

UNIVERSIDADE FEDERAL DE ITAJUBÁ
MESTRADO PROFISSIONAL EM ADMINISTRAÇÃO

Israel Galhardo

**APLICAÇÃO DOS CONCEITOS DE MANUFATURA ENXUTA
EM EMPRESA DE EQUIPAMENTOS ELÉTRICOS COM
TIPOLOGIA DE PRODUÇÃO *ENGINEER-TO-ORDER***

Itajubá – MG
2019

Israel Galhardo

**APLICAÇÃO DOS CONCEITOS DE MANUFATURA ENXUTA
EM EMPRESA DE EQUIPAMENTOS ELÉTRICOS COM
TIPOLOGIA DE PRODUÇÃO *ENGINEER-TO-ORDER***

Dissertação submetida ao Programa de Mestrado Profissional em Administração da Universidade Federal de Itajubá (UNIFEI), na linha de pesquisa de Finanças Aplicada à Tomada de Decisão, para obtenção do título de Mestre em Administração.

Orientador: Prof. Dr. José Antonio de Queiroz

**Itajubá - MG
2019**

Israel Galhardo

**APLICAÇÃO DOS CONCEITOS DE MANUFATURA ENXUTA
EM EMPRESA DE EQUIPAMENTOS ELÉTRICOS COM
TIPOLOGIA DE PRODUÇÃO *ENGINEER-TO-ORDER***

Dissertação submetida à banca examinadora em
26 de junho de 2019, conferindo ao autor o
título de Mestre em Administração.

Banca examinadora:

Prof. Dr. Fabiano Leal (UNIFEI)

Prof. Dr. José Henrique de Freitas Gomes
(UNIFEI)

Prof. Dr. José Antonio de Queiroz (orientador)

**Itajubá - MG
2019**

RESUMO

Este projeto apresenta uma aplicação dos conceitos e ferramentas da Manufatura Enxuta (ME) em uma empresa de equipamentos elétricos com tipologia de produção *Engineer-To-Order* (ETO). Por meio da utilização da técnica do Mapeamento do Fluxo de Valor (MFV) e do método da Pesquisa-ação, buscou-se a eliminação de desperdícios em uma linha de produção com alta variedade de produtos e projetos, tendo como objetivos aumentar a produtividade e reduzir o *Lead Time* de fabricação e a necessidade de horas extras. Neste sentido, os ganhos obtidos foram um aumento de produtividade pela redução de 9,5% dos operadores necessários e uma redução de 61,7% no *Lead Time* de fabricação e de 75% na necessidade de horas extras. Além destas contribuições práticas, o trabalho também apresenta contribuições conceituais, primeiro, ao elaborar uma Revisão Sistemática de Literatura (RSL) para identificar as dificuldades, adaptações e recomendações já apontadas pelos principais periódicos referentes à aplicação dos conceitos e ferramentas da Manufatura Enxuta em ambientes *Engineer-To-Order*, e, em segundo, ao propor novas adaptações e recomendações, tais como sistemáticas para a determinação do tempo de ciclo das etapas de fabricação e para o balanceamento utilizando a multifuncionalidade dos operadores, bem como o controle de produção utilizando o tempo *Pitch* e não o tempo *Takt*, a implementação do fluxo contínuo para o lote de produção diário e a utilização de ferramentas como o Trabalho Padronizado e o Gerenciamento Visual.

Palavras-chave: Manufatura Enxuta, Mapeamento do Fluxo de Valor, Tipologia de Produção *Engineer-To-Order*

ABSTRACT

This project presents an application of the concepts and tools of Lean Manufacturing (LM) in an electrical equipment company with Engineer-To-Order (ETO) production typology. Using the Value Stream Mapping (VSM) technique and the Action Research method, we sought the elimination of waste in a production line with a high variety of products and projects, with the objective of increasing productivity and reduce manufacturing Lead Time and need for overtime. In this sense, the gains obtained were an increase in productivity due to a reduction of 9.5% in the required operators and a reduction of 61.7% in Manufacturing Lead Time and 75% in the need for overtime. In addition to these practical contributions, the paper also presents conceptual contributions, first, in elaborating a Systematic Review of Literature (SRL) to identify the difficulties, adaptations and recommendations already pointed out by the main journals regarding the application of Lean Manufacturing concepts and tools in Engineer environments -To-Order, and secondly by proposing new adaptations and recommendations, such as systematic for the determination of the cycle time of the manufacturing steps and for the balancing using the multifunctionality of the operators, as well as the production control using the time Pitch rather than the Takt time, the implementation of the continuous flow for the daily production lot and the use of tools such as Standardized Work and Visual Management.

Key-words: *Lean Manufacturing, Value Stream Mapping, Engineer-To-Order Production Typology*

LISTA DE FIGURAS

Figura 1- Etapas do Mapeamento do Fluxo de Valor.....	17
Figura 2 - Definição e seleção de uma família de produtos	18
Figura 3 - Produção para supermercado de produtos acabados	20
Figura 4 - Produção para expedição	20
Figura 5 - Fluxo contínuo de produção	21
Figura 6 - Sistema puxado com base em supermercados	21
Figura 7 - Definição do processo puxador.....	22
Figura 8 - Heijunka Box	23
Figura 9 - Retirada compassada.....	23
Figura 10 - Ponto de desacoplamento em diferentes estratégias de produção	27
Figura 11 - Fluxo de informação da RSL.....	31
Figura 12 - O ciclo da pesquisa-ação	41
Figura 13 - Integração das etapas do MFV às fases da pesquisa-ação	44
Figura 14 - Mapa do Estado Atual do fluxo de valor	58
Figura 15 - Mapa do Estado Futuro do primeiro ciclo da pesquisa-ação	62
Figura 16 - Mapa do Estado Futuro do segundo ciclo da pesquisa-ação	69
Figura 17 - Mapa do Estado Atual do terceiro ciclo da pesquisa-ação	74
Figura 18 - Diagrama de trabalho padronizado	75
Figura 19 - Gerenciamento visual e fluxo contínuo da linha de produção.....	77
Figura 20 - Mapa do Estado Futuro do terceiro ciclo da pesquisa-ação.....	78
Figura 21 - <i>Layout</i> antes e depois da implementação de esteiras transportadoras	81

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Artigos selecionados para RSL	32
Quadro 2 - Dificuldades, adaptações e recomendações para aplicação dos conceitos e ferramentas da ME na tipologia ETO segundo a RSL	39
Quadro 3 - Plano de implementação das ações do primeiro ciclo da pesquisa-ação.....	64
Quadro 4 - Plano de implementação das ações do segundo ciclo da pesquisa-ação.....	70
Quadro 5 - Resultados obtidos no segundo ciclo da pesquisa-ação	71
Quadro 6 - Plano de implementação das ações do terceiro ciclo da pesquisa-ação	79
Quadro 7 - Resultados obtidos no terceiro ciclo da pesquisa-ação	80

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Quantidade de modelos e respectivos projetos.....	47
Tabela 2 - Adaptação para determinação do tempo de ciclo de cada etapa de fabricação	56
Tabela 3 - Informações do mapa do estado atual do fluxo de valor	57
Tabela 4 - Resultados obtidos no primeiro ciclo da pesquisa-ação.....	65
Tabela 5 - Tempo reduzido nas etapas de fabricação e novo tempo de ciclo considerado	81

LISTA DE SIGLAS

5W2H	<i>What, Why, Where, When, Who, How, How much</i>
ATO	<i>Assembly-To-Order</i>
AVBV	Alta Variedade e Baixo Volume
CAPES	Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior
ETO	<i>Engineer-To-Order</i>
FIFO	<i>First In First Out</i>
GBO	Gráfico de Balanceamento de Operadores
IVSM	<i>Improved Value Stream Mapping</i>
LT	<i>Lead Time</i>
LM	<i>Lean Manufacturing</i>
ME	Manufatura Enxuta
MEC	Ministério da Educação
MFV	Mapeamento do Fluxo de Valor
MTO	<i>Make-To-Order</i>
MTS	<i>Make-To-Stock</i>
PCP	Planejamento e Controle da Produção
PDCA	<i>Plan, Do, Check, Act</i>
PEPS	Primeiro que Entra, Primeiro que Sai
RSL	Revisão Sistemática de Literatura
SRL	<i>Systematic Review of Literature</i>
STP	Sistema Toyota de Produção
TAV	Tempo de Agregação de Valor
TC	Tempo de Ciclo
TR	Tempo de Troca
VSM	<i>Value Stream Mapping</i>

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	11
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	14
2.1	A Manufatura Enxuta.....	14
2.1.1	O foco da Manufatura Enxuta	14
2.1.2	O Mapeamento do Fluxo de Valor	16
2.1.3	Conceitos e ferramentas da Manufatura Enxuta.....	25
2.2	As tipologias de produção.....	26
2.3	Revisão Sistemática de Literatura: Manufatura Enxuta em <i>Engineer-To-Order</i>	29
3	MÉTODO DE PESQUISA	40
3.1	Classificação da pesquisa.....	40
3.2	O método da Pesquisa-Ação	40
3.3	Integração das etapas do Mapeamento do Fluxo de Valor às fases da Pesquisa-Ação	43
3.4	O objeto de estudo	45
4	APLICAÇÃO.....	48
4.1	Adaptação dos conceitos da Manufatura Enxuta à tipologia de produção <i>Engineer-To-Order</i> utilizada pelo objeto de estudo.....	48
4.2	Aplicação do primeiro ciclo da pesquisa-ação.....	52
4.2.1	Planejamento do primeiro ciclo da pesquisa-ação.....	52
4.2.2	Coleta de dados do primeiro ciclo da pesquisa-ação.....	53
4.2.3	Análise dos dados e planejamento das ações do primeiro ciclo da pesquisa-ação.	57
4.2.4	Implementação das ações do primeiro ciclo da pesquisa-ação.....	63
4.2.5	Avaliação dos resultados do primeiro ciclo e geração do relatório.....	65
4.3	Aplicação do segundo ciclo da pesquisa-ação	65
4.3.1	Planejamento do segundo ciclo da pesquisa-ação	66
4.3.2	Coleta de dados do segundo ciclo da pesquisa-ação	66
4.3.3	Análise dos dados e planejamento das ações do segundo ciclo da pesquisa-ação	66
4.3.4	Implementação das ações do segundo ciclo da pesquisa-ação	70

4.3.5	Avaliação dos resultados do segundo ciclo e geração do relatório	71
4.4	Aplicação do terceiro ciclo da pesquisa-ação	72
4.4.1	Planejamento do terceiro ciclo da pesquisa-ação	72
4.4.2	Coleta de dados do terceiro ciclo da pesquisa-ação	72
4.4.3	Análise dos dados e planejamento das ações do terceiro ciclo da pesquisa-ação	73
4.4.4	Implementação das ações do terceiro ciclo da pesquisa-ação	79
4.4.5	Avaliação dos resultados do terceiro ciclo e geração do relatório	80
5	CONCLUSÃO	82
6	REFERÊNCIAS.....	86

1 INTRODUÇÃO

Este trabalho apresenta uma aplicação da Manufatura Enxuta (ME) em uma empresa com tipologia de produção *Engineer-To-Order* (ETO), que fabrica seus produtos a partir das especificações técnicas requeridas por seus clientes.

