção. Como a empresa não pôde adaptar a produção para acompanhar o desenvolvimento do estudo, houve uma grande dificuldade de conseguir coletar os tempos de uma amostra variada de produtos passando por todos os postos de trabalho.

Com essas dificuldades encontradas, foram consideradas duas premissas a partir de então:

i. Os tempos coletados serão considerados iguais para produtos que são da mesma família, pois são bastante similares em sua composição;

ii. Para aquelas etapas que não foi possível coletar o tempo de montagem, nem mesmo para um produto similar, serão utilizados os dados de tempos registrados no sistema da empresa.

Os dados desse sistema não foram utilizados desde o início da coleta de dados porque estão, em sua grande maioria, desatualizados, o que gerou a necessidade de realizar a cronometragem para obter maior fidelidade nos dados.

3.2.4 Análise dos Dados

Para analisar os dados de tempos obtidos anteriormente, foi utilizada uma planilha de Excel. Os *inputs* para a planilha foram todas as atividades envolvidas na montagem dos produtos, com a média das coletas dos seus respectivos tempos. Os *outputs* da planilha, por sua vez, são gráficos de balanceamento de operadores (GBOs) para cada produto, elaborados manualmente.

Considerando que o maior desperdício é a movimentação dos operadores pela busca de materiais para realizar a montagem, a classificação das atividades elencadas nos GBOs em agregação ou não de valor foi feita em um olhar macro, da seguinte forma:

i. Todas as atividades de processamento são alocadas como atividades que agregam valor (AV);

ii. Todas as atividades que não são de processamento são alocadas como atividades que não agregam valor mas são necessárias (NAVN), visto que representam a busca pelo material e a organização do posto de trabalho para poder ocorrer a montagem;

iii. Demais atividades que podem ser eliminadas foram registradas como atividades que não agregam valor (NAV).

Tendo todas essas informações em gráficos, identificou-se a possibilidade de trocar a função de um operador da montagem. A proposta é que esse operador deixe de realizar as tarefas de agregação de valor, como os outros operadores, e passe a ser o único responsável por todas as atividades que não agregam valor e são necessárias, as quais estão distribuídas por todos os operadores no estado atual, causando baixa produtividade. Dessa forma, a célula

que funciona com 4 operadores, trabalhará com 3 operadores e 1 extra, chamado de abastecedor de célula.

Utilizando um cálculo de produtividade, foram realizadas algumas simulações com esse cenário proposto, e os resultados se mostraram positivos. Com esses resultados, a proposta do estudo foi identificada como viável e foi apresentada aos representantes da alta gestão da planta fabril, os quais aprovaram a implementação.

É importante destacar que os desperdícios identificados que não se encaixam diretamente na ação principal do trabalho, foram registrados em um plano de ação no formato 5W2H, para que possam ser implementados aos poucos. A implementação dessas ações não foi o foco da próxima etapa, mas o que foi possível para o momento foi colocado em prática, e as demais ações foram deixadas para a empresa como sugestões de melhorias.

3.2.5 Planejamento da Ação

Definida a implementação de um abastecedor de célula para a montagem, e dada a existência de um operador com essa mesma função em outro setor de montagem da planta, foi realizado um *benchmarking* diretamente com esse abastecedor, com o acompanhamento das suas tarefas em dois dias diferentes, no intuito de vivenciar como é seu dia de trabalho e entender seu ponto de vista quanto ao papel desempenhado. Além disso, foi feito um levantamento das tarefas classificadas anteriormente como NAVN (não agregam valor mas são necessárias), para que elas sejam destinadas ao operador na função de abastecedor.

Em seguida, os operadores da montagem participaram de uma reunião de alinhamento com a autora desse trabalho e seus gestores, para entenderem as futuras mudanças que irão ocorrer e como isso impacta o dia a dia deles, além da definição do operador que vai trocar de função e se tornar abastecedor de célula. *Feedbacks* do ponto de vista desses operadores também foram coletados, não só nessa reunião, mas sim constantemente, para entender como esse estudo poderia auxiliar na qualidade da jornada de trabalho dos mesmos.

Tendo a equipe toda alinhada, foi realizado um dia de teste dessa nova configuração da montagem, onde o abastecedor de célula realizou seu trabalho com o acompanhamento da autora do trabalho. A realização de um teste permite a coleta de ajustes necessários para que a função ocorra conforme o esperado. Alguns ajustes foram identificados e imediatamente corrigidos para que o trabalho do abastecedor de célula seja o melhor possível, tanto para ele

quanto para os demais operadores. Com isso, o setor estava preparado para a próxima etapa: a implementação.

3.2.6 Implementação

Essa etapa iniciou com uma breve revisão, em conjunto com os operadores da montagem, das atividades que seriam executadas pelo abastecedor de célula e não mais pelos operadores de agregação de valor. Com todo o alinhamento feito, o trabalho no novo cenário se iniciou, ainda com o acompanhamento da autora do estudo, a qual auxiliou em novos ajustes que surgiram conforme as atividades aconteciam pelo setor.

3.2.7 Avaliação

Apesar do pouco tempo hábil para acompanhamento após a implementação, a autora dessa pesquisa finalizou seu trabalho na célula de montagem, composto por estudo, proposta, comprovação da viabilidade da proposta e implementação, além de sugestões de próximos passos. Após a apresentação dos resultados nessa monografia, também foram realizadas discussões comparativas entre o trabalho feito e a literatura, a qual forneceu a fundamentação teórica sobre o tema.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Nesse capítulo, são apresentadas as etapas de execução do trabalho, iniciando pela descrição da empresa e do produto. Depois, é realizado o levantamento da situação atual e sua análise, seguida pelo planejamento da situação proposta, a qual é validada e, então, apresenta-se a fase de implementação e avaliação. Essas etapas foram guiadas pelo pensamento científico de resolução de problemas, através do PDCA aplicado na metodologia A3. Conforme as etapas de análise e planejamento avançavam, a A3 era atualizada com as novas informações, até que se alcançasse sua versão final, apresentada no APÊNDICE A – A3 do trabalho. Por fim, o capítulo apresenta uma discussão sobre o que a literatura aconselha e o que foi desenvolvido no estudo.

4.1 DESCRIÇÃO DA EMPRESA E DO PRODUTO

A empresa do estudo é uma fábrica de médio porte do setor metal mecânico, localizada na região do Vale do Itajaí, em Santa Catarina, e pertence a um grupo multinacional de mais de 200 anos de história. O grupo se destaca na área de tecnologias de acionamento e controle, sendo um dos maiores especialistas no ramo, e desenvolve inovações para clientes de todo o mundo.

A planta catarinense, por sua vez, tem como seus clientes empresas majoritariamente produtoras de máquinas agrícolas, máquinas de construção civil e operações industriais. A fábrica é composta por quatro áreas industriais, chamadas de “mini fábricas”, além dos demais setores como o administrativo, logística, controle de qualidade, entre outros. O processo nas mini fábricas conta com cinco etapas principais: usinagem, retífica, polimento, montagem e embalagem, e em seu portfólio existem produtos que se alocam nas quatro formas produtivas: MTS, ATO, MTO e ETO.

Uma das quatro mini fábricas, a qual serviu como objeto de estudo dessa pesquisa, é composta por três setores de montagem, identificados aqui por nomes genéricos. A montagem A é responsável por 321 *part numbers*, a montagem B por 29 *part numbers*, e a montagem C, por sua vez, por 6 *part numbers*. Esse trabalho acontece no setor de montagem mais complexo da mini fábrica escolhida, a montagem A, devido à sua variedade de produtos. Os produtos montados são blocos de controle hidráulico para bombas, e são aplicados principalmente em tratores e máquinas de construção civil, como retroescavadeiras. A programação da produção

passa por um nivelamento, para que a célula não absorva as variações da demanda, e a montagem acontece no sistema ATO, ou seja, o pedido do cliente se infiltra na cadeia de valor diretamente no setor de montagem, e as etapas anteriores da cadeia de valor acontecem para abastecer os supermercados da mesma.

Esse setor conta com quatro operadores em cada um dos dois turnos de trabalho, sendo que cada turno trabalha durante 8,8 horas (8 horas e 48 minutos) com uma pausa de almoço de 1 hora e uma pausa de lanche de 30 minutos, que somadas totalizam 1,5 hora (1 hora e 30 minutos), resultando em 7,3 horas disponíveis para a produção. Esse trabalho tem como foco de estudo apenas o primeiro turno.

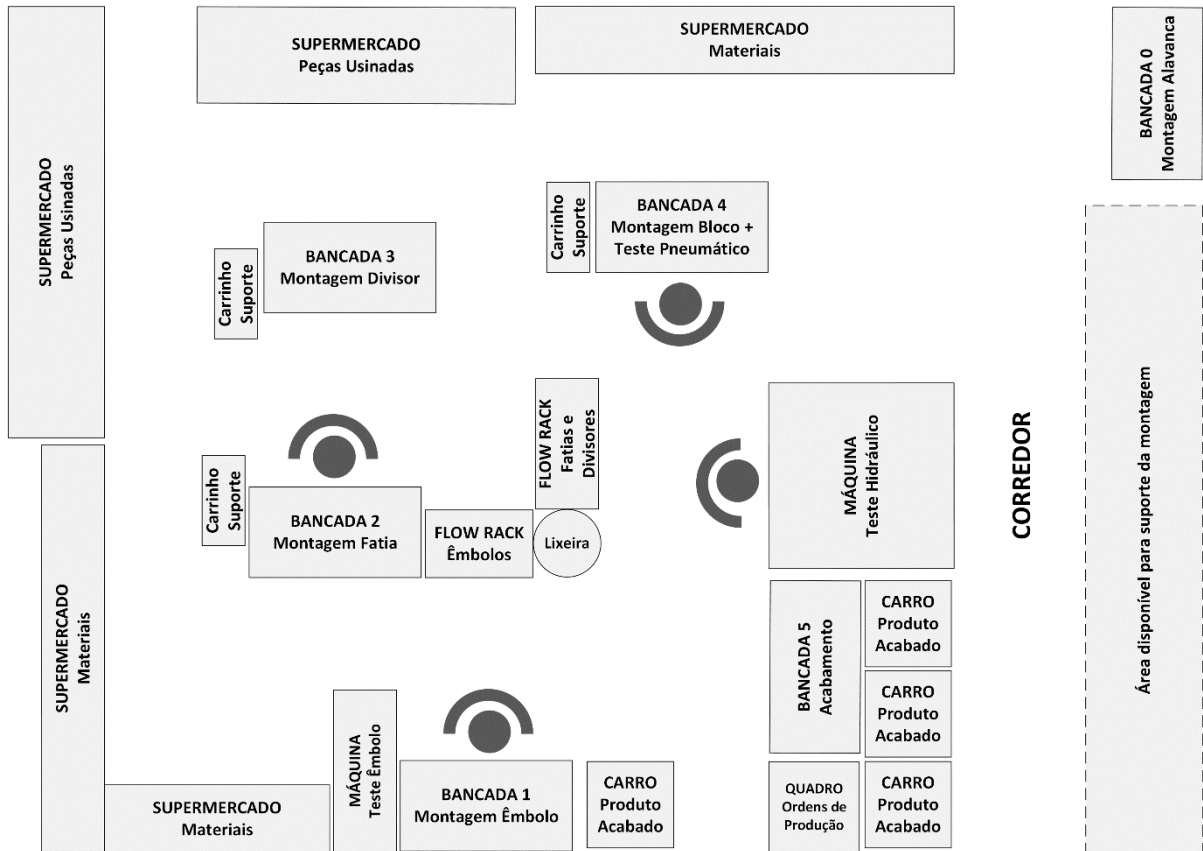
O produto, bloco hidráulico, é composto por uma placa de entrada, uma placa de saída, um ou nenhum divisor, e fatias em quantidades variáveis de acordo com o modelo requerido pelo cliente. Cada fatia contém uma válvula direcional, também chamada de êmbolo, e seu acionamento pode ser mecânico, hidráulico ou eletro-hidráulico. Alguns modelos de êmbolos contam, ainda, com uma alavanca.

A montagem do bloco hidráulico é composta por 9 etapas de trabalho manual: montagem da alavanca (apenas para alguns modelos de produtos), montagem do êmbolo, teste do êmbolo, montagem da fatia, montagem do divisor, montagem do bloco, teste pneumático, teste hidráulico e acabamento. Essas etapas serão aprofundadas no levantamento da situação atual, mas adianta-se que não são realizadas em fluxo e há estoque intermediário não dimensionado entre os postos de trabalho.

Com o entendimento de como funciona o processo e como é o produto, inicia-se a descrição do problema. Foi identificado que o setor de montagem A não está alcançando bons resultados em termos de produtividade e não está conseguindo produzir de acordo com a programação planejada, gerando atrasos na entrega dos produtos aos clientes. Entretanto, não se sabe onde estão as perdas que geram maior impacto negativo nesse cenário. Dessa forma, o presente trabalho surge como uma oportunidade de entender a situação atual da célula de montagem e melhorar os seus resultados de produtividade e capacidade de produção.

4.2 LEVANTAMENTO DA SITUAÇÃO ATUAL

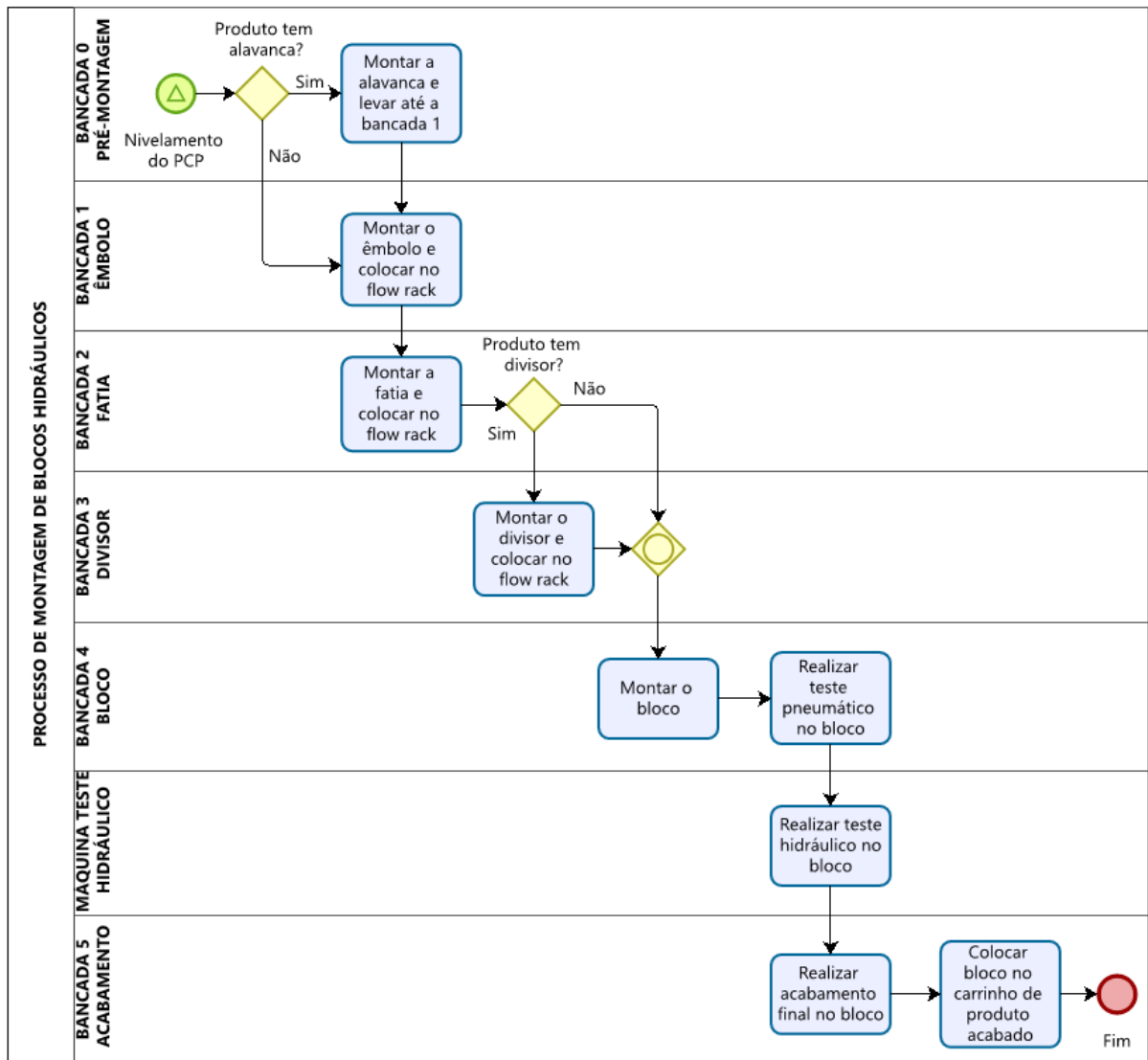
Para melhor entendimento das etapas do processo produtivo, apresenta-se inicialmente na Figura 16 o *layout* da montagem referida nessa pesquisa, bem como a alocação dos quatro operadores nos postos de trabalho.