A linha de produção em estudo neste trabalho, situada em Itajubá, no sul de Minas Gerais, fabrica equipamentos elétricos e tem como principais características uma alta variedade de produtos e grande diversificação em seus respectivos projetos construtivos.

Nesse caso, a linha de produção é classificada como ETO devido ao fato de que tanto os produtos quanto seus respectivos projetos são selecionados ou, em muitos casos, criados exclusivamente a partir de requisitos técnicos estabelecidos pelos clientes. Além disso, todo o ciclo de fornecimento do produto, incluindo projeto de engenharia e compra de matérias-primas, é executado somente após a entrada do pedido.

A Manufatura Enxuta, filosofia de produção aplicada no processo alvo do estudo, teve origem a partir da criação do Sistema Toyota de Produção (STP) na década de 1950 e busca aumentar a eficiência de processos produtivos através da aplicação de técnicas que buscam a redução ou eliminação total dos desperdícios inerentes aos mesmos.

Dessa maneira, o STP tem como foco reduzir ou eliminar a utilização de recursos que não agreguem valor, sob a perspectiva dos clientes, para fabricação dos produtos desejados por eles. Tal conceito busca, ainda, a obtenção de produtos de alta qualidade, a baixo custo e no menor *Lead Time* possível.

Em ambientes de produção que apresentam uma tipologia ETO, como o caso da empresa em estudo, muitos aspectos constituem desafios ou dificuldades para aplicação dos conceitos da ME, entre eles está a incerteza de demanda existente, devido, principalmente, à sazonalidade dos pedidos e à variedade de produtos e projetos requeridos.

Tais desafios e dificuldades existentes causam, principalmente, um desnivelamento na linha de produção, que em alguns momentos pode apresentar um gargalo para fabricação dos pedidos e em outros uma ociosidade na capacidade de produção.

Além disso, o fato de todos os produtos compartilharem as mesmas máquinas e os mesmos processos de fabricação, embora apresentem tempos de produção diferentes, aumenta a dificuldade em se conseguir uma linha de produção balanceada e estável.

Outra dificuldade existente em ambientes ETO é a própria determinação do tempo de ciclo das etapas de produção, uma vez que um mesmo produto pode possuir centenas de projetos construtivos e, conseqüentemente, o tempo de fabricação de um aparelho pode apresentar uma variação muito grande nas diversas etapas do processo produtivo.

Existe ainda um agravante que consiste no fato de que, a qualquer momento, podem entrar em linha novos produtos e projetos, desenvolvidos devido à demanda específica de um determinado cliente, para os quais os tempos de fabricação são desconhecidos na prática.

Tais características dificultam, conseqüentemente, o dimensionamento da capacidade da linha para fabricação de um determinado volume de produtos e o balanceamento da produção.

O desnivelamento e o desbalanceamento, agravados pela dificuldade de se estabelecer os tempos de produção e dimensionar precisamente a capacidade produtiva da linha, tem como principal consequência altos estoques intermediários entre os processos que compõem a linha de fabricação, que por sua vez, aumentam o *Lead Time* de produção, ou seja, os produtos demoram mais tempo para chegar aos clientes, pois ficam parados aguardando processamento.

Um alto *Lead Time* apresenta como consequências indesejáveis ao processo, principalmente, o aumento da necessidade de horas extras para entregar os produtos dentro dos prazos acordados com os clientes, que por sua vez, representam aumento nos custos de fabricação e perda de competitividade no mercado.

Outra consequência indesejável é o fato de que quanto maior for o *Lead Time* da linha de produção, maior será a dificuldade para atender os curtos prazos solicitados pelos clientes, dificultando dessa maneira a melhoria da competitividade da empresa no mercado.

Diante deste cenário, o objetivo geral deste trabalho é conduzir e analisar a aplicação dos conceitos e ferramentas da Manufatura Enxuta em empresa com tipologia de produção *Engineer-To-Order*, visando a melhoria de indicadores de produção.

Já o objetivo específico é elaborar uma Revisão Sistemática de Literatura (RSL) sobre a aplicação dos conceitos e ferramentas da ME em ambientes com tipologia de produção ETO, destacando as dificuldades e, principalmente, as adaptações e recomendações para a aplicação destes conceitos e ferramentas nestes ambientes. Busca-se também, com a elaboração da RSL, investigar a existência de um método de aplicação específico para esse caso.

Além disso, um outro objetivo específico consiste em propor novas adaptações e recomendações, a partir da aplicação dos conceitos da ME no objeto de estudo, bem como apresentar as dificuldades existentes no mesmo.

Para atingir os objetivos propostos foi utilizado o método da pesquisa-ação, que por meio da utilização do Mapeamento do Fluxo de Valor (MFV), buscou produzir conhecimentos a partir da investigação dos problemas existentes na prática e resolvê-los através da aplicação dos princípios e técnicas da ME no processo produtivo em estudo.

A contribuição prática apresentada é a redução de: 75% das horas extras diárias, 61,7% do *Lead Time* da linha de produção e 9,5% na necessidade de operadores para atingir a demanda. Tais reduções proporcionam um aumento da vantagem competitiva e redução de custos de fabricação à empresa, além do aumento da produtividade da linha de produção.

Já a contribuição conceitual é a melhora na compreensão de como os conceitos e ferramentas da ME podem ser adaptados em ambientes com tipologia de produção ETO, com destaque para as dificuldades existentes na aplicação dos conceitos da ME em ETO, bem como as adaptações e recomendações necessárias, apresentadas em um quadro resumo obtido a partir da RSL, e acrescidas, posteriormente à aplicação, por novas adaptações e recomendações identificadas pelo próprio autor.

Entre as adaptações e recomendações propostas pelo autor, destacam-se a determinação de tempo de ciclo das etapas de fabricação, a aplicação do fluxo contínuo por meio de canaletas FIFO e a utilização de operadores multifuncionais para o balanceamento.

Quanto às delimitações desse trabalho, o objeto de estudo limita-se a apenas uma parte de uma das linhas de produção existente na empresa, não envolvendo o fluxo de valor de porta a porta. Ou seja, a aplicação não abrange toda a cadeia de suprimentos, sendo necessárias algumas adaptações durante a aplicação, como, por exemplo, a utilização de fornecedores e clientes internos da linha de produção.

Também deve-se destacar que os resultados obtidos são restritos ao objeto de estudo em questão, devendo-se realizar novas aplicações em outros objetos de estudo para se obter uma conclusão mais geral sobre a aplicabilidade da ME em ETO.

Em coerência aos objetivos e às contribuições apresentadas, este trabalho está estruturado como apresentado a seguir. O Capítulo 2 apresenta o referencial teórico utilizado, abordando os temas da Manufatura Enxuta, com o foco no Mapeamento do Fluxo de Valor, as tipologias de produção e uma Revisão Sistemática de Literatura sobre a aplicação dos conceitos

da Manufatura Enxuta na tipologia *Engineer-To-Order*. O Capítulo 3 apresenta a classificação da pesquisa, o método da pesquisa-ação e a integração das etapas do Mapeamento do Fluxo de Valor às fases da pesquisa-ação. O Capítulo 4 apresenta o objeto de estudo, a aplicação e a análise dos resultados obtidos. O Capítulo 5 apresenta as conclusões e as limitações desse trabalho, além de propostas para trabalhos futuros.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 A Manufatura Enxuta

2.1.1 O foco da Manufatura Enxuta

O conceito de Manufatura Enxuta (ME) surgiu a partir da criação do Sistema Toyota de Produção (STP), desenvolvido no Japão em um cenário de pós-guerra na década de 1950, a partir da necessidade da montadora japonesa em competir com as concorrentes americanas.

O STP criou métodos para que os desperdícios inerentes aos processos de produção fossem identificados e eliminados, destacando-se desta maneira pela alta produtividade, velocidade de produção, flexibilidade, qualidade dos produtos oferecidos e menor tempo de entrega (OHNO, 1997).

A filosofia criada a partir do STP visa a redução dos custos de produção através da exclusão ou minimização das atividades que não agregam valor aos clientes, ou seja, aquelas pelas quais eles não estão dispostos a pagar, e ao mesmo tempo faz com que as atividades que agregam valor sejam realizadas com maiores eficiências e qualidade e com o menor *Lead Time*.

Segundo o criador do STP, Ohno (1997), o que a Toyota fez foi observar a linha do tempo, desde o momento em que o cliente faz um pedido até o ponto em que o pagamento é efetuado, e reduzir essa linha do tempo através da remoção das atividades que não agregam valor aos clientes.