Figura 16 - *Layout da montagem A.*

Fonte: elaborado pela autora.

Observa-se que existem mais bancadas de trabalho do que operadores, e isso se dá pelo fato de que alguns operadores são responsáveis por mais de um posto de trabalho. Cada bancada tem um bordo de linha, onde o material para a montagem é disposto, e os supermercados operam de forma puxada através do Sistema *Kanban*: cartões físicos para o supermercado de peças usinadas e eletrônicos para o supermercado de materiais. A sequência das etapas de montagem de um bloco hidráulico pode ser visualizada na Figura 17, assim como o local onde elas ocorrem dentro do setor de montagem.

Figura 17 - Fluxograma do processo da montagem A.



Fonte: elaborado pela autora.

Cada raia do processo representa um posto de trabalho, sendo que a Bancada 0 é considerada pré-montagem porque não faz parte exclusivamente dessa célula e suas peças são montadas na semana anterior à produção da célula, ficando disponíveis como um supermercado para a bancada 1 iniciar o processo de montagem. Observa-se também, que a Bancada 4 conta com dois suportes para montagem e teste pneumático do bloco, e por ter essa opção para absorver variações nas atividades manuais, os blocos prontos são transportados diretamente para a máquina de teste hidráulico, sem passar por um local intermediário (como um carrinho ou *flow rack*, por exemplo).

Antes de dar início ao levantamento de dados quantitativos, é importante explicitar que, como o tempo de processamento varia muito de bloco a bloco de acordo com a

quantidade de fatias que cada um contém, e a fatia é uma peça obrigatória em todos os modelos de blocos hidráulicos da célula, toda e qualquer análise de produção realizada na organização – como o número de itens produzidos por dia ou a demanda mensal, por exemplo – é baseada na variável fatia.

Assim, buscou-se, com o setor de PCP da empresa, a previsão de demanda anual total da montagem para o próximo ano, apresentada na Tabela 1. Para a demanda diária, como a montagem trabalha de segunda-feira à sexta-feira, foram considerados 254 dias de trabalho anualmente, após subtrair dos 365 dias do ano os fins de semana e os feriados. Sabe-se que a variação na demanda da organização é alta, mas como a empresa tem um ótimo relacionamento com os principais clientes e faz a previsão de demanda em comunicação direta com os mesmos, além da experiência advinda do histórico de produção da fábrica, o PCP garantiu que esses dados são considerados suficientemente confiáveis para a realização desse trabalho.

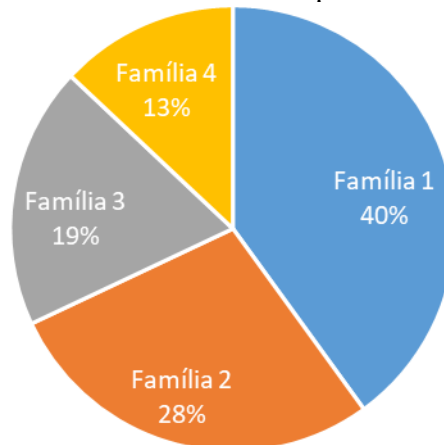
Tabela 1 - Demanda anual prevista da montagem A.

Dados		
Demanda Anual Total	45.700	fatias
Demanda Diária Total	179,92	fatias

Fonte: elaborado pela autora.

A montagem do estudo é responsável por quatro famílias de produtos. Essas famílias foram definidas pela empresa de acordo com o nível de semelhança dos produtos que as compõem, sendo a quantidade de fatias um dos principais fatores de similaridade, além do grupo de clientes de cada uma, o que indica também algumas particularidades de cada família de acordo com o destino final dos produtos. A representatividade em porcentagem de cada uma das famílias no volume de demanda total da montagem é apresentada no Gráfico 1.

Gráfico 1 - Representatividade das famílias de produtos no volume de demanda.



Fonte: elaborado pela autora.

Para encontrar os tempos de montagem dos blocos hidráulicos, foi realizada a cronometragem, conforme citado no tópico 3.2.2. desse trabalho. E para tornar essa amostragem de coleta de tempos completa, foram utilizadas as duas premissas apresentadas no tópico 3.2.3. da metodologia: considera-se que os tempos são iguais para produtos da mesma família de produtos e os dados do sistema da empresa foram usados para preencher as lacunas faltantes em etapas que não foram cronometradas.

Os dados foram coletados no *gemba* (local real onde as transformações de valor acontecem) e registrados, posteriormente, em uma planilha do Excel. Após a consolidação das amostras cronometradas e dos dados complementares do sistema, encontrou-se os tempos de ciclo e de processamento da montagem. As atividades de agregação de valor, ou seja, movimentos que compõem as etapas que transformam peças em produto acabado e testado, foram destrinchadas por posto de trabalho, e as demais atividades foram separadas em NAVN (não agregam valor mas são necessárias) e NAV (não agregam valor).

Nesse caso, as atividades NAVN dizem respeito, majoritariamente, às movimentações de *setup* entre o término da montagem de uma ordem de produção (OP) e o início de outra, com atividades como buscar material no supermercado, buscar OP na bancada de nivelamento ou em outro posto de trabalho, transportar caixas plásticas e carrinhos, entre outros. A realização das tarefas necessárias para a troca de turno também está considerada como NAVN. As atividades NAV representam movimentações diversas que não são necessárias para a montagem e podem ser eliminadas imediatamente. Os resultados dos tempos de processamento dos blocos são apresentados nas Tabelas 2, 3, 4 e 5, separados por famílias de produtos.

Tabela 2 - Tempos coletados da família 1.

	Êmbolo	Fatia	Divisor	Bloco	Teste	Acabamento	NAV	NAVN	Total
Operador 1	4,7					2,0	1,0	1,4	9,2
Operador 2		8,2	2,1				0,5	2,7	13,4
Operador 3			0,5	5,6				1,9	8,1
Operador 4					11,0	2,0		1,2	14,3
Total	4,7	8,2	2,6	5,6	11,0	4,1	1,5	7,2	45,0

Fonte: elaborado pela autora.

Tabela 3 - Tempos coletados da família 2.

	Alavanca	Êmbolo	Fatia	Bloco	Teste	Acabamento	NAV	NAVN	Total
Operador 1	7,5	5,5				3,1	0,2	4,0	20,3
Operador 2			21,2					5,7	26,9
Operador 3	7,5			11,0			0,7	3,4	22,6
Operador 4					11,6			3,0	14,6
Total	15,0	5,5	21,2	11,0	11,6	3,1	0,9	16,1	84,4

Fonte: elaborado pela autora.

Tabela 4 - Tempos coletados da família 3.

	Alavanca	Êmbolo	Fatia	Bloco	Teste	Acabamento	NAV	NAVN	Total
Operador 1	6,3	4,8				4,4	0,1	2,7	18,3
Operador 2			17,5					2,7	20,1
Operador 3	4,2			9,9			0,2	3,6	17,9
Operador 4					12,5			1,4	13,9
Total	10,6	4,8	17,5	9,9	12,5	4,4	0,3	10,4	70,3

Fonte: elaborado pela autora.

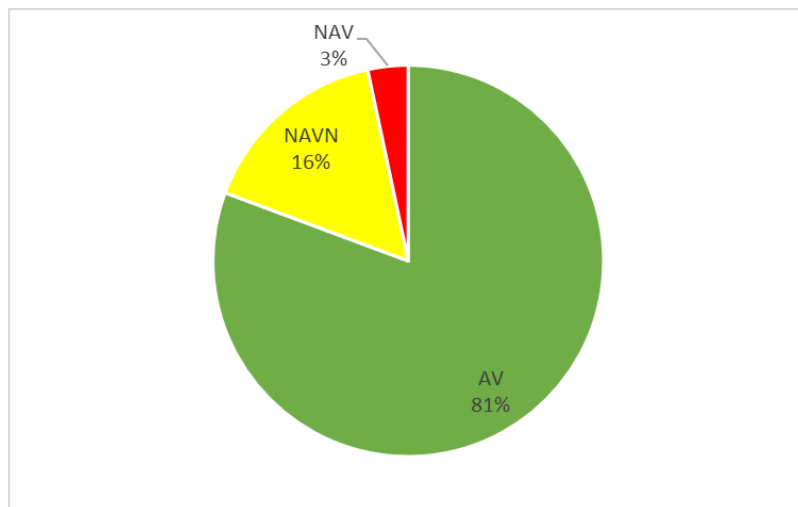
Tabela 5 - Tempos coletados da família 4.

	Êmbolo	Fatia	Divisor	Bloco	Teste	Acabamento	NAV	NAVN	Total
Operador 1	2,3					3,8		0,7	6,7
Operador 2		3,5	4,9				0,2	0,8	9,4
Operador 3				11,6			0,1	0,5	12,2
Operador 4					13,1		0,2	1,0	14,3
Total	2,3	3,5	4,9	11,6	13,1	3,8	0,5	3,0	42,6

Fonte: elaborado pela autora.

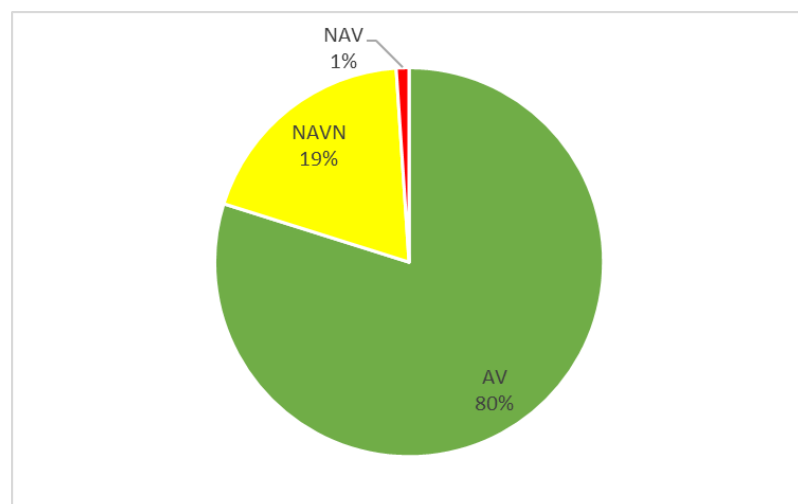
Pode-se analisar que há grande variabilidade entre os tempos de processamento dos produtos, e isso se dá principalmente pela quantidade de fatias e pelo modo de acionamento da válvula (mecânico, hidráulico ou eletro-hidráulico). Também, pode-se perceber que grande parte das atividades realizadas pelos operadores diz respeito às movimentações que não agregam valor, mas que são necessárias para que a montagem aconteça. Os Gráficos 2, 3, 4 e 5 ilustram essa porcentagem para cada família.

Gráfico 2 - Porcentagem de agregação de valor da família 1.



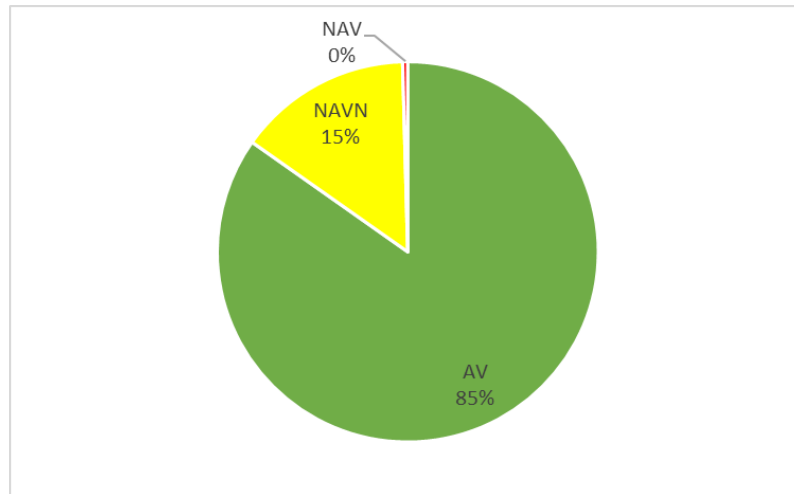
Fonte: elaborado pela autora.

Gráfico 3 - Porcentagem de agregação de valor da família 2.



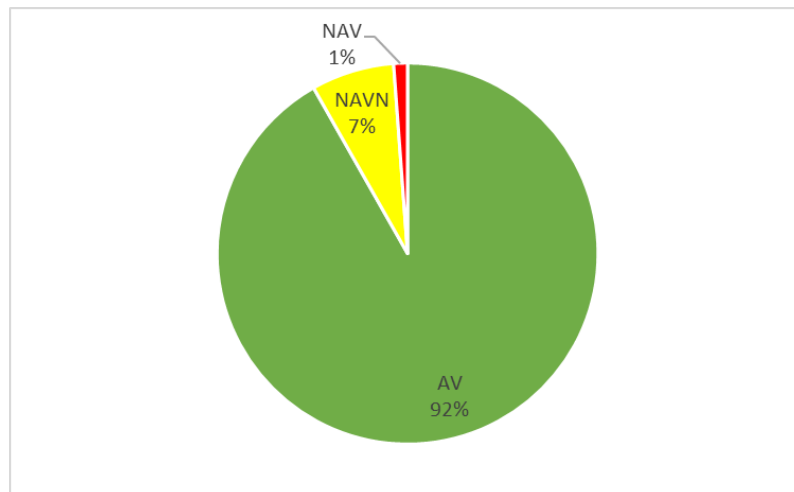
Fonte: elaborado pela autora.

Gráfico 4 - Porcentagem de agregação de valor da família 3.



Fonte: elaborado pela autora.

Gráfico 5 - Porcentagem de agregação de valor da família 4.



Fonte: elaborado pela autora.

4.3 ANÁLISE DA SITUAÇÃO ATUAL

Tendo a demanda anual total e a representatividade de cada família, foi possível calcular a demanda e o tempo disponível por turno por família de produtos, apresentada na Tabela 6. Para esses cálculos, como citado anteriormente, o tempo disponível é de 7,3 horas, ou seja, 438 minutos, e a montagem trabalha em média 254 dias anualmente. Além disso, também calculou-se o *takt time* da célula de montagem, o qual é o mesmo para todas as famílias, visto que suas variáveis de cálculo – demanda e tempo disponível – são proporcionais às representatividades das famílias no volume de demanda total.

Tabela 6 - Demanda e tempo disponível por família de produtos.