De acordo com Ghinato (2000), a ME procura otimizar a organização de forma a atender as necessidades do cliente no menor prazo possível, ao mesmo tempo que proporciona a mais alta qualidade dos produtos com o mais baixo custo de fabricação

Segundo o autor, a aplicação de conceitos e técnicas da ME, proporciona um aumento da segurança e da moral dos colaboradores, envolvendo e integrando todas as partes da organização.

Para que seja possível entender a aplicação dos conceitos da ME, é importante definir o conceito de agregação de valor nas atividades de produção, que transformam as matérias-primas em produtos. Dessa maneira, Hines e Taylor (2000) classificam as atividades como:

– **Atividades que agregam valor:** são aquelas que, aos olhos do cliente, agregam valor ao produto e, por isso, ele se dispõe a pagar por elas. Como exemplos destas atividades, pode-se citar processos de montagem e soldagem, dentre outros, que transformam a matéria-prima em produtos valiosos aos clientes;

– **Atividades que não agregam valor e que são desnecessárias:** são aquelas que não trazem valor ao cliente, ou seja, são desperdícios puros, e pelas quais o cliente não está disposto a pagar. Exemplo destas atividades são os retrabalhos e transportes desnecessários envolvidos no processo de fabricação de um produto;

– **Atividades que não agregam valor, mas que são necessárias:** são aquelas que não agregam valor aos olhos do cliente, mas que são necessárias ao processo de fabricação do produto. Um exemplo destas atividades é a transferência necessária de um processo para outro, quando não é possível se criar um fluxo contínuo entre os mesmos. Outros exemplos são os *setups* e o planejamento e controle da produção.

Para Ghinato (2000), a essência do Sistema Toyota de Produção é a perseguição e eliminação de toda e qualquer perda, conhecida na Toyota como o “princípio do não-custo”. Este princípio baseia-se na crença de que a tradicional equação “Custo + Lucro = Preço” deve ser substituída por “Preço – Custo = Lucro”.

Portanto, o foco da Manufatura Enxuta está na identificação e eliminação das atividades que não agregam valor aos clientes, sejam elas necessárias ou não ao processo produtivo, para que seja possível reduzir os custos de fabricação e conseqüentemente aumentar o lucro da organização.

Essas atividades que não agregam valor são os chamados desperdícios (ou *mudas*) que, para facilitar sua compreensão, Ohno (1997) classificou em sete principais tipos. São eles:

– **Superprodução:** esse desperdício ocorre quando se produz além do necessário requerido pelo cliente final (superprodução por quantidade) ou antecipadamente (superprodução por antecipação). É uma das principais fontes geradoras de outros desperdícios;

– **Estoque:** os estoques de matéria-prima, de material em processamento ou de produtos acabados são resultados da superprodução e representam aumento de custos à empresa, por exemplo, na forma de área necessária ao seu armazenamento, além de aumentar o *Lead Time* de fabricação, ou seja, o tempo que um produto leva para percorrer todo o processo produtivo;

– **Espera:** representa o material que fica parado em prateleiras ou estoques aguardando processamento (espera no processo) ou completar um determinado lote (espera do lote) ou ainda o tempo que um operador ou uma máquina fica aguardando material para executar sua atividade (espera do operador). Ocorre, principalmente, como decorrência dos próprios estoques originados pela superprodução e devido à falta do balanceamento de linha e nivelamento de produção;

– **Transporte:** é gerado pela movimentação de materiais, seja matéria-prima, produto em elaboração ou produto acabado, dentro de um processo produtivo. Pode ser causado, por exemplo, pela utilização de um *layout* ineficiente e pela própria existência dos estoques;

– **Movimentação:** este desperdício está relacionado aos movimentos desnecessários realizados pelos operadores do processo produtivo. Pode ser causado, por exemplo, pela utilização de um *layout* ineficiente e por métodos de trabalho inadequados;

– **Processos desnecessários:** são os processos utilizados de forma inadequada ou em excesso, que não agregam valor ao produto na visão do cliente final e poderiam ser eliminados sem afetar as características do produto. Como exemplo pode-se citar o erro no dimensionamento de máquinas e equipamentos ou ainda erro no projeto do produto que ocasionam operações adicionais desnecessárias durante a fabricação;

– **Defeitos:** acarretam produtos com má qualidade que precisam ser inspecionados e, posteriormente, devem ser refugados, causando perda de matéria-prima, ou retrabalhados, e a perda do tempo da mão-de-obra utilizada para fabricar o produto.

Para que seja possível a identificação e eliminação dos desperdícios nos processos produtivos de forma estruturada e sistemática, Rother e Shook (2012) propuseram a utilização da ferramenta do Mapeamento do Fluxo de Valor (MFV).

2.1.2 O Mapeamento do Fluxo de Valor

O Mapeamento do Fluxo de Valor (MFV) é um diagrama utilizado para representar visualmente e analisar todas as etapas envolvidas nos fluxos de materiais e informações,

necessárias para atender a demanda dos clientes, desde o pedido até a entrega dos produtos (ROTHER, SHOOK, 2012).

De acordo com Matt (2014), o MFV é um método eficaz para o redesenho dos processos de produção e da cadeia de suprimentos, sendo utilizado principalmente para identificar, demonstrar e eliminar os desperdícios existentes, bem como criar fluxo contínuo nos processos de fabricação.

As etapas necessárias para a aplicação da técnica do MFV, descritas no manual “Aprendendo a Enxergar” de Rother e Shook (2012), são representadas na Figura 1.

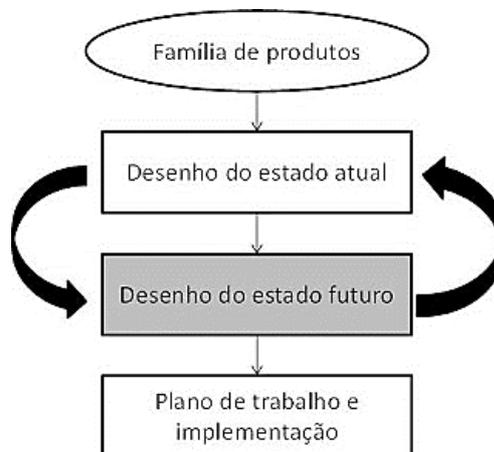


Figura 1- Etapas do Mapeamento do Fluxo de Valor
Fonte: Rother e Shook (2012)

Segundo Rother e Shook (2012), o mapeamento inicia-se através da seleção de uma família de produtos, que pode ser definida por produtos que basicamente utilizam os mesmos processos ou passam pelas mesmas etapas durante sua fabricação e possuem características de fabricação semelhantes, tais como tempos de ciclo e de *setup*.

A Figura 2 ilustra o método para definição e seleção de uma família de produtos, no caso composta pelos produtos A, B e C, que compartilham de cinco etapas de montagem e equipamentos.

		Etapas de Montagem & Equipamentos							
		1	2	3	4	5	6	7	8
PRODUTOS	A	X	X	X		X	X		
	B	X	X	X	X	X	X		
	C	X	X	X		X	X	X	
	D		X	X	X			X	X
	E		X	X	X			X	X
	F	X		X		X	X	X	
	G	X		X		X	X	X	

Uma Família de Produtos

Figura 2 - Definição e seleção de uma família de produtos
Fonte: Rother e Shook (2012)

O passo seguinte consiste em desenhar o estado atual do fluxo de valor, etapa utilizada para o diagnóstico do processo na qual irá coletar e conhecer informações do fluxo de valor em análise, para que seja possível revelar as oportunidades de melhorias e desenvolver um estado futuro para o fluxo de valor (ROTHER, SHOOK, 2012).

Segundo os autores, as informações relevantes para o mapeamento do estado atual, coletadas no chão de fábrica, são:

- **Tempo de Ciclo (TC):** é a frequência com que um produto é completado em um processo ou o tempo em que um operador leva para percorrer todos os seus elementos de trabalho, antes de repeti-los;
- **Tempo de Agregação de Valor (TAV):** é a soma dos tempos das atividades que agregam valor em todas as etapas que compõe o processo;
- **Lead Time (LT):** é o tempo em que uma peça leva para percorrer todo o fluxo de valor, passando por todas as etapas desde a entrega da matéria-prima até a entrega do produto acabado ao cliente;
- **Tempo de Troca (TR):** tempo necessário para mudar a produção para a fabricação de um produto diferente (de peça boa a peça boa), identificado principalmente nas máquinas quando necessitam trocar ferramentas;
- **Disponibilidade do processo:** definido pela quantidade de horas, minutos ou segundos disponíveis por dia ou por turno para fabricação;

- **Índice de Retrabalho ou Refugo:** quantidade ou porcentagem de peças produzidas pelo processo que não apresentam a qualidade requerida pelo cliente, que deverão ser retrabalhadas ou recusadas no processo;
- **Número de operadores:** quantidade de operadores disponíveis em cada etapa do processo;
- **Estoques:** Quantidade de materiais, sejam na forma de matérias-primas, produtos em elaboração ou produtos acabados, em número de peças e em dias de demanda de produção.

Tais informações são fundamentais à próxima etapa do mapeamento, o desenho do mapa do estado futuro do fluxo de valor, considerada a mais importante, tendo em vista que sua meta é projetar e planejar a implementação de um fluxo de valor enxuto.

Nessa etapa são levantadas todas as oportunidades de melhorias através da análise do fluxo de valor do estado atual e a aplicação de conceitos da mentalidade enxuta. Para isso, Rother e Shook (2012) propuseram oito passos para a construção do mapa do estado futuro do fluxo de valor, sendo eles:

1) Determinar o *Takt Time*: o *Takt Time* representa o ritmo de produção necessário para atender a demanda de um cliente e é calculado dividindo-se o tempo de trabalho disponível para produção, em um período ou turno, pela demanda do cliente, no mesmo período ou turno. O *Takt Time* orienta o nivelamento de *mix* e volume de produtos e o dimensionamento do número de operadores da linha de produção no estado futuro do fluxo de valor.

2) Produzir para supermercado de produtos acabados ou para a expedição: a produção para supermercado de produtos acabados é indicada quando se produz produtos padronizados e com demanda pouco variável. A produção para a expedição é alternativa para processos com tipologia de produção *Make-To-Order* (MTO) e *Engineer-To-Order* (ETO).

Nesses casos, o sistema produtivo deve ser estável pois qualquer parada inesperada pode prejudicar o atendimento à demanda do cliente. As Figuras 3 e 4 exemplificam a produção para supermercado de produtos acabados e a produção para expedição, respectivamente.

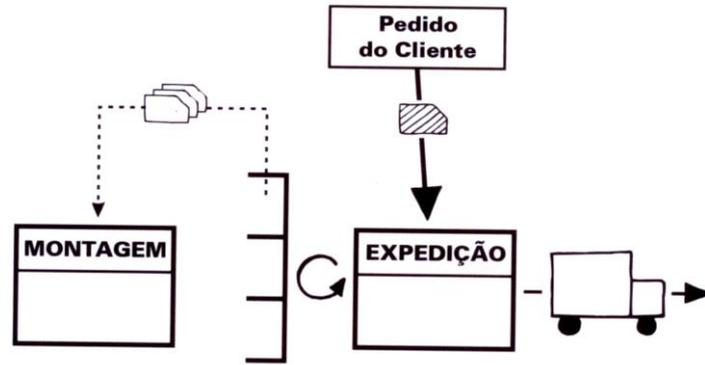


Figura 3 - Produção para supermercado de produtos acabados
Fonte: Rother e Shook (2012)

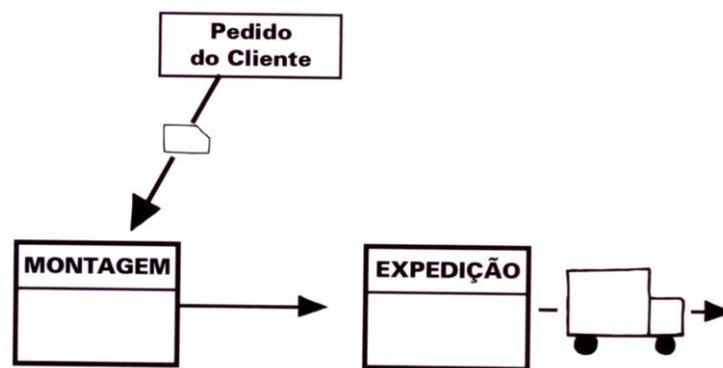


Figura 4 - Produção para expedição
Fonte: Rother e Shook (2012)

3) Estabelecer fluxo contínuo de materiais onde for possível: consiste em determinar as etapas de produção nas quais os produtos possam fluir de forma contínua sem interrupções ou desperdícios como movimentação, transporte ou espera no fluxo de valor. O fluxo contínuo é a maneira mais eficiente de fabricar um produto e exige alta confiabilidade dos processos.

Uma abordagem para implementá-lo pode estar na combinação da utilização de canaletas FIFO (*First In First Out* – primeiro que entra primeiro que sai), que irá sequenciar os produtos fabricados, com um sistema puxado logo após o FIFO. A Figura 5 ilustra o fluxo contínuo em um processo de produção.

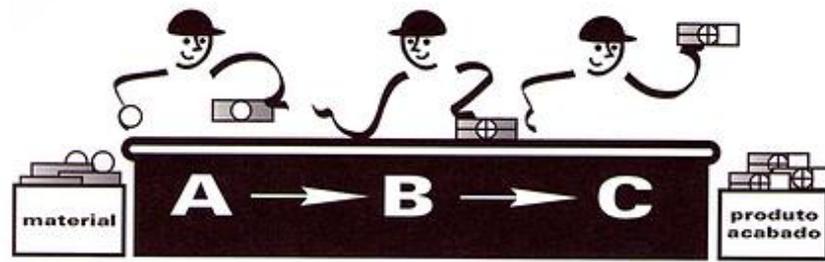


Figura 5 - Fluxo contínuo de produção
Fonte: Rother e Shook (2012)

4) Estabelecer sistema puxado com base em supermercados para controle da produção onde for necessário: nas etapas nas quais não for possível se estabelecer um fluxo contínuo de peças, deve-se implementar supermercados que irão regular a produção dos processos anteriores, fazendo com que os mesmos só produzam os produtos necessários, na quantidade necessária e no momento necessário. A Figura 6 representa o sistema puxado com base em supermercados.

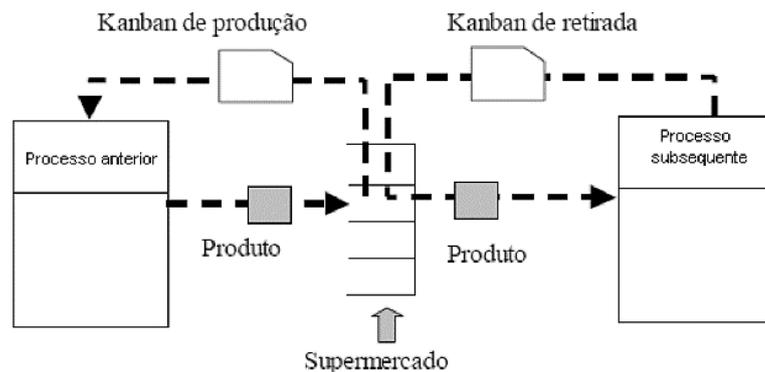


Figura 6 - Sistema puxado com base em supermercados
Fonte: Rother e Shook (2012)

O fluxo de peças em um sistema puxado com base em supermercados geralmente é realizado por meio de cartões *Kanban*. Um *Kanban* de retirada funciona como uma lista de compras que instrui o movimentador de materiais a pegar uma determinada quantidade de peças do supermercado do processo anterior e transferi-las para o processo posterior, enquanto o *Kanban* de produção é responsável por disparar a produção de peças no processo anterior para repor a quantidade retirada pelo processo posterior.

5) Definir o processo puxador que receberá a programação da produção: o processo puxador é o responsável por ditar o ritmo dos demais processos do fluxo e deve ser o único a

receber a programação da produção. O processo puxador deve ser a última etapa do sistema puxado no fluxo de valor, os processos seguintes, caso existam, devem trabalhar com um fluxo contínuo de materiais. Geralmente, nas linhas que fabricam produtos sob encomenda, o ponto de programação deve estar próximo aos processos iniciais do fluxo de valor. A Figura 7 apresenta a definição do processo puxador em sistemas puxados de produção.

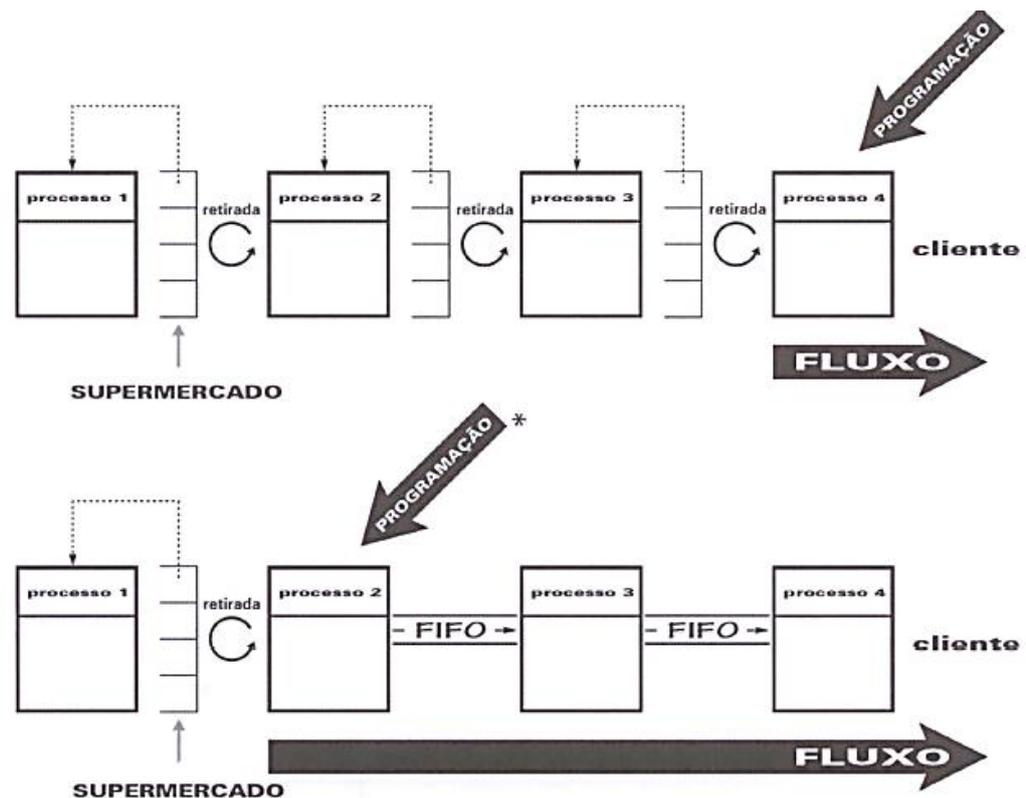


Figura 7 - Definição do processo puxador
Fonte: Rother e Shook (2012)

6) Nivelar o *mix* de produção no processo puxador: nivelar o *mix* consiste em distribuir a fabricação dos diversos tipos de produtos, requeridos pelos clientes, ao longo de um período ou turno, garantindo que os mesmos sejam fabricados em ritmo constante e em pequenos lotes.

Quanto mais nivelado o *mix* de produção mais eficiente é o atendimento à demanda do cliente, já que a estratégia de agrupar os mesmos produtos e produzi-los todos de uma vez para, por exemplo, otimizar a realização de *setups*, dificulta o atendimento dos clientes que querem algo diferente do lote que está sendo produzido.