Família 1			Família 2		
Representatividade	40%		Representatividade	28%	
Demanda Diária	72,54	fatias	Demanda Diária	50,78	fatias
Demanda por Turno	36,27	fatias	Demanda por Turno	25,39	fatias
Tempo Disp. por Turno	175,20	minutos	Tempo Disp. por Turno	122,64	minutos
Takt Time	4,83	min/fatia	Takt Time	4,83	min/fatia
Família 3			Família 4		
Representatividade	19%		Representatividade	13%	
Demanda Diária	34,46	fatias	Demanda Diária	23,58	fatias
Demanda por Turno	17,23	fatias	Demanda por Turno	11,79	fatias
Tempo Disp. por Turno	83,22	minutos	Tempo Disp. por Turno	56,94	minutos
Takt Time	4,83	min/fatia	Takt Time	4,83	min/fatia

Fonte: elaborado pela autora.

Sabendo que existem desperdícios inerentes ao processo, imprevistos que causam paradas não planejadas, fadiga dos operadores, idas ao banheiro, dentre outros fatores, a organização trabalha com uma utilização de 80% do *takt time*, apresentada na Tabela 7, o que indica que há um tempo separado para absorver essas variações sem deixar de atender à demanda do cliente.

Tabela 7 - Utilização do *takt time*.

Takt Time	4,83 min/fatia
80% do Takt Time	3,86 min/fatia

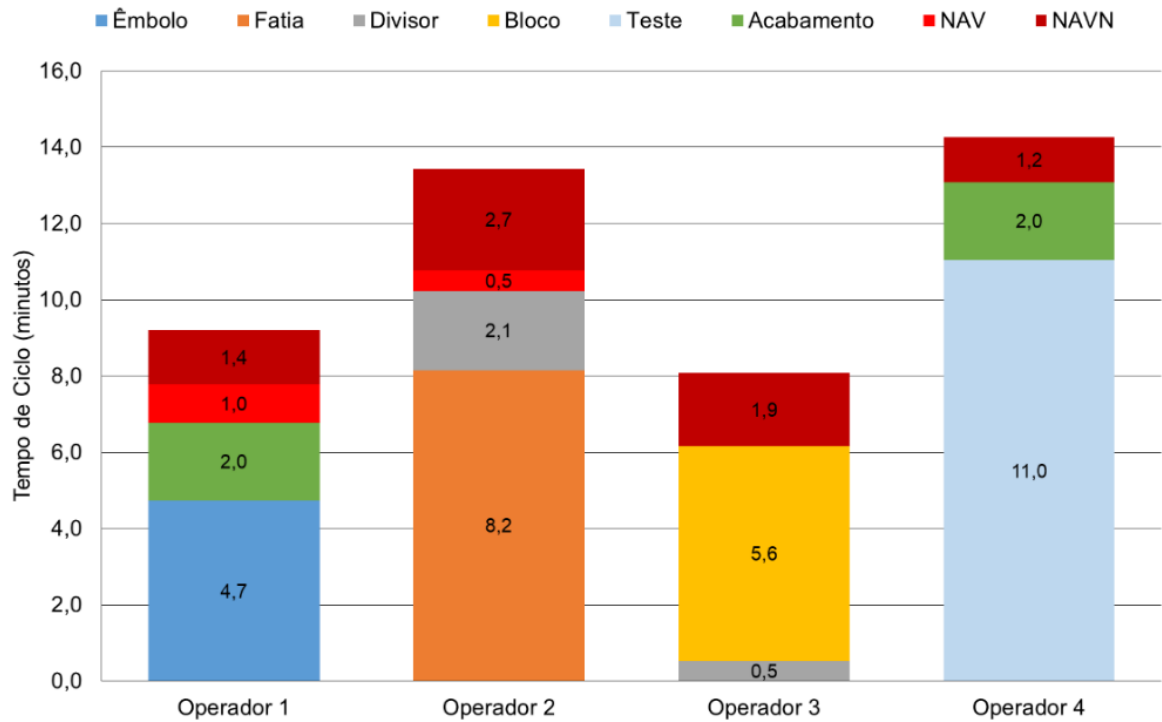
Fonte: elaborado pela autora.

Essa taxa poderia ser maior, mas optou-se por ter um alto nível de segurança devido à natureza da célula: é um processo manual, totalmente suscetível ao ritmo de cada pessoa, e contém variação no conteúdo de trabalho dos seus 321 modelos de produtos.

Para tornar mais visuais os dados coletados dos tempos de ciclo das etapas de montagem, foram elaborados os GBOs da situação atual. Eles podem ser vistos nos Gráficos 6, 7, 8 e 9, sendo um para cada família de produtos. É importante destacar que o tempo de ciclo ilustrado nos GBOs é para o bloco, não para cada fatia. Dessa forma, como a análise é realizada por fatias, também foram calculados os tempos de ciclo por fatia, onde foi dividido o maior tempo de ciclo do bloco pelo número de fatias do produto considerado. Assim, em conjunto com os gráficos apresentados abaixo, estão as Tabelas 8, 9, 10 e 11, que contêm

informações adicionais sobre o cenário atual, incluindo a capacidade quando o gargalo da célula produz durante 100% do tempo.

Gráfico 6 - GBO atual família de produtos 1.



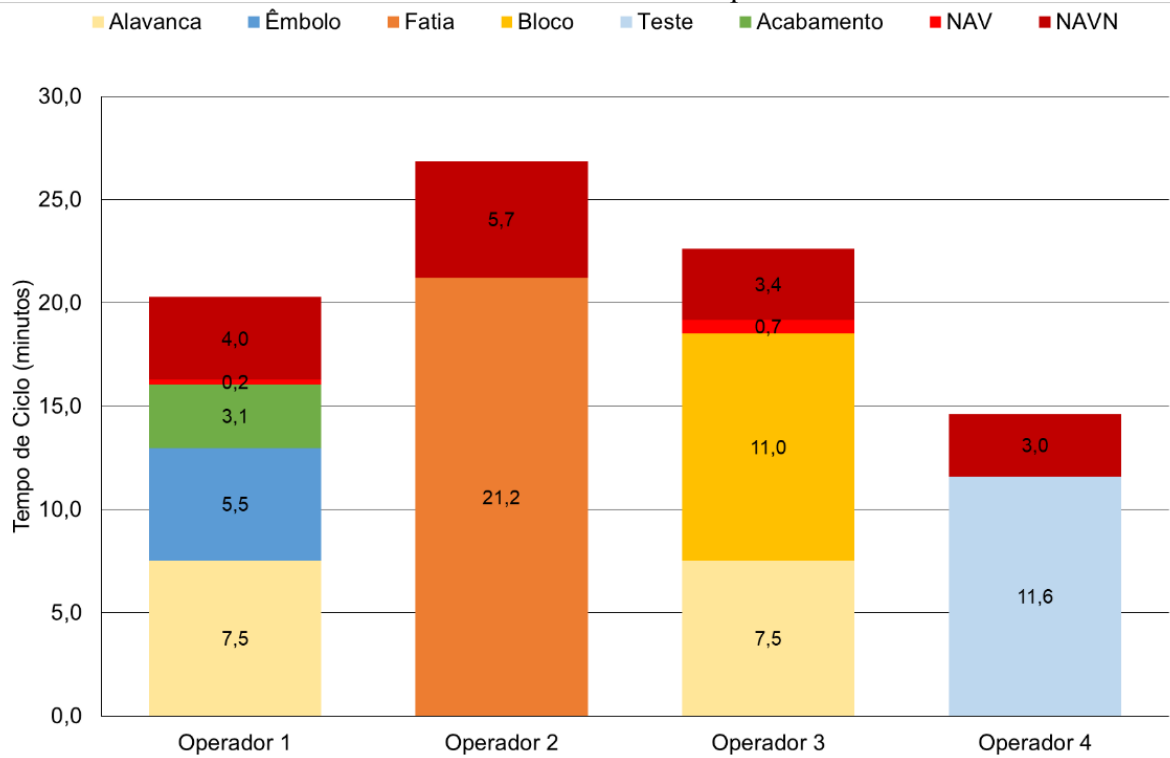
Fonte: elaborado pela autora.

Tabela 8 - Capacidade atual da família de produtos 1.

Número de fatias	3
Tempo de ciclo/fatia (mins)	4,8
Fatias/turno (100% gargalo)	36,8
Fatias/turno/operador	9,2

Fonte: elaborado pela autora.

Gráfico 7 - GBO atual família de produtos 2.



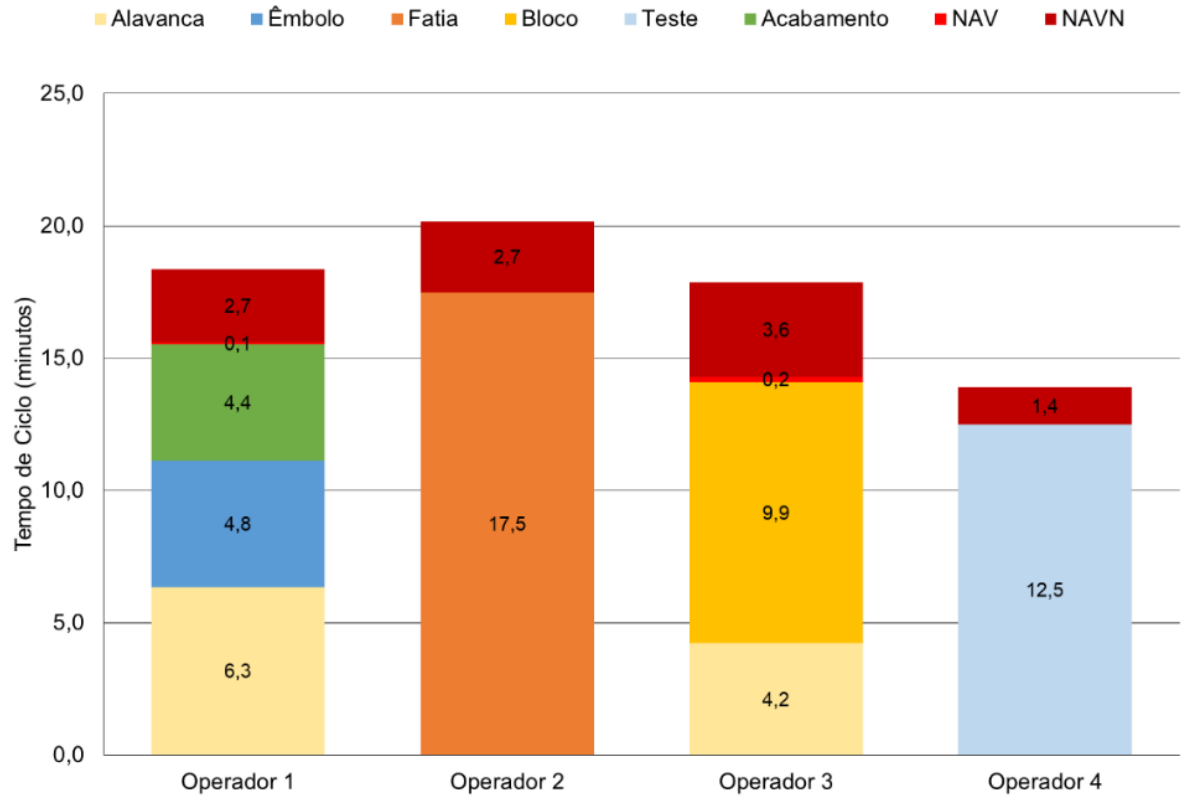
Fonte: elaborado pela autora.

Tabela 9 - Capacidade atual da família de produtos 2.

Número de fatias	8
Tempo de ciclo/fatia (mins)	3,4
Fatias/turno (100% gargalo)	36,5
Fatias/turno/operador	9,1

Fonte: elaborado pela autora.

Gráfico 8 - GBO atual família de produtos 3.



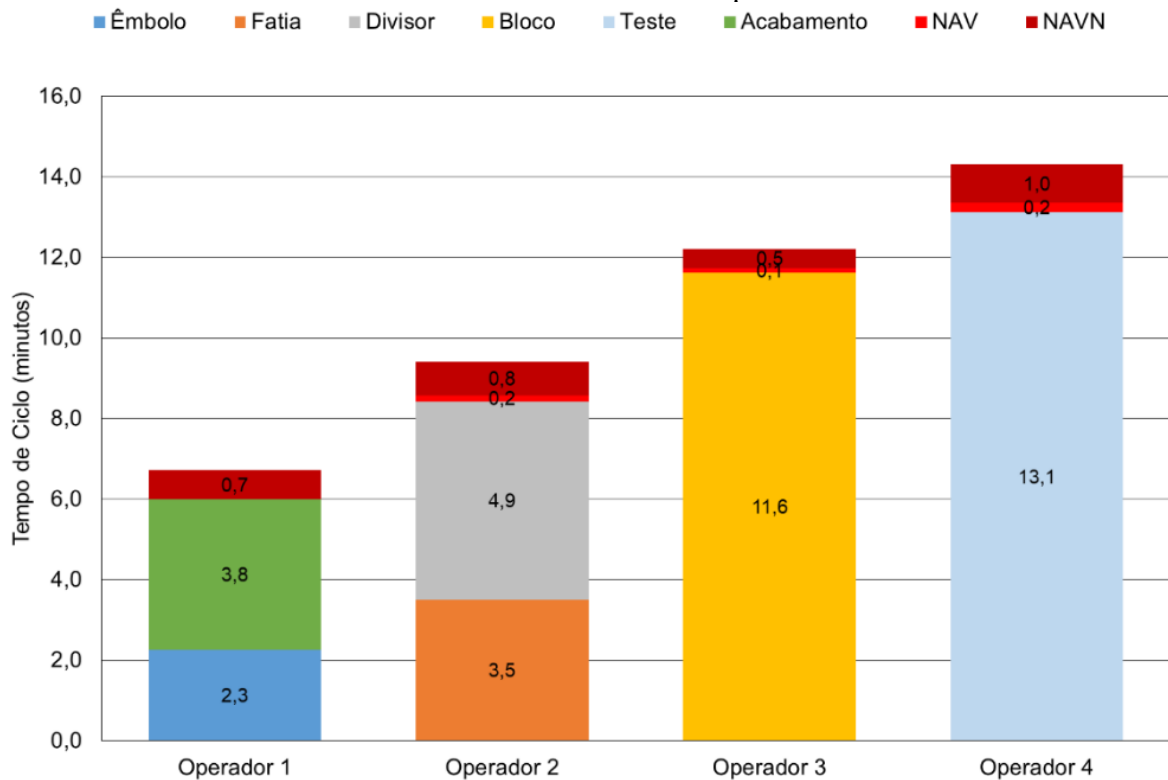
Fonte: elaborado pela autora.

Tabela 10 - Capacidade atual da família de produtos 3.

Número de fatias	7
Tempo de ciclo/fatia (mins)	2,9
Fatias/turno (100% gargalo)	28,9
Fatias/turno/operador	7,2

Fonte: elaborado pela autora.

Gráfico 9 - GBO atual família de produtos 4.



Fonte: elaborado pela autora.

Tabela 11 - Capacidade atual da família de produtos 4.

Número de fatias	2
Tempo de ciclo/fatia (mins)	7,2
Fatias/turno (100% gargalo)	8,0
Fatias/turno/operador	2,0

Fonte: elaborado pela autora.

Para facilitar a análise, na Tabela 12 é apresentado um compilado dos tempos de ciclo por fatia e a representatividade de cada família na demanda. Percebe-se que o tempo de ciclo por fatia das famílias 1 e 4 está acima da taxa de utilização de 80% do *takt time* de 3,86 min/fatia. Porém, a média ponderada, que multiplica representatividade por TC/fatia, resulta em um valor acima da utilização desejada do *takt time*.

Tabela 12 - Média ponderada dos tempos de ciclo atuais por fatia.