7) **Nivelar o volume de produtos liberados e retirados do processo puxador:** para nivelar o volume de produtos utiliza-se o conceito de *pitch* e o quadro de nivelamento de carga ao longo do turno, chamado de *heijunka box*.

Tais conceitos sincronizam a saída e entrada de uma determinada quantidade de produtos, por meio do quadro de nivelamento de carga ou *heijunka box*, em um determinado intervalo de tempo, chamado de incremento *pitch*, calculado através da multiplicação do *Takt Time* pela quantidade de produtos liberados em uma embalagem.

A Figura 8 apresenta uma ilustração do *heijunka box* e a Figura 9 ilustra um sistema puxado com nivelamento de *mix* e volume de produção alinhado ao conceito de *pitch*, denominado retirada compassada.

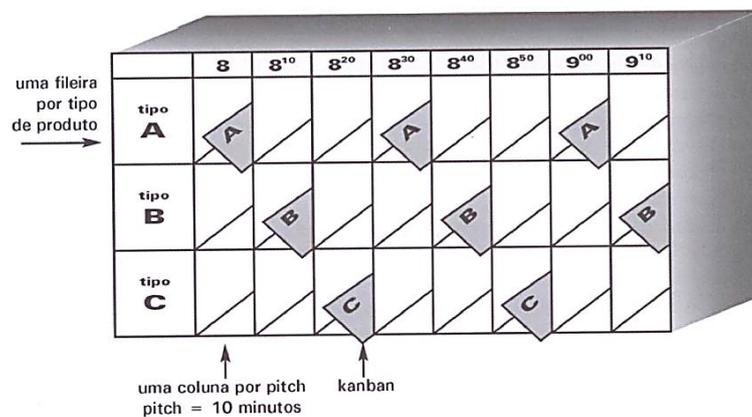


Figura 8 - Heijunka Box
Fonte: Rother e Shook (2012)

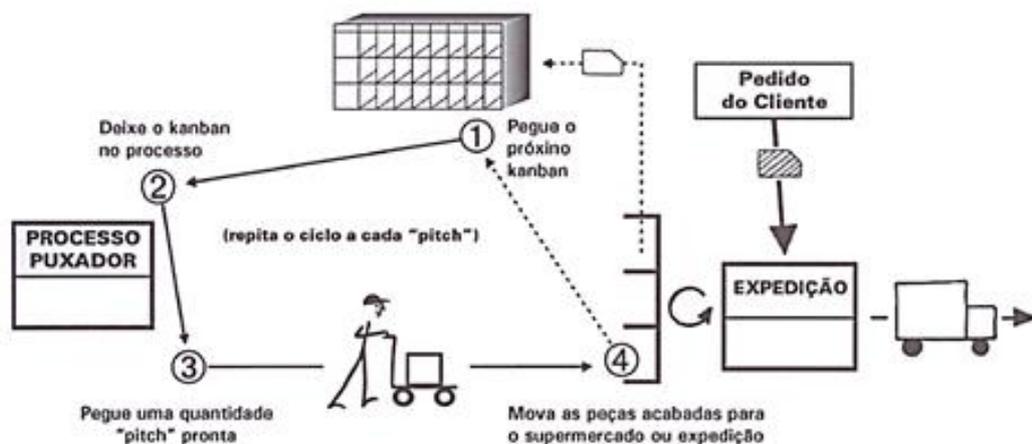


Figura 9 - Retirada compassada
Fonte: Rother e Shook (2012)

8) Efetuar melhorias no processo para que o fluxo de valor funcione conforme seu estado ideal: para que o fluxo de valor funcione conforme o seu mapa do estado futuro, são necessárias melhorias nos processos, como, por exemplo, a redução do tempo de troca e do tamanho dos lotes de produção, o aumento da disponibilidade dos equipamentos, a eliminação dos desperdícios e o desenvolvimento da habilidade de fazer toda peça todo dia.

As oportunidades de melhoria dão origem aos eventos *Kaizens* no fluxo ou no processo mapeado. Dessa maneira, o mapeamento do fluxo de valor é, então, uma ferramenta que torna bem mais efetivo os esforços *Kaizen* ou alguma técnica de Manufatura Enxuta, uma vez que permite identificar cada etapa do fluxo ou do processo, de maneira sistemática, construindo uma completa cadeia de valor de acordo com os princípios enxutos.

A última etapa do MFV consiste em criar o plano para implementação do fluxo de valor no estado futuro que, segundo Rother e Shook (2012), pode ser um documento compacto incluindo o mapa do estado futuro, o *layout* do processo, caso necessário, um plano anual do fluxo de valor.

O plano de implementação pode ser descrito, por exemplo, na forma de um cronograma através da utilização da ferramenta da qualidade 5W2H, na qual consiste basicamente em definir para cada etapa da implementação o que será feito, por que será feito, onde será feito, quando será feito, por quem será feito, como será feito e quanto custará fazer.

De acordo com o estudo de Lugert *et al.* (2018), a utilização do MFV em sua forma clássica revela alguns resultados específicos tais como: aumento significativo do valor agregado na realização das atividades em termos qualitativos e quantitativos; desperdícios e o potencial para melhoria são evidenciados; proporciona um aumento na qualidade, eficiência e produtividade dos processos; o *Lead Time*, os tempos de ciclo e os estoques são reduzidos; melhora o desempenho de entrega e aumenta o valor agregado aos produtos. Além disso, o MFV apresenta-se como uma eficiente ferramenta de comunicação entre a gerência e os funcionários do chão de fábrica.

Entretanto, em alguns casos, existem limitações na aplicação do método do MFV. Seth *et al.* (2017) apresentaram dificuldades para aplicação do MFV em um ambiente de produção complexa com grande variedade de produtos e baixo volume, causadas principalmente por algumas "premissas do MFV" e alguns "micro-conceitos", como, por exemplo, a aplicação da técnica somente em processos produtivos, deixando de lado processos administrativos importantes como vendas, engenharia e desenvolvimento de produtos.

Para sistemas de produção mais complexos, Braglia *et al.* (2006), apresentaram uma adaptação do MFV, denominado Mapeamento do Fluxo de Valor Melhorado (*Improved Value Stream Mapping – IVSM*), tendo como objetivo melhorar a precisão do MFV e resolver problemas de produção não-lineares.

A ideia central dessa ferramenta, de acordo com os autores, é identificar o processo crítico do fluxo de valor e otimizá-lo através da utilização dos conceitos e ferramentas da manufatura enxuta. Dessa maneira, o segundo processo crítico passa a ser o grande problema do fluxo de valor que também deverá ser otimizado com práticas enxutas. Após várias iterações todo o sistema será otimizado.

A próxima seção apresenta alguns dos conceitos e ferramentas da Manufatura Enxuta que foram utilizadas nesse trabalho, na etapa de aplicação no objeto de estudo.

2.1.3 Conceitos e ferramentas da Manufatura Enxuta

O objetivo desta seção é definir alguns dos conceitos e ferramentas da ME, de acordo com o manual Léxico *Lean* compilado pelo *Lean Enterprise Institute* (2007), que são aplicados em ambientes de produção para melhoria do fluxo de valor. São elas:

– **Gerenciamento Visual:** é uma ferramenta que contribui para um aumento de eficiência nos processos, por meio da colocação em local de fácil visualização de todas as ferramentas, peças, atividades de fabricação e indicadores de desempenho. Tal ferramenta permite que qualquer pessoa possa acompanhar e entender a situação da produção em relação ao que foi programado;

– **Trabalho Padronizado:** o objetivo do trabalho padronizado é definir a melhor sequência para a execução das atividades que agregam valor, bem como garantir sua repetibilidade de forma eficiente e segura. Após o estabelecimento e exposição do trabalho padronizado nas etapas de fabricação, ele é objeto de melhoria contínua através de *Kaizen*. Os benefícios da aplicação do trabalho padronizado incluem redução na variação da execução das atividades, facilitação de treinamento de operadores, documentação do processo e a redução de riscos e acidentes;

– **Substituição da Produção Empurrada pela Produção Puxada:** a produção puxada é uma técnica que controla o fluxo de produção e os estoques intermediários de maneira que um processo só irá produzir o que o processo seguinte requisitar e quando requisitar. Dessa

maneira, os processos posteriores sempre puxam os processos anteriores, evitando a produção em excesso;

– **Balanceamento:** a técnica do balanceamento é fundamental para manter a linha de produção estável e ajuda na criação de um fluxo contínuo de produção, por meio da distribuição equilibrada das cargas de trabalho entre as diversas etapas de montagem. Quando as cargas de trabalho são avaliadas em relação ao *Takt Time*, possibilita o dimensionamento do número de etapas do processo e do número de operadores necessários;

– **Tempo *Pitch*:** o tempo *Pitch* é definido como a quantidade de tempo necessária em uma área de produção para completar a fabricação de um lote ou contêiner de produtos, sendo calculado pela multiplicação do tempo *Takt* pela quantidade do lote. O tempo *Pitch*, quando utilizado juntamente com um quadro de nivelamento de carga e a retirada compassada de materiais, ajuda a estabelecer o ritmo de produção de uma planta ou processo.

Uma vez que o objetivo deste trabalho é aplicar os conceitos e técnicas de Manufatura Enxuta em ambientes com tipologia de produção ETO, faz-se necessário uma definição das tipologias de produção e a realização de um estudo sobre o estado da arte da aplicação da ME nos ambientes ETO.

2.2 As tipologias de produção

Segundo Pires (1995), a classificação das tipologias de produção são realizadas de acordo com a forma na qual o sistema de produção responde à demanda do cliente e o grau de participação do mesmo na definição do produto, podendo ser de diferentes formas para necessidades específicas.