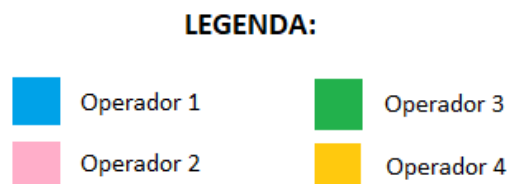
Famílias	Representatividade	TC/Fatia (min)
Família 1	40%	4,80
Família 2	28%	3,40
Família 3	19%	2,90
Família 4	13%	7,20
Média Ponderada Atual		4,36

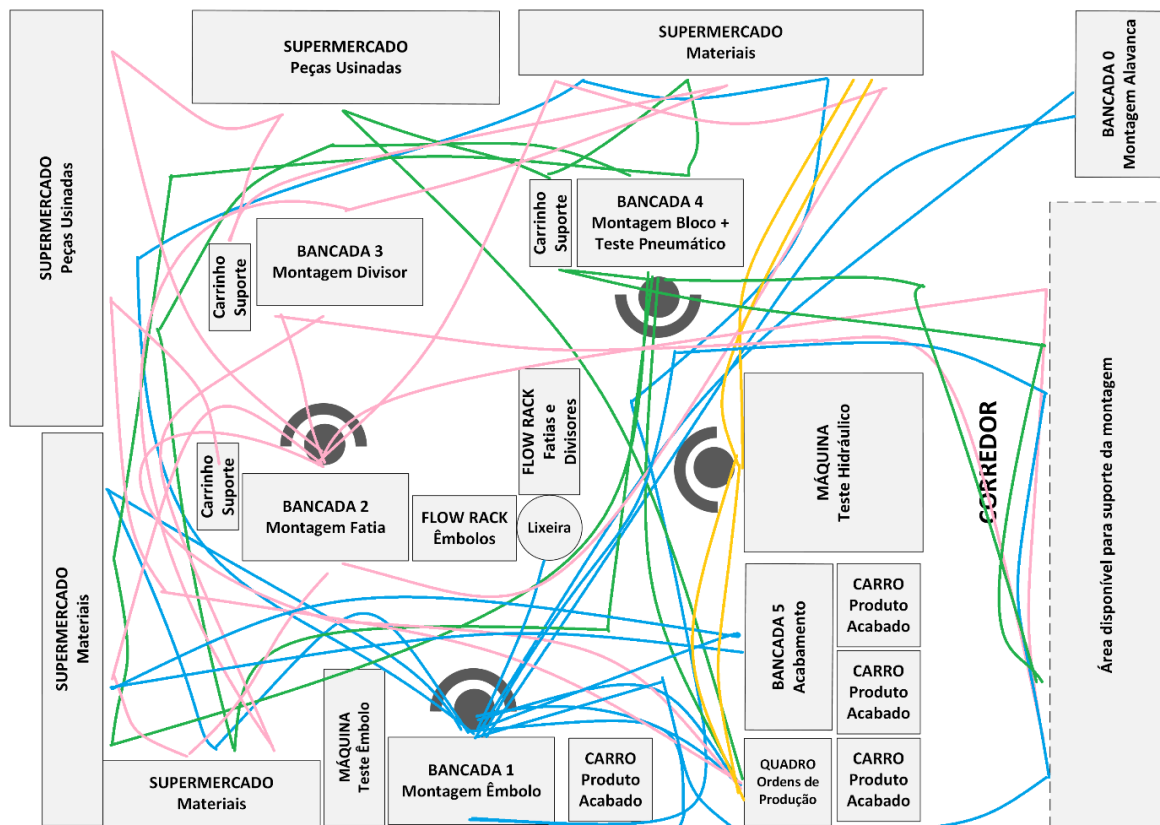
Fonte: elaborado pela autora.

Ao avaliar os gráficos apresentados, pode-se perceber que há um desbalanceamento entre os operadores da célula, além de uma considerável parte do trabalho deles ser destinada para atividades NAVN, desperdiçando assim seu tempo disponível para agregação de valor.

Dado que as atividades NAVN representam principalmente movimentação dos operadores pela célula e demais áreas da mini fábrica e transporte de materiais e outros itens, surgiu a necessidade de avaliar como realmente acontece essa locomoção. Para isso, foi elaborado um diagrama de espaguete que ilustra de forma visual a movimentação de cada operador durante um *setup*. O diagrama está representado na Figura 18.

Figura 18 - Diagrama de espaguete dos operadores e legenda.





Fonte: elaborado pela autora.

No diagrama, cada cor representa um operador, considerando que o operador da bancada 1 também abastece os materiais da bancada 5, e o operador da bancada 2 também abastece a bancada 3. Esse diagrama inclui apenas as movimentações durante o *setup* da célula. Existem outras movimentações realizadas pelos operadores que não constam nesse diagrama, pois são caminhadas para outros setores fisicamente muito distantes da célula de montagem, tornando inviável a representação em uma imagem. Essas caminhadas acontecem com menos frequência do que o *setup*, apenas em trocas de turno ou quando há algum problema de peça refugada por má qualidade ou peças indisponíveis no supermercado da célula para a OP que será produzida na sequência.

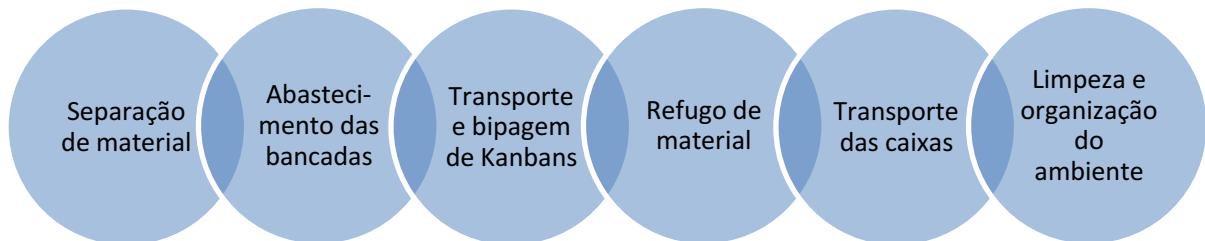
Através da representação no diagrama de espaguete, pode-se comprovar que há tempo perdido nas caminhadas realizadas pelos operadores, caracterizado principalmente como desperdício de movimentação e transporte.

4.4 PLANEJAMENTO DA SITUAÇÃO PROPOSTA

Após a análise dos dados coletados sobre a situação atual do estudo, foi concluído, em conjunto com as pessoas da empresa envolvidas como suporte na realização da pesquisa, que concentrar toda a movimentação e o transporte em um só operador poderia gerar uma grande redução de desperdícios. Isso permitiria que os demais operadores focassem todo o seu tempo nas atividades de agregação de valor, e as atividades que exigem movimentação e transporte de itens sejam otimizadas. Assim, a proposta principal do trabalho foi substituir a função de um operador da célula de montagem para a função de abastecedor de célula.

Caso implementado, esse operador é responsável por diversas atividades que foram agrupadas conforme a Figura 19, e englobam a separação dos materiais necessários para cada OP, o abastecimento desse material nas bancadas de trabalho, o transporte dos *kanbans* de peças usinadas para a usinagem, a bipagem dos *kanbans* de materiais para o almoxarifado, a destinação correta das peças refugadas na célula, o manuseio de caixas limpas e sujas, e o cuidado geral com o ambiente.

Figura 19 - Classificação das atividades do abastecedor de célula proposto.



Fonte: elaborado pela autora.

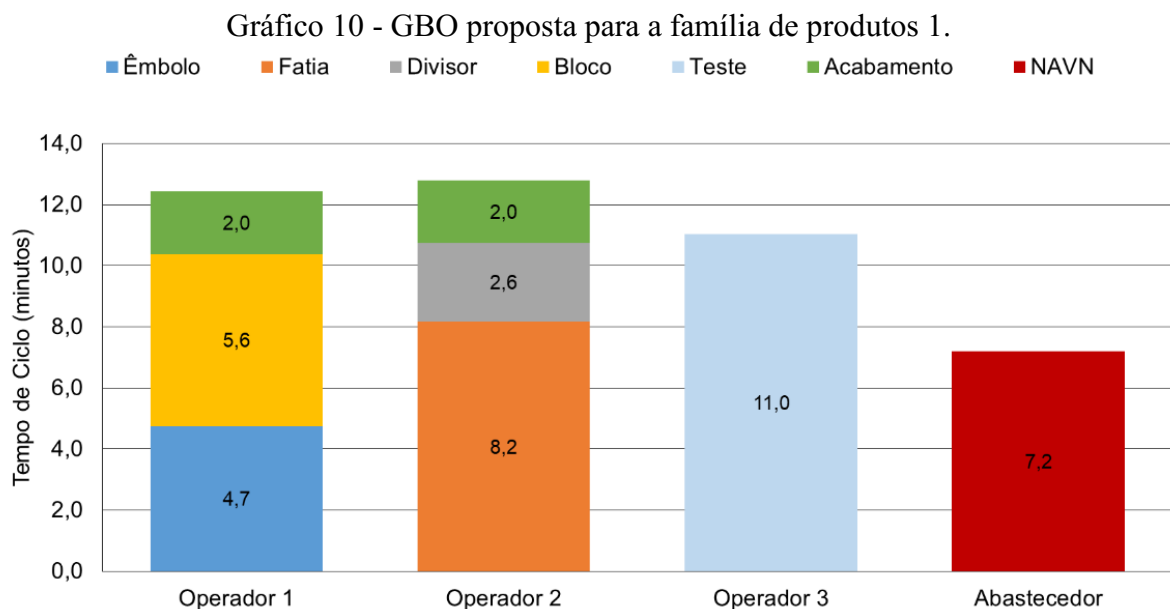
A redução de desperdícios esperada com a implementação do abastecedor de célula, pode ser destrinchada nos seguintes benefícios:

- i. Detecção antecipada de falta de material: só vai para a célula de montagem as ordens de produção que estão com todo o material disponível;
- ii. Resolução de problemas centralizada em uma pessoa só e que não opera nas bancadas de agregação de valor;
- iii. Desperdícios de movimentação e transporte focados em uma pessoa só e que não opera nas bancadas de agregação de valor;
- iv. Redução dos desperdícios de movimentação e transporte através da otimização da forma de trabalho para abastecer a célula;

- v. Eliminação de outros desperdícios encontrados;
- vi. Aumento de *output*;
- vii. Ganho de produtividade.

A expectativa dos envolvidos no estudo é que essa substituição de funções gere um ganho significativo de eficiência para o setor, dado que o cálculo de produtividade considera as horas produzidas e as horas de presença, e nesse novo cenário a célula produz mais do que antes e com um operador a menos dedicado na montagem. Porém, para que uma mudança desse nível possa ser implementada, faz-se necessário um estudo que comprove numericamente o ganho esperado.

Para isso, foi realizada uma simulação com novos GBOs considerando 1 operador na função de abastecedor de célula e apenas 3 operadores nas atividades de agregação de valor. As GBOs propostas são apresentadas nos Gráficos 10, 11, 12 e 13, em conjunto com as informações de capacidade do cenário proposto, nas Tabelas 13, 14, 15 e 16, considerando agora 3 operadores no cálculo de quantidade de fatias por turno por operador.



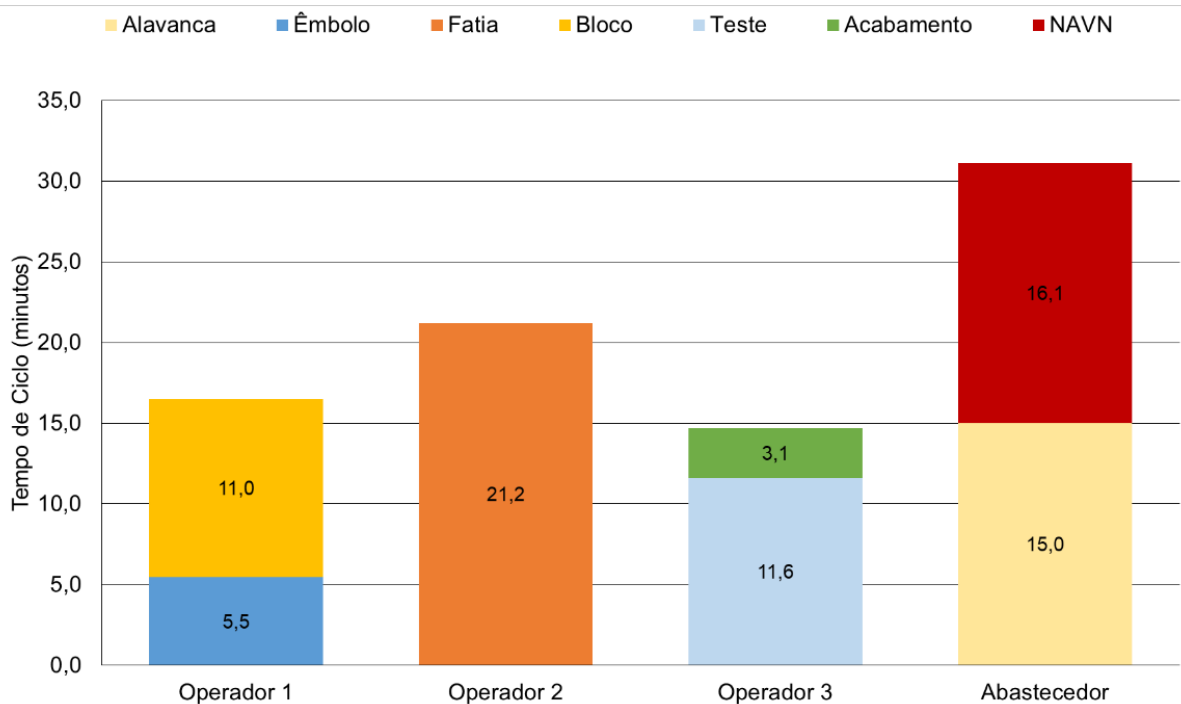
Fonte: elaborado pela autora.

Tabela 13 - Capacidade proposta da família de produtos 1.

Número de fatias	3
Tempo de ciclo/fatia (mins)	4,3
Fatias/turno (100% gargalo)	41,1
Fatias/turno/operador	13,7

Fonte: elaborado pela autora.

Gráfico 11 - GBO proposta para a família de produtos 2.



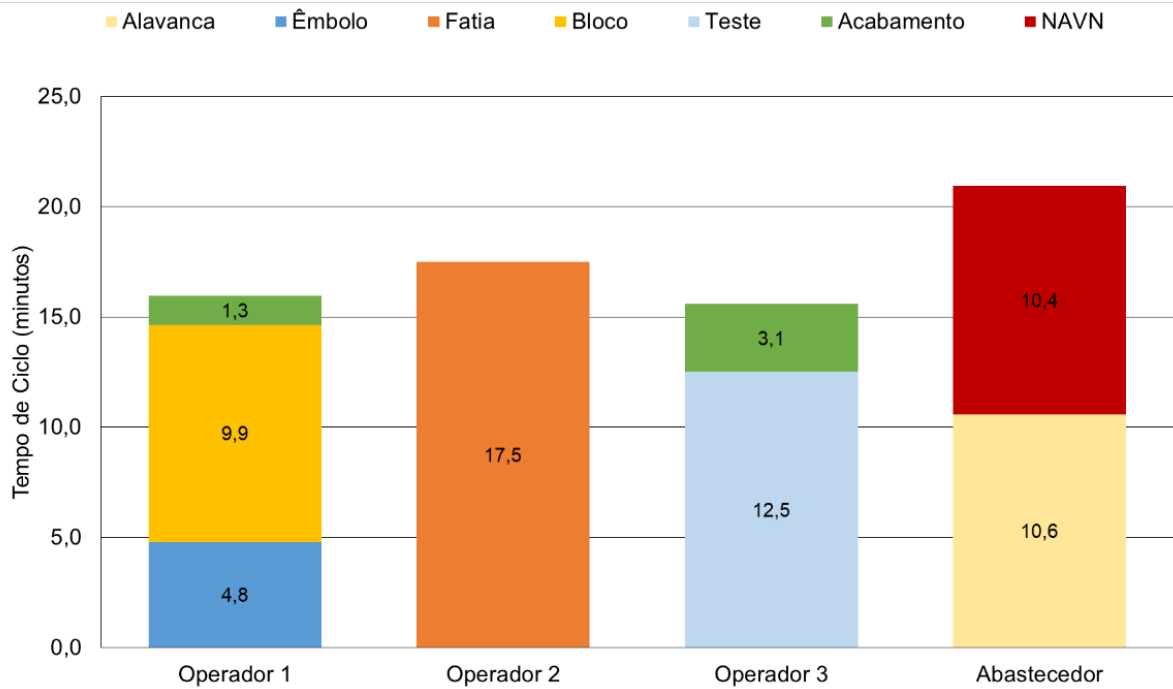
Fonte: elaborado pela autora.