De acordo com Amrani *et al.* (2010), a ampla variedade de produtos induz as empresas a adotarem diferentes estratégias de fabricação, sendo essas denominadas: *Make-To-Stock* (MTS) ou Produção para Estoque, *Assembly-To-Order* (ATO) ou Montagem sob Encomenda, *Make-To-Order* (MTO) ou Produção sob Encomenda e *Engineer-To-Order* (ETO) ou Engenharia sob Encomenda.

Errasti e Poler (2008) apresentaram a distinção entre essas estratégias de manufatura por meio do ponto em que o pedido do cliente é percebido pela organização, denominado ponto de desacoplamento, que representa a profundidade com que o pedido do cliente é inserido no sistema de fornecimento.

A Figura 10 representa a diferença entre essas estratégias de manufatura, utilizando o conceito do ponto de desacoplamento, através de quatro fases principais do ciclo de vida interno de um produto: projeto, fabricação, montagem e estoque de produtos finais.

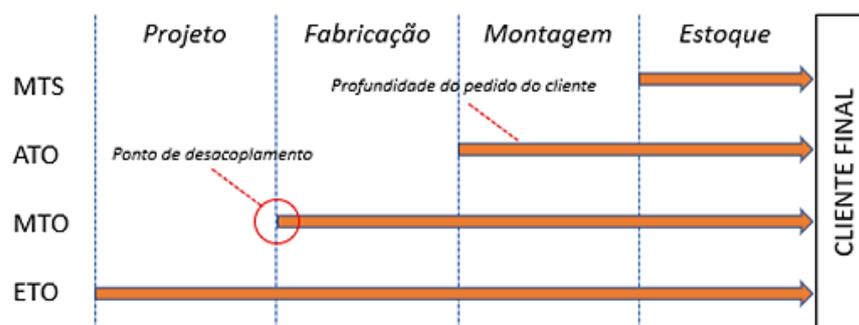


Figura 10 - Ponto de desacoplamento em diferentes estratégias de produção
Fonte: Adaptado de Errasti e Poler (2008)

Segundo Olhager (2010), as diferentes tipologias de produção estão relacionadas à capacidade das operações de manufatura em oferecer a personalização de um produto ou uma ampla variedade de produtos.

O autor define o ponto de desacoplamento como o ponto de separação entre a parte do fluxo de material que é orientado pela previsão de demanda (à esquerda do ponto de desacoplamento) e a parte que é orientado pela ordem do cliente (à direita do ponto de desacoplamento).

De acordo com Chen (2006), a tipologia MTS fabrica produtos em grande volume. Um sistema de planejamento central é usado para preparar e emitir ordens de produção que fabricam componentes e montam produtos de acordo com uma previsão de demanda e atualizações de estoque.

Segundo o autor, nessa tipologia, os componentes e produtos acabados são mantidos em estoque, de acordo com a política de estoques da empresa, que geralmente é projetada para minimizar o tempo de entrega e os custos gerais de operação. Nesses ambientes, o preço é uma ferramenta de marketing para mover produtos acabados do estoque.

Nesse caso, segundo Pires (1995), a interferência dos clientes na concepção dos produtos é mínima ou inexistente. Uma vantagem deste sistema é que geralmente os produtos já estão prontos e armazenados em estoques, o que torna a entrega do produto muito rápida.

Uma desvantagem é que os custos com armazenagem e manutenção de estoques tendem a ser elevados.

Nos sistemas de Montagem sob Encomenda (ATO), de acordo com Pires (1995), a principal característica é o armazenamento de subprodutos em estoque, geralmente de uso comum para todos produtos, até que o cliente envie o pedido de compra contendo as especificações para a montagem do produto final.

Para essa tipologia, segundo o autor, existe uma pequena interação dos clientes com o projeto dos produtos e as entregas tendem a ser mais lentas do que em sistemas MTS, porém, as incertezas da demanda podem ser controladas através dos estoques de subprodutos e o aumento da capacidade nas linhas de montagem.

Os sistemas de Produção sob Encomenda (MTO) são caracterizados pela produção de produtos customizados, projetados a partir das especificações dos clientes. A interferência do cliente costuma ser grande e o produto pode sofrer modificações mesmo durante a fase de produção. Nesse caso, o tempo de entrega costuma ser de médio a longo prazo (PIRES, 1995).

Segundo Pires (2004), o que será produzido nesse sistema pode variar desde a escolha de um produto a partir de um conjunto de opções oferecidas até a customização total de um produto existente.

Nessa linha, Chen (2006) define que o objetivo da tipologia MTO é customizar produtos para atender às necessidades individuais e o seu preço é estimado e negociado no momento da contratação. Normalmente esse produto irá custar mais e terá um *Lead Time* de entrega maior.

A tipologia de produção de Engenharia sob Encomenda (ETO) é semelhante à MTO, com produtos fabricados a partir das especificações de clientes, porém, sua complexidade é maior, pois o grau de interferência dos clientes costuma ser muito grande e os produtos só podem ser fabricados a partir da definição específica do projeto. Nesse sistema o processo de projetar o produto vem após o processo de venda do mesmo (PIRES, 2004).

Segundo McGovern *et al.* (1999), em organizações com tipologia ETO, o cliente fica exposto ao *Lead Time* total de concepção e fabricação do produto, no qual inclui a elaboração do projeto conceitual detalhado, aquisição de matérias-primas específicas, fabricação, montagem, testes e comissionamento dos equipamentos, diferente da tipologia MTO na qual, geralmente, não são desenvolvidos novos produtos e soluções.

De acordo com Chen (2006), a produção ETO é um processo de desenvolvimento de produto que começa com uma especificação técnica e termina com um projeto de engenharia.

Em uma operação clássica de ETO, a funcionalidade do produto é o principal foco do *design* e a fabricação é caracterizada por alta variedade de produtos e baixo volume de produção.

De acordo com Birkie *et al.* (2017), devido aos peculiares arranjos organizacionais e operacionais, o ambiente de ETO é caracterizado por alta complexidade e alto dinamismo. A complexidade refere-se ao nível de heterogeneidade, ou seja, um grande número de diferentes fatores que afetam a tomada de decisão, enquanto o dinamismo está relacionado à imprevisibilidade e ausência de padrões, ou seja, os fatores de decisão mudam continuamente.

Segundo os autores, as empresas que trabalham com a tipologia ETO são constantemente forçadas a cumprirem os requisitos específicos dos clientes de forma flexível e prazos mais curtos para permanecerem competitivas.

Ainda de acordo com os autores, os clientes da ETO exigem que suas solicitações de mudança, mesmo que tardias, sejam completamente atendidas. Dessa maneira, melhorar a eficiência dos custos é importante para a alta variedade e baixo volume de produção.

Como o foco desse trabalho é a aplicação dos conceitos e ferramentas da Manufatura Enxuta em um sistema de produção com tipologia ETO, o tópico a seguir apresenta uma Revisão Sistemática da Literatura desenvolvida sobre o tema.

2.3 Revisão Sistemática de Literatura: Manufatura Enxuta em *Engineer-To-Order*

O objetivo desta Revisão Sistemática de Literatura (RSL) é realizar um estudo sobre o estado da arte no que se refere à aplicação dos conceitos da Manufatura Enxuta em ambientes de produção com tipologia *Engineer-To-Order* (ETO), investigando a existência de recomendações, adaptações ou até mesmo um método específico, necessário para o sucesso da implementação. Além disso, a RSL permite avaliar o nível de contribuição deste trabalho em relação ao tema abordado.

Segundo Thorpe *et al.* (2005), a RSL consiste em reunir a maioria dos estudos existentes que são relevantes para a pesquisa em desenvolvimento, baseando-se em um processo estruturado e transparente, de modo a ser reaplicável.

Para Moher *et al.* (2015), a RSL é um método que visa responder uma questão específica de pesquisa por meio da coleta de todas as evidências relevantes e que se adequem a critérios de elegibilidade pré-estabelecidos.

Nesta RSL optou-se pela busca e análise de artigos que apresentam evidências claras quanto ao atendimento do objetivo proposto neste trabalho. Assim, foram elaboradas três questões para guiar a coleta dos artigos relevantes que abordem o tema proposto, sendo essas:

- i) O estudo apresenta em seu conteúdo uma descrição ou análise das particularidades e dificuldades da aplicação dos conceitos e ferramentas da ME em linhas de produção com tipologia ETO?
- ii) O estudo descreve ou analisa como adaptar os conceitos e ferramentas da ME à tipologia ETO, frente às particularidades e dificuldades apresentadas pela aplicação destes conceitos e ferramentas nesta tipologia?
- iii) O estudo propõe um método específico que orienta a implantação dos conceitos e ferramentas da ME nos ambientes de produção com tipologia ETO?

A busca dos artigos foi realizada exclusivamente por meio do Portal de Periódicos CAPES/MEC, acessado nos meses de julho e agosto de 2018. Para a realização das pesquisas, foram definidos os termos de busca relacionados aos temas ME e ETO e, como filtro, determinou-se que os artigos deveriam ser em inglês e revisado por pares, não limitando-se o período de publicação dos mesmos e nem a bases de dados específicas.

As buscas foram realizadas utilizando um termo da ME com um termo da ETO por meio da regra “E”, na qual deveria conter os termos buscados em qualquer campo do texto, não limitando ao título ou assunto. Dessa maneira, foram identificados todos os artigos que apresentam os termos definidos para ME e para ETO simultaneamente.

Em relação ao tema Manufatura Enxuta, optou-se por realizar uma busca mais específica, utilizando somente os termos: “*Lean Production*”, “*Lean Manufacturing*” e “*Toyota Production System*”. Para os termos referentes à ETO, optou-se por uma busca mais abrangente, utilizando termos que definam e caracterizem ambientes com esta tipologia específica ou com outras semelhantes, sendo esses: “*Engineer-To-Order*”, “*Make-To-Order*”, “*Complex environment*”, “*Dynamic environment*” e “*High-mix-low-volume*”. As buscas foram realizadas utilizando, individualmente, cada termo da ME com cada termo da ETO.