Tabela 14 - Capacidade proposta da família de produtos 2.

Número de fatias	8
Tempo de ciclo/fatia (mins)	2,7
Fatias/turno (100% gargalo)	46,3
Fatias/turno/operador	15,4

Fonte: elaborado pela autora.

Gráfico 12 - GBO proposta para a família de produtos 3.



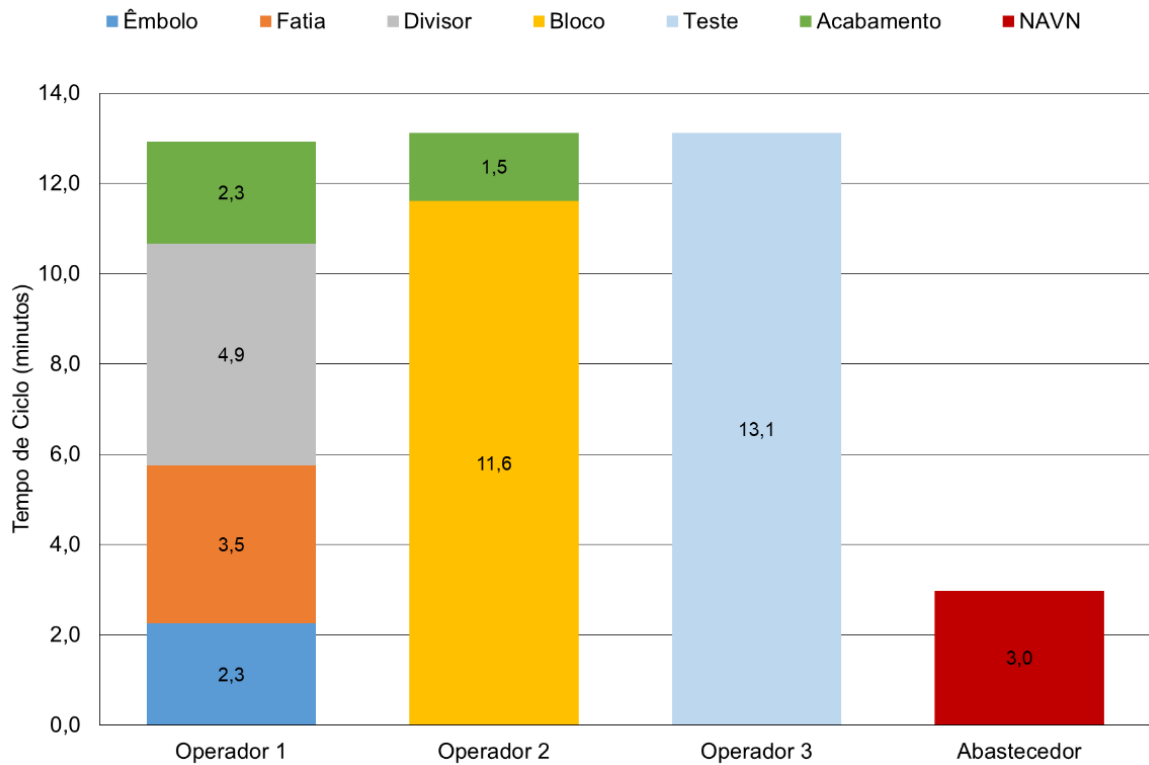
Fonte: elaborado pela autora.

Tabela 15 - Capacidade proposta da família de produtos 3.

Número de fatias	7
Tempo de ciclo/fatia (mins)	2,5
Fatias/turno (100% gargalo)	33,3
Fatias/turno/operador	11,1

Fonte: elaborado pela autora.

Gráfico 13 - GBO proposta para a família de produtos 4.



Fonte: elaborado pela autora.

Tabela 16 - Capacidade proposta da família de produtos 4.

Número de fatias	2
Tempo de ciclo/fatia (mins)	6,6
Fatias/turno (100% gargalo)	8,7
Fatias/turno/operador	2,9

Fonte: elaborado pela autora.

Ainda, para tornar a análise mais fácil, na Tabela 17 é apresentado o compilado dos tempos de ciclo por fatia e a média ponderada. Percebe-se que, nessa situação proposta, apesar dos tempos de ciclo por fatia das famílias 1 e 4 serem superiores à taxa de utilização de 80% do *takt time*, de 3,86 min/fatia, a média ponderada está abaixo desse valor, o que permite concluir que é possível produzir nessa nova configuração das operações da célula, e ainda garantir o atendimento à demanda sem atrasos, o que antes não era feito.

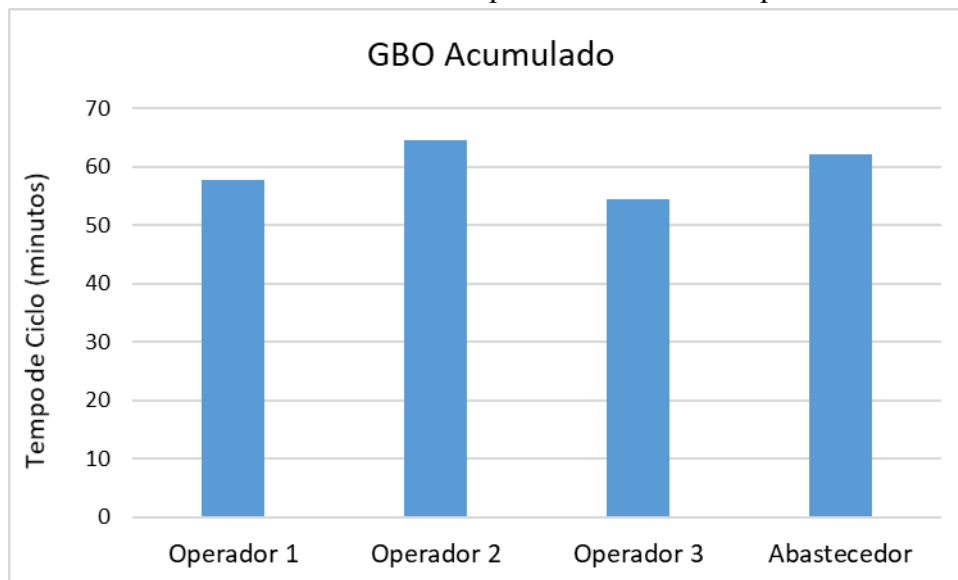
Tabela 17 - Média ponderada dos tempos de ciclo propostos por fatia.

Famílias	Representatividade	TC/Fatia (min)
Família 1	40%	4,30
Família 2	28%	2,70
Família 3	19%	2,50
Família 4	13%	6,60
Média Ponderada Proposta		3,81

Fonte: elaborado pela autora.

Quanto aos gráficos apresentados acima, as atividades NAVN foram simplesmente realocadas, mas na prática o tempo das mesmas ainda será reduzido, dado que haverá otimização na movimentação e transporte ao serem realizados por apenas uma pessoa. Ao avaliar os GBOs, fica evidente que o abastecedor tem momentos de ociosidade e momentos de sobrecarga, se comparado aos demais operadores. Porém, o Gráfico 14, que representa os tempos de ciclo acumulados das 4 famílias de produtos para cada operador e para o abastecedor, ilustra que a carga de trabalho se equilibra no final.

Gráfico 14 - GBO acumulado para as 4 famílias de produtos.



Fonte: elaborado pela autora.

Além disso, ressalta-se que a montagem da alavanca é, na verdade, uma pré-montagem e acontece anteriormente ao cronograma de montagem da célula, como já citado nesse trabalho. Na prática, a proposta é que o abastecedor priorize o atendimento à célula no seu dia a dia e, quando estiver com tempo disponível, realize a pré-montagem. Mais detalhes da sua jornada diária de trabalho serão explicados no tópico 4.5 desse trabalho.

Quanto à distribuição de atividades proposta, apesar da célula já ter flexibilidade no número de operadores de acordo com a demanda – conceito de célula *shojinka* explicado no tópico 2.3 desse trabalho –, houve a limitação de que as atividades que têm maior tempo de ciclo (montagem da fatia e teste hidráulico) podem ter apenas um operador para cada. Isso porque há apenas um suporte de montagem de fatia e uma máquina de teste, a qual realiza seu trabalho em um bloco por vez. Já o acabamento, que tem maior flexibilidade por ser uma atividade rápida e realizada diretamente na bancada, continua sendo realizado por mais de um operador, como inicialmente. Na prática, alguns blocos se acumulam na bancada, como um estoque intermediário, até que um operador possa sair de sua bancada principal para realizar o acabamento nos blocos acumulados.

Para que seja possível colocar em prática a nova disposição das atividades, e sabendo que o gargalo da célula não é o mesmo para todos os produtos – sua configuração ainda poderá mudar de acordo com o produto a ser montado –, é necessário que a célula tenha mais flexibilidade do que já tem atualmente. Uma forma de conquistar isso, como citado anteriormente, é garantindo que os operadores sejam polivalentes. Para avaliar a situação atual, e planejar treinamentos para completar a matriz, criou-se a matriz atual de polivalência dos operadores da célula, apresentada na Tabela 18. Mesmo que esse estudo tenha focado apenas no primeiro turno, a matriz do segundo turno também foi criada para se ter uma visão geral da célula e poder utilizar esse dado futuramente.

Tabela 18 - Matriz de polivalência atual.

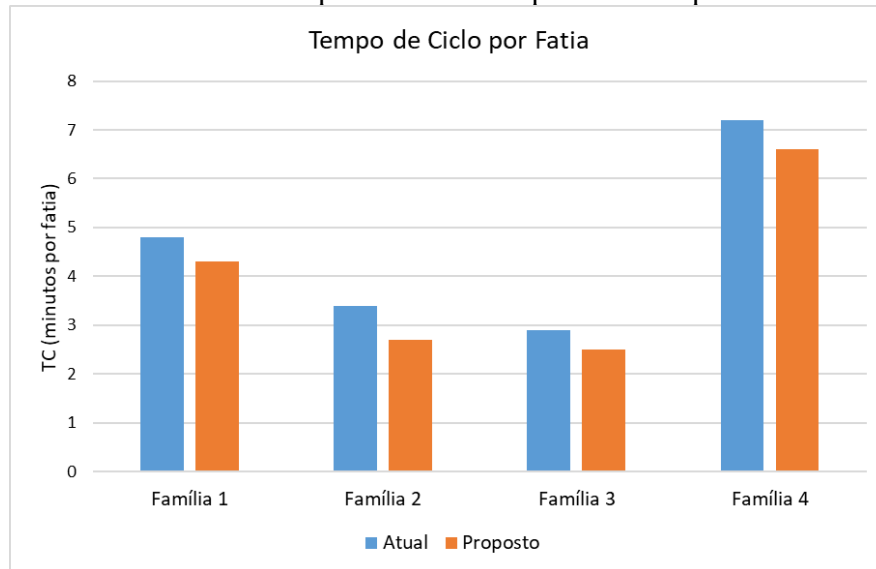
		Alavanca	Êmbolo	Fatia	Divisor	Bloco	Teste	Acabam.
1° Turno	Op. 1	x	x	x	x	x		x
	Op. 2	x	x	x	x			x
	Op. 3					x	x	
	Op. 4						x	x
2° Turno	Op. 1		x					x
	Op. 2		x	x	x	x		x
	Op. 3		x	x	x	x	x	x
	Op. 4	x	x	x	x	x	x	x

Fonte: elaborado pela autora.

Analisando a simulação feita nos GBOs, percebe-se que há boa vantagem no tempo de ciclo, conforme visualizado no comparativo do Gráfico 14, e também há maior balanceamento entre os operadores da agregação de valor, se comparado com a situação atual. Além disso, imagina-se que, após a estabilização da atividade do abastecedor, ele passe a ter

ociosidade em sua jornada de trabalho e possa atender o abastecimento de outra célula de montagem fisicamente próxima da que está inserido, conforme explicado no tópico 4.5 desse trabalho.

Gráfico 15 - Comparativo dos tempos de ciclo por fatia.

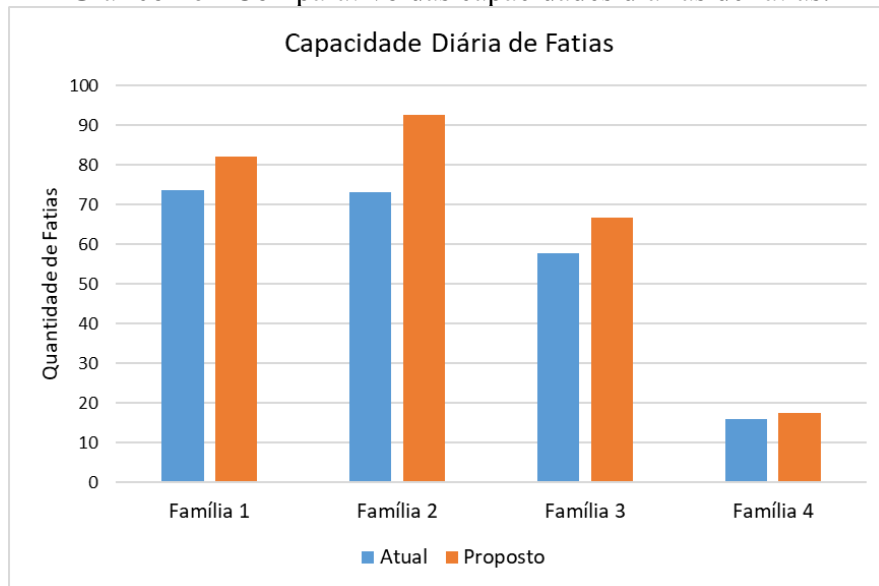


Fonte: elaborado pela autora.

Ainda, nos GBOs da situação proposta, as atividades NAV apresentadas nos GBOs do cenário atual já foram eliminadas. Parte delas era o tempo de organização da bancada após abastecê-la com os materiais pegos no supermercado, mas o abastecedor já organizará tudo ao entregar os itens. Outras situações foram solucionadas com ações simples, como aquisição de ferramentas que antes eram de uso compartilhado pelos operadores, pequenas adaptações nas bancadas para melhorar a ergonomia e facilitar o trabalho, organização das gavetas para que os operadores não percam tempo procurando ferramentas, dentre outras.

Com as simulações realizadas, além da redução no tempo de ciclo dos produtos, pode-se avaliar outros resultados esperados com a proposta. No Gráfico 15, pode ser visto o aumento da capacidade diária de fatias, considerando a operação em dois turnos de trabalho e uma taxa de produção de 100% no processo gargalo em cada família. Com isso, o ganho calculado em capacidade é de 17,4%, apresentado na Tabela 19, e o ganho por turno por operador é de 56,7%, exibido na Tabela 20.

Gráfico 16 - Comparativo das capacidades diárias de fatias.



Fonte: elaborado pela autora.

Tabela 19 - Ganho na capacidade diária de fatias.

	Capacidade Diária (fatias)	
	Atual	Proposto
Família 1	73,69	82,23
Família 2	73,07	92,56
Família 3	57,83	66,63
Família 4	15,92	17,37
Soma	220,50	258,79
Ganho	38,28	
	17,4%	

Fonte: elaborado pela autora.

Tabela 20 - Ganho na capacidade de fatias por turno por operador.

	Fatias/Turno/Operador	
	Atual	Proposto
Família 1	9,20	13,70
Família 2	9,10	15,40
Família 3	7,20	11,10
Família 4	2,00	2,90
Soma	27,50	43,10
Ganho	15,60	
	56,7%	

Fonte: elaborado pela autora.

Ainda, através da Equação 2, considerando o tempo de ciclo por fatia atual e a configuração de 4 operadores, a produtividade da célula para a montagem de blocos hidráulicos é de 22,8%, e na situação proposta a produtividade calculada é de 31,1%, obtendo um ganho de 36,7%, conforme apresentado na Tabela 21.

$$produtividade = \frac{horas\ produzidas}{horas\ presença} [\%] \quad (2)$$

Tabela 21 - Ganho em produtividade.

	Comparativo de Produtividade	
	Atual	Proposto
Horas Diárias Produzidas	16,02	16,43
Horas Diárias Presença	70,40	52,80
Produtividade	22,8%	31,1%
Ganho	36,7%	

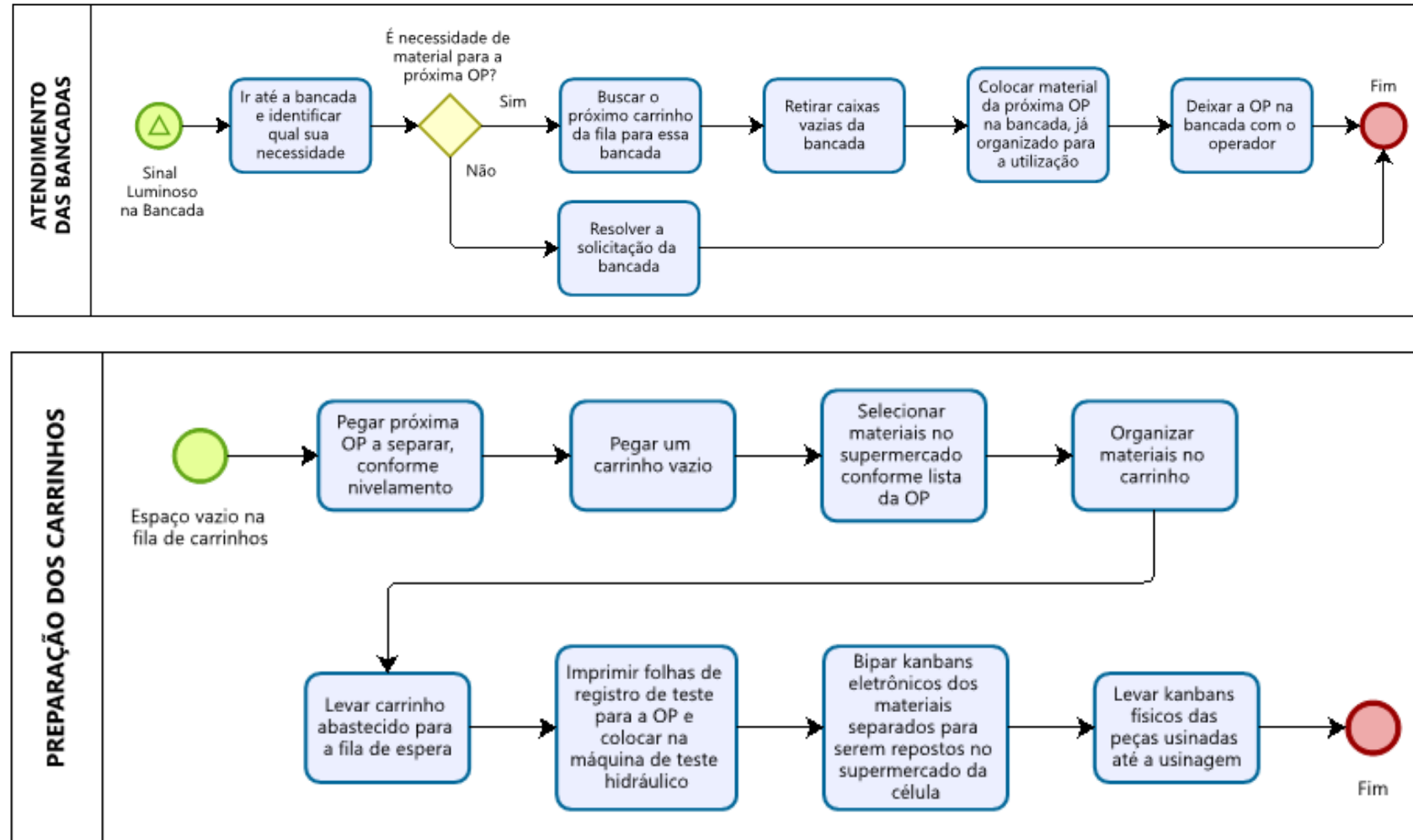
Fonte: elaborado pela autora.

Para completar o planejamento, o investimento financeiro necessário para o cenário proposto por esse trabalho foi apenas a aquisição e instalação dos sinais luminosos para as seis bancadas – itens que serão explicados no tópico 4.5 –, o que resultou em R\$ 1.140,00.

4.5 IMPLEMENTAÇÃO E AVALIAÇÃO

Após comprovado o ganho esperado de produtividade para a célula de montagem e para a mini fábrica, foram destrinchadas todas as atividades que o abastecedor é responsável. Essas atividades foram levantadas de acordo com o acompanhamento do trabalho dos operadores realizado para fazer a cronometragem, e foram aprimoradas através do *benchmarking* interno com o abastecedor de célula de outra mini fábrica da planta, a qual é responsável por produzir produtos diferentes, mas conta com um abastecedor que tem o mesmo objetivo. As atividades primárias de responsabilidade do abastecedor são apresentadas nos fluxogramas da Figura 20, separadas por atividades referentes à preparação dos carrinhos e ao atendimento das bancadas.

Figura 20 - Atividades do abastecedor de célula.



Fonte: elaborado pela autora.

Demais atividades acíclicas, de caráter secundário, foram elencadas. São elas:

- a) Movimentar carrinho de produto acabado: levar o carrinho vazio até a localização indicada no *layout*, levar carrinho cheio de produtos até a área específica onde eles aguardam para ir até a próxima etapa;
- b) Manter abastecidos os potes de graxa e cola utilizados nas bancadas;
- c) Levar as caixas sujas para a área específica da fábrica;
- d) Destinar corretamente peças refugadas ou com necessidade de retrabalho por parte da usinagem;
- e) Criar plano de ação para tratativas de desvios de material, quando houver falta de material disponível na célula;
- f) Resolver problemas gerais para evitar a parada da célula;
- g) Manter o ambiente limpo e organizado.

Além disso, também foi definido quem é o operador designado para a função de abastecedor de célula. Como suas atividades exigem conhecimento sobre os materiais que terão que ser encontrados no supermercado e como serão dispostos nas bancadas, o operador escolhido foi o mais polivalente entre os quatro – já atuou em todas as etapas de montagem, não tendo conhecimento apenas de como operar a máquina de teste hidráulico. Além disso, esse operador tem um perfil proativo, gosta de trabalho dinâmico e se adapta bem às mudanças. Como a função de abastecedor precisará passar constantemente por pequenos ajustes, em busca da melhoria contínua, esse perfil é essencial para que a implementação se mantenha a longo prazo.

Paralelamente a isso, outra pessoa da empresa envolvida na pesquisa realizou o treinamento dos demais operadores nos postos de trabalho que os mesmos ainda não tinham experiência, para completar a matriz de polivalência e garantir a flexibilidade necessária na célula. Outra atividade realizada em paralelo foi a instalação de um sinal luminoso em cima de cada bancada, os quais ficam visíveis a uma distância suficiente para que seja visto pelo abastecedor quando acionado pelos operadores. Eles ativarão o sinal luminoso quando precisam de algum atendimento do abastecedor, seja porque estão finalizando a montagem da OP atual e a bancada deve ser abastecida com o material da próxima OP, ou para qualquer outra necessidade que precisa ser resolvida fora da bancada.

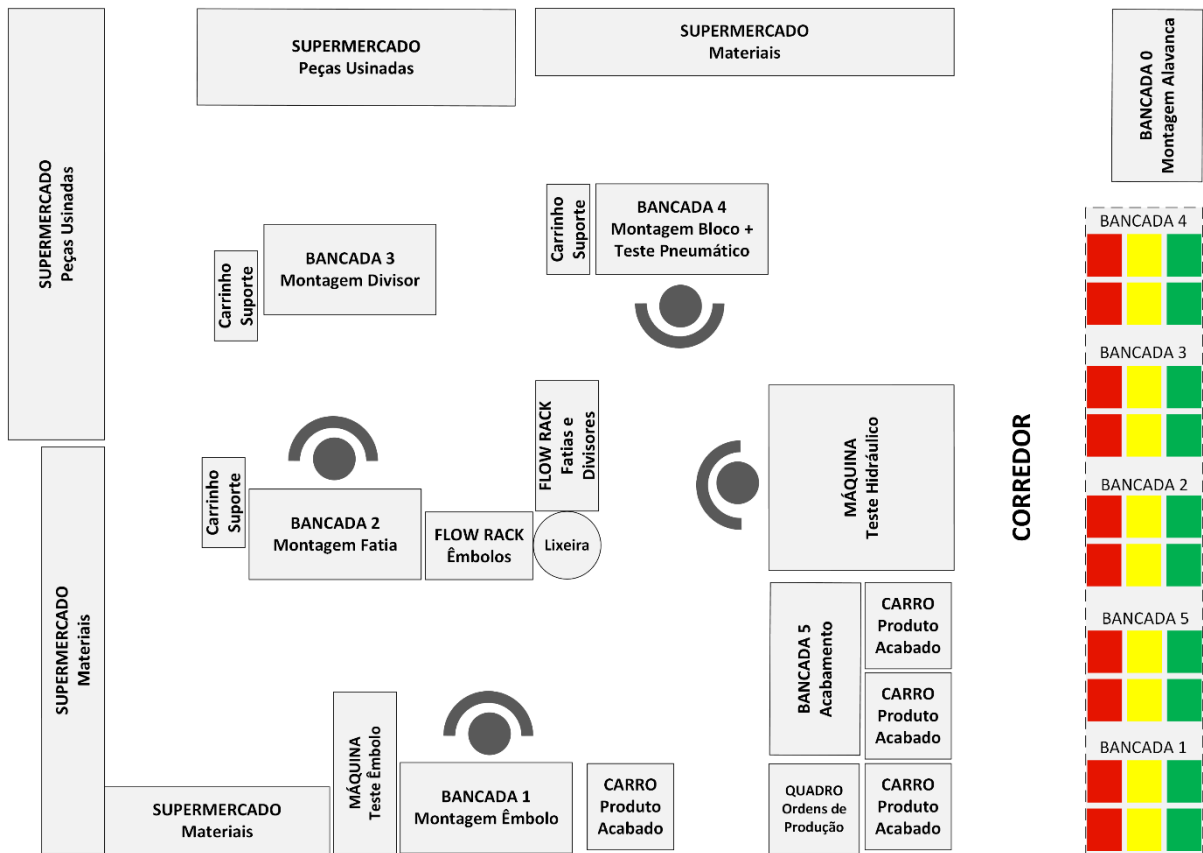
Tendo operadores polivalentes, o abastecedor definido e suas atividades elencadas, foi possível realizar um teste inicial. O teste durou um turno de trabalho, onde o operador designado para ser abastecedor de célula atuou nessa função, e os demais operadores foram

organizados conforme a distribuição de trabalho proposta nos GBOs. A autora do trabalho realizou o acompanhamento para, em conjunto com o operador, identificar os primeiros pontos de melhoria da função. Esse teste representa um ciclo PDCA dentro da etapa “Do” (executar) do grande PDCA que engloba o estudo todo, pois os aprendizados obtidos com o teste puderam ser aplicados antes da implementação oficial.

Além de pequenos ajustes na lista de atividades, onde adicionou-se algumas e outras foram alteradas, também foi identificado que era necessário um controle de quantos carrinhos de materiais devem estar preparados pelo abastecedor para ele ser considerado livre para realizar a montagem das alavancas ou suas atividades secundárias. Dado o pouco tempo de trabalho disponível entre o teste inicial e a implementação, essa quantidade de carrinhos foi definida com base na experiência dos operadores, sendo essa uma decisão consciente de que esse número pode ser alterado em breve, se necessário. A quantidade não pode ser muito pequena, para que se detecte com antecedência possíveis faltas de material disponível, mas também não deve ser muito grande porque assim as ineficiências no processo de abastecimento seriam escondidas.

Assim, foi criada a fila para carrinhos preparados em FIFO – *First In, First Out* – com uma gestão visual nas cores vermelha, amarela e verde, contendo dois carrinhos por bancada de trabalho em cada cor, e organizadas de acordo com a proximidade das bancadas. As filas são abastecidas e retiradas na direção do vermelho para o verde. Quando as filas estão ocupando a área verde, o abastecedor pode desempenhar suas atividades secundárias ou realizar a pré-montagem; quando está na área amarela, ele precisa se atentar para reabastecer a fila; caso alcance a faixa vermelha, ele precisa urgentemente preparar o material, para não correr o risco de faltar material disponível para a montagem. Essa fila é colocada na área disponível de suporte, conforme ilustrado na Figura 21.

Figura 21 - Filas FIFO para carrinhos preparados.



Fonte: elaborado pela autora.

Com os ajustes feitos após o teste da função, a proposta foi implementada. A partir de então, os operadores do primeiro turno passam a trabalhar nas configurações propostas pelos GBOs criados. Apesar de, com isso, chegar ao fim a pesquisa da autora na empresa, serão necessárias algumas semanas de acompanhamento por parte da gestão do setor, para que possíveis novos ajustes sejam identificados e realizados, até que percebam que o abastecedor de célula está se mantendo estável no dia a dia de trabalho. Para acompanhar a estabilização da operação na nova configuração, a gestão criará indicadores estratégicos e fará a verificação, em gráficos, do aumento do volume de produção no primeiro turno. Quando atingir essa estabilização, o estudo estará pronto para os próximos passos.

Visto que se atuou apenas no primeiro turno da fábrica, o próximo passo é realizar a expansão desse trabalho para o segundo turno, onde o abastecedor de célula do primeiro turno poderá treinar o operador escolhido para a função no segundo turno. Além disso, também serão treinados operadores de ambos os turnos que irão substituir eventuais ausências dos abastecedores de célula.

Para aumentar ainda mais a flexibilidade da célula de montagem, uma adaptação simples e importante será realizada no suporte de montagem na bancada de divisores, para que nele possam ser montadas fatias também. A montagem dessas duas peças é similar, e como a montagem da fatia é o processo gargalo em alguns produtos e o divisor não é peça obrigatória em todos os produtos, essa adaptação será útil para permitir novas configurações de GBO.

E para se adaptar à grandes variações na demanda dos clientes externos da organização, existem as opções de aumentar ou diminuir a quantidade de turnos ativos, ou então criar diferentes cenários de capacidade *takt*, conceito já explicado no tópico 2.3 desse trabalho, onde mudanças físicas são previstas para essas situações. Algumas simulações foram criadas para exemplificar, e estão apresentadas no APÊNDICE B – Simulações de capacidades *takt*.