Devido à utilização de termos mais abrangentes relacionados ao tema ETO, muitos artigos encontrados não abordam o objetivo proposto neste trabalho. Dessa maneira, foram identificados e eliminados desta RSL os artigos que apresentam a aplicação da Manufatura Enxuta em áreas não relacionadas à produção, como, por exemplo, contabilidade (KENNEDY

e WIDENER, 2008), tecnologia da informação (RIEZEBOS e KLINGENBERG, 2009) e serviços (HADID e MANSOURI, 2014).

Foram excluídos também os artigos que integram o conceito de Manufatura Enxuta à outras ferramentas e metodologias, como, por exemplo, a simulação (GURUMURTHY e KODALI, 2011) e a fabricação com resposta rápida (STUMP e BADURDEEN, 2012).

A Figura 11 apresenta o fluxo de informação utilizado para a condução desta RSL, no qual foi adaptado a partir do padrão definido por Moher *et al.* (2015).



Figura 11 - Fluxo de informação da RSL
Fonte: Adaptado de Moher *et al.* (2015)

Utilizando os parâmetros inicialmente definidos para busca, foram identificados 34 artigos nas bases de dados. Assim, iniciou-se a fase de seleção dos estudos relevantes, a partir da leitura dos títulos, resumos e palavras chaves.

Ao término desta fase, somente 7 artigos foram selecionados para a fase de avaliação de conteúdo na íntegra e inclusão na RSL. O Quadro 1 apresenta os artigos selecionados, identificando os autores, as revistas acadêmicas, o ano de publicação, o país de origem e uma descrição sobre o tema abordado.

A seguir, realiza-se uma análise de cada artigo selecionado e a extração das informações que respondem as questões propostas para essa Revisão Sistemática de Literatura, sendo considerada mais relevante para este trabalho aquela que identifica as adaptações necessárias para a aplicação dos conceitos e ferramentas da ME na tipologia ETO.

Referência	Revista	País	Descrição
Jina <i>et al.</i> (1997)	<i>Logistics Information Management</i>	Reino Unido	Aplicação de princípios enxutos para alta variedade de produtos e baixos volumes
Danford (2010)	<i>Modern Machine Shop</i>	Estados Unidos	Aplicação de princípios enxutos para alta variedade de produtos e baixos volumes
Thurer <i>et al.</i> (2012)	<i>Production and Operations Management</i>	Portugal	Solução enxuta para empresas sob encomenda
Matt (2014)	<i>Journal of Manufacturing Technology Management</i>	Itália	Adaptação do MFV para produção lean em ambientes ETO
Raghavan <i>et al.</i> (2013)	<i>International Journal of Lean Six Sigma</i>	Estados Unidos	Aplicação de princípios enxutos para alta variedade de produtos e baixos volumes
Birkie e Trucco (2016)	<i>Production planning & control (Print)</i>	Suécia	Influência dos fatores de dinamismo e complexidade na implementação enxuta
Birkie <i>et al.</i> (2017)	<i>International Journal of Lean Six Sigma</i>	Suécia	Sustentação do desempenho sob variação operacional utilizando os princípios enxutos

Quadro 1 - Artigos selecionados para RSL

Fonte: Elaborado pelo autor

O primeiro artigo analisado é uma pesquisa realizada por Jina *et al.* (1997), na qual é apresentada uma aplicação dos conceitos da ME em um ambiente com alta variedade de produtos e baixo volume (AVBV), que caracteriza a tipologia ETO, destacando as dificuldades para a aplicação dos princípios enxutos neste tipo de produção.

As principais dificuldades destacadas pelos autores no artigo são: i) a falta de clareza de compreensão do que o ambiente com AVBV realmente significa; ii) o problema associado à “turbulência” do sistema de manufatura; iii) o gerenciamento do sistema de manufatura. As dificuldades apontadas são resumidas nos próximos três parágrafos.

No que diz respeito à dificuldade de compreensão dos ambientes com AVBV, os autores mostram que as sutilezas de volume, complexidade do produto, estrutura da indústria e relações da cadeia de suprimentos tornam a tarefa de elaborar estratégias de manufatura enxuta para esses tipos de produção ainda mais complicadas.

A outra dificuldade apresentada pelos autores é a chamada “turbulência”, que descreve o comportamento resultante da variabilidade e da incerteza dos insumos, fazendo com que o sistema de fabricação experimente comportamentos imprevisíveis.

Quatro tipos de fatores que podem causar a turbulência são identificados pelos autores, sendo eles: (1) alterações na programação de um determinado período à medida que o tempo se aproxima da data de vencimento da entrega; (2) diferenças marcantes do *mix* de produtos entre um período e o próximo; (3) mudanças de volume agregadas entre os períodos; (4) o grau e a frequência da alteração do projeto dos produtos, particularmente dentro do prazo de entrega do cliente.

Em relação ao gerenciamento do sistema de manufatura, os autores explicam que uma das características importantes das organizações com grande volume e baixa ou média variedade de produtos, é que elas são capazes de atenuar o impacto da variabilidade dos insumos no sistema de fabricação, separando a cadeia de suprimentos interna da cadeia de fornecimento externa, tendo como resultado um cronograma nivelado dentro de um conjunto de parâmetros de flexibilidade bem definidos. Tal fato não acontece em ambientes com tipologia ETO, dificultando o gerenciamento do sistema de gestão da produção.

Segundo os autores, as dificuldades combinam-se para criar argumentos fortes contra a tentativa de aplicar os princípios da ME em organizações de AVBV. Os procedimentos e sistemas parecem muito complexos para superar os problemas. Além disso, considera-se que o retorno potencial seria marginal para o esforço que precisaria ser gasto. As barreiras parecem ser técnicas e organizacionais por natureza.

A partir das dificuldades, os autores apresentam três principais adaptações dos princípios enxutos para o tipo de ambiente em estudo, sendo elas: 1) o desenvolvimento de produto voltado à logística e fabricação; 2) a organização da manufatura de acordo com os princípios enxutos; 3) a integração com fornecedores. As adaptações propostas são resumidas nos próximos três parágrafos.

O desenvolvimento do produto voltado à logística e fabricação busca reduzir custos e complexidade, sendo necessário para isso a padronização de matérias-primas, que facilita a integração com os fornecedores e o controle de mudança de engenharia em etapas, que inclui a definição e o fornecimento de todos os dados, ferramentas e planos de qualidade necessários ao processo de fabricação.

A organização da manufatura de acordo com os princípios enxutos aborda a utilização de uma equipe multifuncional para a realização do trabalho, garantindo dessa maneira uma flexibilidade de produção, a construção do plano mestre de produção e o sequenciamento das linhas de produção utilizando o conceito de “primeiro que entra, primeiro que sai” (PEPS).

A integração com fornecedores tem como objetivo amenizar a desvantagem de se trabalhar com volumes mais baixos, que dificulta o desenvolvimento das parcerias mais lucrativas em termos de quantidade, frequência e preço de entrega.

As iniciativas de desenvolvimento de produto voltado à logística e manufatura contribuem para essa integração, uma vez que a padronização de matérias-primas pode ser usada para aumentar os volumes e alavancar o relacionamento com o fornecedor.

Para os autores, com o uso crescente de técnicas enxutas, o fabricante pode se beneficiar também, aprendendo com um fornecedor maior, que pode ser parceiro em uma cadeia de suprimentos com os principais montadores de alto volume.

O segundo artigo analisado é um estudo realizado por Danford (2010), que apresenta o caso de uma empresa fabricante de produtos com alta variedade de *mix* e baixo volume, que implementou conceitos da manufatura enxuta com o objetivo de aumentar sua produtividade.

Na aplicação, a principal adaptação dos conceitos e ferramentas enxutas apresentada consiste na organização das tarefas em famílias de processos, ao em vez de famílias de produtos, com o objetivo de simplificar o entendimento e a utilização da ferramenta do mapeamento do fluxo de valor.

De acordo com o autor, a flexibilidade necessária para acomodar mudanças inevitáveis na demanda e no *mix* de produtos é alcançada a partir da implementação dos chamados *layouts* celulares híbridos.

Esse arranjo combina a flexibilidade de um *layout* de processo, no qual máquinas de tipos semelhantes são agrupadas, com os baixos tempos de produção e níveis de trabalho em processo de *layouts* celulares dedicados.

A aplicação de células híbridas em torno de famílias de processos proporcionou, segundo os dados apresentados pelo autor, reduções de cerca de 45% no *Lead Time* e o aumento de produtividade de até 25% nas linhas de fabricação.

O terceiro artigo é de Thurer *et al.* (2012), no qual apresentam uma adaptação da ferramenta de controle da carga de trabalho para ambientes com produção sob encomenda, tendo como objetivo proteger a eficiência das linhas de fabricação da variação. O controle de carga de trabalho controla o *Lead Time*, a capacidade e o estoque em processo em células de trabalho complexas e sob encomenda.

O método de liberação de pedidos, proposto pelos autores, combina o lançamento contínuo com lançamento periódico de ordens de fabricação, permitindo que a liberação de trabalho seja disparada em períodos, caso um centro de trabalho sofra com escassez.

Os resultados apresentados pelos autores têm implicações significativas para a pesquisa e prática: os tempos de produção e os resultados de atrasos no trabalho podem ser melhorados simultaneamente e as regras de liberação e despacho podem se complementar. Dessa maneira, o controle da carga de trabalho representa um meio eficaz de implementar os princípios enxutos em um contexto de produção sob encomenda.

O quarto artigo é um estudo realizado por Matt (2014), no qual é apresentada uma adaptação do MFV para tipologia ETO. Para essa aplicação, como nenhum produto passa por uma mesma sequência de processos no fluxo de valor, os representantes-chave do gerenciamento da produção, com base em suas experiências no trabalho, registraram as diversas possíveis sequências de fabricação e, dessa maneira, o mapa do estado atual elaborado apresenta uma superposição de diversos cenários.