Para grandes aumentos na demanda, é possível colocar mais operadores na célula, principalmente para aqueles produtos em que o gargalo não é o teste e sim a fatia, dado que a bancada do divisor servirá para a montagem dessa peça também. Para grandes quedas na demanda, pode-se realocar um dos operadores temporariamente para outra célula da fábrica e destinar atividades de agregação de valor ao abastecedor de célula também. Não é o cenário ideal, mas ter essas opções de capacidade *takt* prontas pode ser útil para se adequar à grandes mudanças sem abrir mão desse estudo implementado.

Quanto à possível ociosidade do operador na função de abastecedor de célula, a longo prazo, como citado no tópico 4.4, sabe-se que todas as outras células da mini fábrica do estudo trabalham da mesma forma que a montagem A foi encontrada: os operadores são responsáveis por todas as atividades NAVN antes de começar de fato a agregação de valor. Portanto, existe a oportunidade de expandir o alcance de trabalho desse operador para outra célula, fisicamente próxima, e assim melhorar ainda mais os resultados do setor como um todo.

Por fim, em direção à melhoria contínua, também ficou a cargo da empresa a constante identificação e implementação de novas melhorias que possam ser realizadas na função do abastecedor de célula, incluindo a redução do tempo necessário para as atividades dessa função, para que o estudo gere cada vez mais resultados positivos para a organização.

4.6 DISCUSSÕES E CONTRIBUIÇÕES

A fundamentação teórica desse trabalho inicia com os cinco princípios do *Lean*, os quais foram levados em consideração ao longo da pesquisa. Esses princípios sugerem a determinação do valor e a identificação do fluxo de valor, para então fazer o valor fluir sem interrupções, deixar que o cliente puxe e, constantemente, buscar a perfeição (WOMACK; JONES, 2003). Nesse trabalho, identificou-se o que é valor para o cliente, ou seja, as atividades de montagem dos produtos, e também quais são as atividades que podem ser eliminadas e quais são necessárias de se manter. O balanceamento das operações baseia-se no princípio de fazer o valor fluir, pois busca produzir dentro do ritmo ditado pelo cliente, mesmo que não se atinja o fluxo propriamente dito. O sistema puxado já existia na empresa e foi um facilitador para a implementação do abastecedor. E por fim, a busca pela perfeição, para que o trabalho implementado se sustente e se mantenha em constante evolução.

Na literatura também foi visto que, para melhorar a eficiência, precisa-se eliminar os desperdícios (OHNO, 1978), e que mesmo que um trabalhador pareça ocupado, ele não necessariamente está agregando valor ao produto (SLACK *et al.*, 2009). O foco de observação em todo o acompanhamento da jornada de trabalho dos operadores, principalmente ao cronometrar os tempos das atividades e acompanhar e desenhar sua movimentação pela célula, foi justamente a eliminação dos desperdícios existentes encontrados.

A logística interna tradicional do *Lean* aponta o *mizusumashi* como um trabalhador que garante o fornecimento frequente e confiável para os operadores. O ponto principal é que esse trabalhador opera em uma rota fixa e com um intervalo de tempo também fixo (COIMBRA, 2013), o que não é possível de aplicar em um estudo inicial e de curta duração em uma montagem de alta variedade e baixo volume. Cada produto vai demandar tempos diferentes para sua produção e, conseqüentemente, o gargalo se torna variável. Isso significa que uma bancada não irá manter o mesmo tempo de ciclo para todos os produtos, e não irá necessitar de abastecimento ao mesmo tempo e no mesmo ritmo que as outras bancadas.

Para viabilizar a implementação de um operador responsável pela logística dentro de uma célula HVLV, é necessário que a ferramenta seja ajustada. Esse estudo encontrou uma forma, dentre tantas que podem existir, que se adequou bem ao cenário envolvido. Junto a isso, foram elaborados os Gráficos de Balanceamento de Operadores, que foram separados por família de produtos e não por produto em si, como recomenda Duggan (2013), devido ao tempo hábil de execução da pesquisa. Para isso, permitiu-se tomar como premissa que os

produtos que compõem uma mesma família têm os mesmos tempos de ciclo. E com o intuito de aumentar a flexibilidade da célula de montagem e, assim, viabilizar a implementação das melhorias, foi garantida a polivalência dos operadores.

A definição de diferentes capacidades *takt*, sugerida por Duggan (2013), que adequa fisicamente a capacidade da célula às variações da demanda, é uma importante ferramenta a ser utilizada, e pode ser feita depois que se tenha, pelo menos, um GBO para cada um dos principais produtos montados – os produtos mais representativos na demanda. Isso permitirá que a organização tenha ainda mais flexibilidade para atender aos clientes sem causar imprevistos no dia a dia de trabalho dos operadores.

Por fim, o estudo buscou constantemente entender como amortecer a turbulência, ou seja, a variabilidade e a incerteza dos insumos (JINA; BHATTACHARYA; WALTON, 1997). Tirar da responsabilidade dos operadores que transformam os produtos a tomada de decisão, a resolução de problemas e as atividades que não agregam valor, e definir previamente quais são as funções de cada operador na montagem de cada tipo de produto, permite reduzir a variabilidade e a incerteza em um cenário HVLV, e essa redução pode ser o ponto chave para que a produção consiga operar conforme o esperado, alcançar os objetivos e atender aos clientes no momento em que eles precisam.

Ao longo do estudo e planejamento desse trabalho, diversas ferramentas conhecidas do *Lean Manufacturing* foram consideradas, mas não se encaixavam totalmente no cenário que estava sendo trabalhado. Assim, surgiu a necessidade de criar adaptações e, com ela, a experiência de que mesmo a literatura sobre o *Lean* aplicado na produção HVLV precisa de suas adaptações de acordo com a empresa de estudo. Por trás de toda a pesquisa, estava o pensamento científico de resolução de problemas. A cada passo dado no estudo, uma atualização era feita na construção da A3, o conhecimento era ampliado e o plano de ação se tornava mais robusto e real. Com um pensamento científico atuando como direcionador, a construção do trabalho torna-se embasada e segura, para que consiga atingir os objetivos dentro do tempo estipulado.

5 CONCLUSÕES

O perfil do consumidor da atualidade e o aumento da competitividade entre as empresas, despertam nas organizações uma estratégia de trabalhar com grande diversificação de produtos. Para que essa decisão se sustente, é necessário que os processos sejam eficientes e saibam se adaptar rapidamente às mudanças. Nesse cenário se encaixa a filosofia do *Lean Manufacturing*, pois suas ferramentas propiciam a busca por eficiência através do foco na agregação de valor e o atendimento às necessidades dos clientes.

Ao implementar princípios do *Lean* em uma organização, é indispensável entender o propósito por trás de cada ferramenta, para que o objetivo da mesma seja atingido em qualquer cenário que seja aplicada. Tratando-se de células de produção de alta variedade e baixo volume, os conceitos precisam ser ajustados corretamente para se adequar às características únicas desse ambiente. Quando bem implementadas, as ferramentas *Lean* podem gerar ganhos importantes para qualquer organização.

Esse trabalho teve como objetivo a implementação de melhorias para atingir o aumento de produtividade, em uma célula de montagem de alta variedade e baixo volume. Por meio dos objetivos específicos, o estudo atingiu o objetivo geral definido. Primeiramente, foi realizado o mapeamento das etapas da operação da célula trabalhada, através de informações coletadas, por diálogos e observações, representadas em um fluxograma. Nesse momento inicial também foram identificadas as características da demanda. Através da literatura existente sobre o tema, estudou-se possíveis adaptações das técnicas do *Lean Manufacturing*, para sistemas produtivos *High Variety Low Volume*, com o intuito de planejar quais ferramentas gerariam um aumento de produtividade. Por fim, as propostas de melhoria foram realizadas, implementadas e discutidas nesse trabalho.

Além do pensamento científico base do estudo realizado, o PDCA, as práticas do *Lean Manufacturing* também se mostraram satisfatórias ao longo do trabalho. As ferramentas foram utilizadas tanto para a análise da situação em que a célula se encontrava, como para propor melhorias, após algumas adaptações. As técnicas propostas pela filosofia *Lean* se destacam por gerar grandes benefícios, através de aplicações simples e de baixo investimento necessário. Contudo, é indispensável o comprometimento e envolvimento da liderança da equipe de operação, para que as melhorias realmente funcionem e, ainda, se mantenham a longo prazo.

A metodologia utilizada nesse estudo, a pesquisa-ação, foi considerada satisfatória. As etapas do método possibilitaram a organização do planejamento do trabalho, o que conseqüentemente gerou uma execução efetiva. As atividades definidas no cronograma foram cumpridas, e os objetivos esperados foram alcançados no tempo estipulado inicialmente.

A contribuição dessa pesquisa se divide em termos práticos e acadêmicos. De cunho acadêmico, a própria disponibilidade do estudo, para inspirar colaboradores de organizações que tenham a mesma estratégia de produção HVLV, a estudar os princípios e as práticas do *Lean Manufacturing* e encontrar adaptações que se encaixem ao seu cenário de trabalho. Além disso, o estudo também demonstra como uma metodologia científica é eficaz para resolver problemas encontrados na realidade de uma empresa.

Quanto à contribuição prática, foram gerados ganhos de produtividade e capacidade na célula de montagem estudada, além de pequenas melhorias que geram impactos positivos no dia a dia de trabalho dos operadores. Isso foi possível com a criação de uma logística de abastecimento adaptada do *mizusumashi*, pois o cenário estudado não tem um padrão de consumo dos postos de trabalho. Ainda, o uso de premissas para viabilizar a criação de GBOs e a análise de resultados que não considera a unidade de produto, mas sim uma parte dele, a fatia, estão entre as diversas decisões que permeiam o desenvolvimento desse estudo, necessárias pela característica HVLV da empresa.

Para complementar a contribuição do estudo à empresa, sugere-se três ideias para trabalhos futuros. A primeira é a criação de um GBO para cada produto montado na célula estudada, a fim de adaptar a mão de obra de acordo com o cronograma de produção. Uma segunda sugestão, que depende da primeira ideia executada, seria transformar o abastecedor de célula em um *mizusumashi*, criando uma rota fixa que se repete em um intervalo de tempo também fixo, e proporcionando assim uma sincronização das atividades da célula. Outra sugestão é a mudança de *layout* da célula, para tornar o fluxo do produto mais linear e reduzir os estoques intermediários entre os processos.

Por fim, sugere-se duas abordagens para trabalhos acadêmicos futuros. Uma delas é fazer um estudo semelhante a esse, analisando a agregação de valor em processos de alta variedade e baixo volume de outras fábricas e adaptando ferramentas do *Lean Manufacturing* que se encaixem no cenário estudado. Outra sugestão é realizar uma pesquisa bibliográfica sobre aumento de produtividade em células *High Variety Low Volume*, para reunir possíveis abordagens além das práticas oriundas da filosofia *Lean*.

REFERÊNCIAS

- AME Webinar: Adapting Lean for High Mix Low Volume. Greg Lane. [S. l.]: Lean Enterprise, 2016. Disponível em: https://www.youtube.com/watch?v=f3SBvL9Num4&ab_channel=TheAMEConnect. Acesso em: 07 mar. 2021.
- BERTOLINI, Massimo; ROMAGNOLI, Giovanni; ZAMMORI, Francesco. 2MTO, a new mapping tool to achieve lean benefits in high-variety low-volume job shops. **Production Planning & Control: The Management of Operations**. Parma, v. 28, n. 5, p. 444-458. mar. 2017.
- CANDELORO, Raúl. **Não tenha dúvidas: método 5w2h**. 2008. Blog Administradores.com. Disponível em: <http://www.administradores.com.br/artigos/negocios/nao-tenha-duvidas-metodo-5w2h/26583>. Acesso em: 28 fev. 2021.
- CESAR, Mario. **Ciclo PDCA na sua vida**. 2018. Blog Startando-se. Disponível em: <https://startando.se/ciclo-pdca-na-sua-vida/>. Acesso em: 28 fev. 2021.
- COIMBRA, Euclides A. **Kaizen in Logistics and Supply Chain**. McGraw-Hill Education, 2013.
- COUGHALAN, Paul; COGHLAN, David. Action Research for Operation Management. **International Journal of Operations & Production Management**, v. 22, n. 2, p.220-240, 2002. Disponível em: <http://www.dep.ufmg.br/old/disciplinas/epd804/artigo3.pdf>. Acesso em: 28 fev. 2021.
- COUTINHO, Thiago. **Pensamento Enxuto e os seus 5 princípios**. 2020. Disponível em: <https://www.voitto.com.br/blog/artigo/pensamento-enxuto>. Acesso em: 28 fev. 2021.
- DEGUIRMENDJIAN, Samira C. **Lean Healthcare: aplicação do diagrama de espaguete em uma unidade de emergência**. 2016. 143 f. Dissertação (Mestrado em Ciências da Saúde)

– Centro de Ciências Biológicas e da Saúde, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2016.

DEMBOGURSKI, Renan A.; OLIVEIRA, Márcio de; NEUMANN, Clóvis.

BALANCEAMENTO DE LINHA DE PRODUÇÃO. **XXVIII ENEGEP**. Rio de Janeiro, p. 1-13. out. 2008. Disponível em:

http://www.abepro.org.br/biblioteca/enegep2008_TN_STO_069_490_11644.pdf. Acesso em: 28 fev. 2021.

DENNIS, Pascal. **Fazendo Acontecer a Coisa Certa: Um Guia de Planejamento e Execução para Líderes**. São Paulo: Lean Institute Brasil, 2007.

DUGGAN, Kevin J. **Creating Mixed Model Value Streams**. 2 ed. Boca Raton: CRC Press, 2013.

FANTINATO, Marcelo. **Métodos de Pesquisa**. São Paulo: USP, 2015. 50 slides. Disponível em: <https://docplayer.com.br/29758608-Metodos-de-pesquisa-prof-dr-marcelo-fantinato-ppgsi-each-usp-2015.html>. Acesso em: 28 fev. 2021.

FREITAS, Eder B. **Diagrama Spaghetti / Espaguete**. 2018. Blog Engenharia de Produção. Disponível em: <https://engenhariadeproducaoindustrial.blogspot.com/2018/03/diagrama-spaghetti-espaguete.html>. Acesso em: 28 fev. 2021.

GORI, Rodrigo M. O BALANCEAMENTO DE UMA LINHA DE MONTAGEM SEGUINDO A ABORDAGEM LEAN MANUFACTURING. **XXXII ENEGEP**. Bento Gonçalves, p. 1-13. out. 2012. Disponível em:

http://www.abepro.org.br/biblioteca/enegep2012_tn_sto_157_919_19757.pdf. Acesso em: 28 fev. 2021.

HAIDER, A; MIRZA, J. An implementation of lean scheduling in a job shop environment. **Advances in Production Engineering & Management**. Taxila, p. 5-17. mar. 2015.

JINA, Jay; BHATTACHARYA, Arindam K.; WALTON, Andrew D. Applying lean principles for high product variety and low volumes: some issues and propositions. **Logistics Information Management**. [S. l.], v. 10, n. 1, p. 5-13. fev. 1997.

KANTAR (org.). **BrandZ Global Top 100 Most Valuable Brands 2020**. Disponível em: <https://online.pubhtml5.com/bydd/yeib/#p=139>. Acesso em: 25 fev. 2021.

KATIC, Mile; AGARWAL, Renu. The Flexibility Paradox: achieving ambidexterity in highvariety, low-volume manufacturing. **Global Journal Of Flexible Systems Management**. [S. l.], p. 69-86. mar. 2018.

LACERDA, Rogério T. O.; ENSSLIN, Leonardo; ENSSLIN, Sandra R. Uma análise bibliométrica da literatura sobre estratégia e Avaliação de Desempenho. **Gestão & Produção**, v. 19, n. 1, p.59-78, 2012.

LANE, Greg. **Traditional Lean vs. High Mix-Low Volume Lean**. 2013. Low Volume Lean Center. Disponível em: <https://www.lean.org/Search/Documents/106.pdf>. Acesso em: 28 fev. 2021.

LIKER, Jeffrey K. **O Modelo Toyota: 14 princípios de gestão do maior fabricante do mundo**. Tradução de Lene Belon Ribeiro. Nova Iorque: Bookman, 2005.

MATTAR, Fauze N. **Pesquisa de Marketing: metodologia, planejamento, execução e análise**. 6. ed. São Paulo: Atlas, 2005.

MOEN, Ronald; NORMAN, Clifford. **Evolution of the PDCA Cycle**. 2007. Disponível em: <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.470.5465&rep=rep1&type=pdf>. Acesso em: 28 fev. 2021.

MORAES, Jose Donizetti. **Shojinka: flexibilidade no número de operadores**. Flexibilidade no número de operadores. 2014. Disponível em: <https://pt.slideshare.net/JoseDonizettiMoraes/shojinka-flexibilidade>. Acesso em: 07 mar. 2021.

NORTEGUBISIAN. **Sistemas de Produção Puxada**: kanban. 2018. Disponível em: <https://www.nortegubisian.com.br/blog/sistemas-de-producao-puxada-kanban>. Acesso em: 28 fev. 2021.

OHNO, Taiichi. **O Sistema Toyota de Produção**: além da produção em larga escala. Bookman, 1978.

ORIBE, Claudemir Y. **PDCA**: origem, conceitos e variantes dessa idéia de 70 anos. 2009. Disponível em: <http://www.qualitypro.com.br/artigos/pdca-origem-conceitos-e-variantes-dessa-ideia-de-70-anos>. Acesso em: 28 fev. 2021.

PINTO, João Paulo. **Lean Thinking**: introdução ao pensamento magro. 2008. Comunidade Lean Thinking. Disponível em: <https://docplayer.com.br/4345508-Lean-thinking-introducao-ao-pensamento-magro-o-pensamento-lean-1-introducao-por-joao-paulo-pinto-comunidade-lean-thinking.html>. Acesso em: 25 fev. 2021.

PROPÉRCIO, Eduardo H. M. **Integração vertical e horizontal nos terminais de contêineres da costa brasileira**. 2015. 22 f. Trabalho de conclusão de curso (Bacharelado em Ciências Contábeis) - Universidade de Brasília, Brasília, 2015.

RAMALINGAM, Maheshwaran. **Standardization of Work Cells for High Variety, Low Volume Manufacturing**. 2008. 74 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engineering Science, Lamar University, Beaumont, 2008.

ROTHER, Mike; HARRIS, Rick. **Criando Fluxo Contínuo**: um guia de ação para gerentes, engenheiros e associados da produção. São Paulo: Lean Institute Brasil, 2002.

ROTHER, Mike. **Toyota Kata**: gerenciando pessoas para melhoria, adaptabilidade e resultados excepcionais. Bookman, 2010.

SLACK, Nigel; CHAMBERS, Stuart; JOHNSTON, Robert. **Administração da Produção**. 3. ed. Atlas, 2009.

SOBEK II, Durward K.; SMALLEY, Art. **Entendendo o pensamento A3**: um componente crítico do PDCA da Toyota. Bookman, 2016.

TAPPING, Don; LUYSTER, Tom; SHUKER, Tom. **Value Stream Management**: eight steps to planning, mapping, and sustaining lean improvements. Productivity Press. New York, 2002.

TORRES, Cristina da S.; LEMOS, Fernando O. Sistemática para balanceamento de célula de manufatura integrando abordagens determinística e estocástica: estudo de caso em uma empresa do ramo automotivo. **Produto & Produção**, [s.i.], v. 15, n. 4, p.89-104, nov. 2014.

TOYOTA. **SISTEMA TOYOTA DE PRODUÇÃO (TOYOTA PRODUCTION SYSTEM)**. 20---. Disponível em: <https://www.toyota.com.br/mundo-toyota/toyota-production-system/>. Acesso em: 28 fev. 2021.

TUBINO, Dálvio F.: **Planejamento e Controle da Produção**: Teoria e Prática. 2 ed. São Paulo: Atlas, 2007.

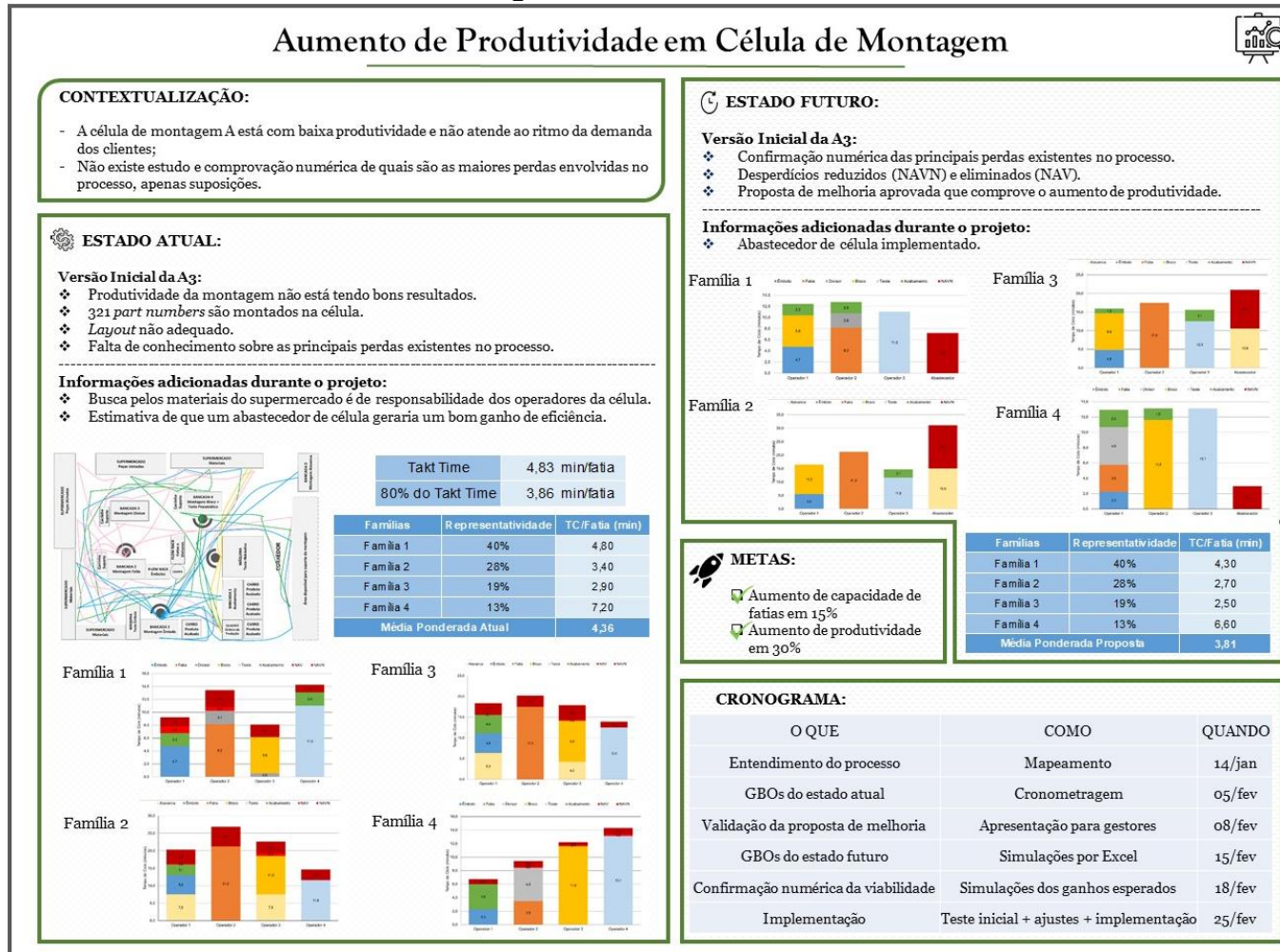
WIERSEMA, Margarethe F.; BOWEN, Harry P. CORPORATE DIVERSIFICATION: the impact of foreign competition, industry globalization, and product diversification. **Strategic Management Journal**. S. 1., p. 115-132. out. 2007. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/smj.653>. Acesso em: 23 fev. 2021.

WIKNER, Joakim; RUDBERG, Martin. Integrating production and engineering perspectives on the customer order decoupling point. **International Journal Of Operations & Production Management**. [S. 1.], v. 25, n. 7, p. 623-641. jul. 2005.

WOMACK, James P.; JONES, Daniel T. **A Mentalidade Enxuta nas Empresas: Lean Thinking**. Tradução de Ana Beatriz Rodrigues e Priscilla Martins Celeste. 6 ed. Herefordshire: Campus/Elsevier, 2003.

APÊNDICE A – A3 do trabalho.

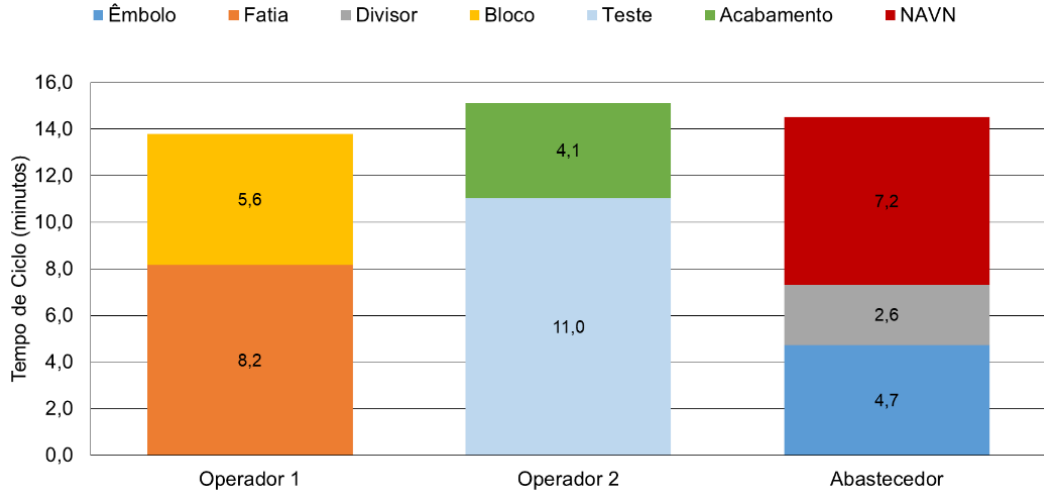
Figura 22 – A3 do trabalho.



Fonte: elaborado pela autora.

APÊNDICE B – Simulações de capacidades *takt*.

Gráfico 17 - Simulação de capacidade *takt* de demanda muito baixa para a família 1.



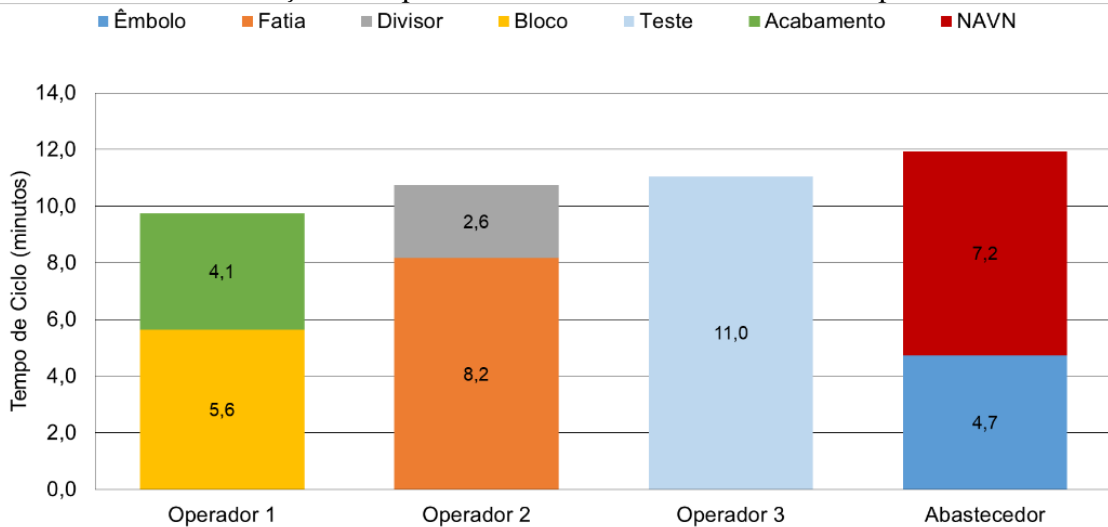
Fonte: elaborado pela autora.

Tabela 22 - Simulação de capacidade *takt* de demanda muito baixa para a família 1.

Número de fatias	3
Tempo de ciclo/fatia (mins)	5,0
Fatias/turno (100% gargalo)	34,8

Fonte: elaborado pela autora.

Gráfico 18 - Simulação de capacidade *takt* de demanda muito alta para a família 1.

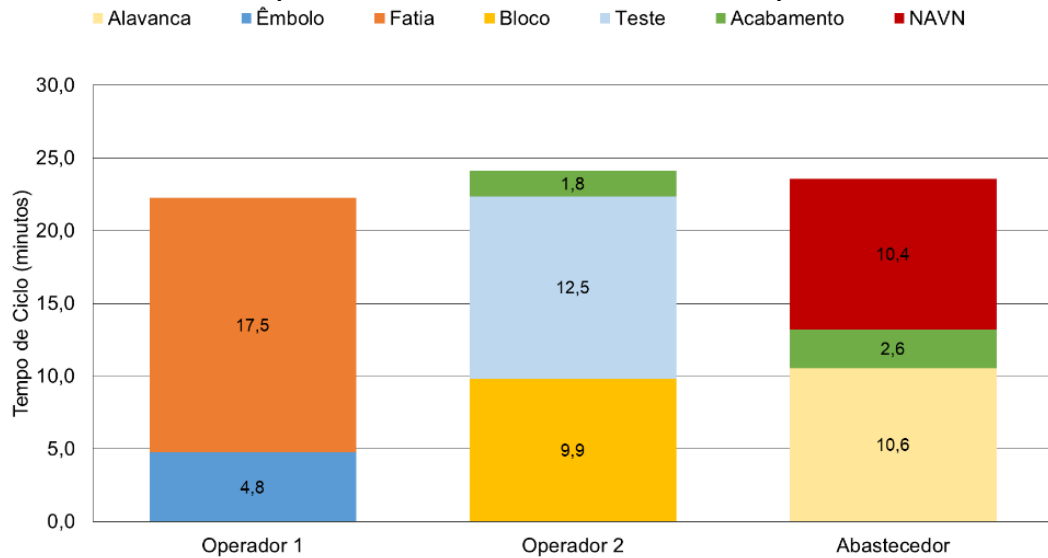


Fonte: elaborado pela autora.

Tabela 23 - Simulação de capacidade *takt* de demanda muito alta para a família 1.

Número de fatias	3
Tempo de ciclo/fatia (mins)	4,0
Fatias/turno (100% gargalo)	44,1

Fonte: elaborado pela autora.

Gráfico 19 - Capacidade *takt* de demanda muito baixa para a família 3.

Fonte: elaborado pela autora.

Tabela 24 - Simulação de capacidade *takt* de demanda muito baixa para a família 3.

Número de fatias	7
Tempo de ciclo/fatia (mins)	3,4
Fatias/turno (100% gargalo)	24,2

Fonte: elaborado pela autora.