Para desenvolver sistematicamente um mapa do estado futuro, a partir do mapeamento do estado atual elaborado, o autor apresenta 6 diretrizes, sendo essas: i) identificar os pontos de fusão no mapa de estado atual e introduzir as áreas de sincronização na frente deles; ii) combinar os processos com carga de trabalho altamente flutuante em uma área de oficina operada por uma força de trabalho altamente flexível; iii) dividir os pedidos do cliente em ordens de produção adequadas e liberar incrementos de tempo iguais de trabalho; iv) evitar cruzamentos de fluxos de materiais; v) atribuir espaços de montagem com flexibilidade de acordo com o progresso da produção, prioridades e requisitos de espaço; vi) evitar o armazenamento de material residual perto das máquinas e locais de trabalho.

A partir da implementação das mudanças no fluxo de valor e no *layout* da fábrica, a taxa real de produção, medida em faturamento, cresceu 20% sem a necessidade de mais mão-de-obra. A pesquisa revela que o mapeamento e a análise da superposição de múltiplos fluxos de valor sobrepostos mostra oportunidades gerais de melhoria. Os resultados obtidos são limitados, mas podem ser muito úteis para outras indústrias.

No entanto, o autor salienta que ainda existem algumas lacunas que sugerem que há muito trabalho de pesquisa a ser feito, incluindo aprimoramentos em suporte de dados e informações, especialmente sobre os detalhes do dimensionamento de lote, o tempo de ciclo e o controle de estoques em processo.

O autor sugere em seu estudo que, em ambientes com tipologia ETO, a aplicação do MFV é fundamental não apenas em áreas produtivas, mas também em áreas administrativas, como a de desenvolvimento de produtos, engenharia e PCP, pois tendem a ser um dos maiores gargalos do sistema de gestão e podem apresentar diversas oportunidades de melhorias.

O quinto artigo, realizado por Raghavan *et al.* (2014), apresenta uma aplicação de princípios enxutos em ambientes com alta variedade de produtos e baixo volume por meio da implementação de um sistema puxado.

Segundo os autores, o objetivo da aplicação é controlar o fluxo de produção e os estoques intermediários entre os processos a partir da restrição de produção, fazendo com que os processos posteriores sempre “puxem” a fabricação dos processos anteriores, com a restrição ditando o ritmo para o fluxo de valor.

Na aplicação apresentada pelos autores, utilizou-se um sistema puxado sequencial misto, no qual cada um dos processos produz em sequência os itens que chegam, mantendo *Lead Times* curtos e previsíveis. Em alguns pontos do fluxo de valor foram utilizados *Kanbans* para controle do nível de estoque e, dessa forma, os produtos foram feitos sob encomenda e o estoque do sistema foi minimizado.

O sexto artigo é um estudo de caso no qual Birkie e Trucco (2016) apresentam a influência dos fatores de dinamismo e complexidade, características fundamentais da tipologia ETO, na implementação da estratégia enxuta.

A partir da análise da implantação dos princípios enxutos em duas empresas com tipologia ETO, os autores argumentam que fatores de complexidade e dinamismo são constituídos não apenas por fatores externos às empresas, como a demanda e os requisitos técnicos do clientes, mas também a fatores internos e que estão sob o controle da organização, como o gerenciamento do fluxo de valor.

Os autores mostram que alguns subfatores de complexidade e dinamismo, identificados em produção repetitiva, como ciclo de vida de produto curto (relacionado à turbulência tecnológica) e mudança no modo de produção, pode não ser tão relevante e aplicável quando se trata da tipologia ETO.

No estudo os autores relatam que a complexidade motiva a implementação enxuta, como a utilização de técnicas para padronização do trabalho e de materiais, e o dinamismo pode levar a possíveis contratempos, como a sazonalidade da demanda e a variação no tempo de fabricação

dos produtos. Porém, tanto a complexidade quanto o dinamismo parecem influenciar positivamente a performance enxuta.

Segundo os autores os fatores de complexidade são uma boa oportunidade para extrair melhor valor dos processos, incluindo estratégias para combater os desafios dos fatores de dinamismo, como por exemplo a utilização de gestão visual, métodos para resolução de problemas e a criação de uma relação de parceria com clientes estratégicos.

Tal fato justifica o interesse dos gerentes de ambientes ETO em implementar a Manufatura Enxuta em seu contexto de alta incerteza. Os gerentes precisam ter em mente as diferenças de contexto e os possíveis desafios no ETO para se beneficiar bem de suas implementações enxutas.

O sétimo e último artigo analisado é de Birkie *et al.* (2017), no qual é apresentada uma aplicação dos princípios enxutos em duas empresas com tipologia de produção ETO. Segundo os autores, para os contextos complexos e dinâmicos do ETO, uma implementação bem-sucedida da ME deve sustentar o desempenho e manter as melhorias incrementais, a despeito das incertezas inerentes a esta tipologia.

O primeiro ponto apresentado pelos autores é que, embora alguns métodos enxutos pareçam mais apropriados do que outros no ambiente ETO, a questão central para uma implementação contínua e um benefício de desempenho duradouro é a mentalidade dos funcionários em aceitar a mudança.

Os autores relatam que o uso de *Kanban* parece ser menos adequado na tipologia ETO. No entanto, as empresas em estudo apresentaram em suas aplicações personalizações dos cartões *Kanban*, utilizados para atender e fornecer informações específicas para diferentes pedidos.

Da mesma forma, outras práticas aparentemente inadequadas podem ser adaptadas para um contexto menos previsível. Segundo os autores, as adaptações das práticas enxutas usadas nas empresas ETO melhoram o sustento do desempenho, pois ajudam a manter sob controle a diversidade de pedidos.

Os esforços coletivos de customização, quando feitos adequadamente, influenciam positivamente as chances de os pedidos serem entregues em tempo hábil, com custos reduzidos e flexibilidade ainda melhor para acomodar as mudanças tardias. Mas para isso, é essencial obter um *Lead Time* curto por meio da aplicação dos conceitos e ferramentas enxutas.

De acordo com os relatos dos autores, a utilização de funcionários multifuncionais no chão da fábrica são uma fonte de capacidade de fabricação flexível que possibilita a redução do *Lead Time* de fabricação. O *Lead Time* reduzido obtido permite ter pontos de congelamento de mudança de projeto do cliente.

O contato próximo e a relação de longo prazo com os fornecedores, também é um ponto importante apresentado pelos autores, pois possibilita que os principais fornecedores apresentem seus planos de produção no chão de fábrica.

Outro ponto relatado pelos autores é que os engenheiros das empresas em estudo foram encorajados a se engajar em solução de problemas através de uma redução de estoque em processo, acumulado devido a um longo prazo de entrega ou não utilizado devido a mudanças posteriores nos pedidos de clientes, usando habilidades de engenharia para utilizar os itens já disponíveis.

Segundo os autores, ferramentas visuais no chão de fábrica são utilizadas para melhorar o fluxo, a rotação de trabalho e a utilização adequada da capacidade. As áreas de engenharia e desenvolvimento de produtos são foco de padronização, incluindo a criação de procedimentos para atualizar modificações do pedido em diferentes estágios do processamento de uma ordem.

Os principais ganhos de desempenho por meio das práticas enxutas nas empresas em estudo, apresentado em dados pelos autores, foram a melhoria no índice de entrega no prazo e o aumento da capacidade por meio da flexibilidade de fabricação, que possibilita tratar as mudanças necessárias para não perder as vendas de competência estratégica para os clientes.

O Quadro 2 apresenta uma síntese dos artigos analisados nesta Revisão Sistemática de Literatura, destacando as dificuldades e principalmente as adaptações e recomendações apresentadas em cada um para a aplicação dos conceitos e ferramentas da ME em ambientes com tipologia ETO.

Uma das questões que esta RSL busca responder é sobre a existência de um método específico que orienta a implantação dos conceitos e ferramentas da ME nos ambientes ETO. Porém, a partir dos artigos analisados, fica evidente que não existe um método específico para aplicação nesses ambientes, sendo necessárias adaptações para cada caso.

Referência	Dificuldades	Adaptações e Recomendações
Jina <i>et al.</i> (1997)	Dificuldade de compreensão dos ambientes ETO; Variabilidade e incerteza do ambiente de produção; Gerenciamento do sistema de produção	Desenvolvimento de produto voltado à logística e fabricação; Organização da produção de acordo com princípios enxutos; Integração com fornecedores
Danford (2010)	Mudanças na demanda e <i>mix</i> de produtos	Organização da produção em famílias de processos; Utilização de <i>layouts</i> celulares híbridos
Thurer <i>et al.</i> (2012)	Mudanças na demanda de produtos	Controle da carga de trabalho através de lançamentos periódicos de ordens de fabricação
Matt (2014)	Dimensionamento de lote, determinação do tempo de ciclo e controle de estoques em processo; Aplicação do MFV em áreas administrativas	Diretrizes para elaboração do mapa do estado futuro do MFV
Raghavan <i>et al.</i> (2013)	Controle do fluxo de produção e estoques intermediários	Utilização de um sistema puxado sequencial misto
Birkie e Trucco (2016)	Fatores de complexidade e dinamismo de sistemas ETO (sazonalidade de demanda, requisitos técnicos de clientes, variação do tempo de fabricação)	Gestão visual; Método para resolução de problemas; Relação de parceria com clientes estratégicos
Birkie <i>et al.</i> (2017)	Fatores de complexidade e dinamismo de sistemas ETO (incertezas e diversidade de pedidos)	Mudança de mentalidade dos funcionários; Utilização de funcionários multifuncionais; Controles visuais no chão de fábrica

Quadro 2 - Dificuldades, adaptações e recomendações para aplicação dos conceitos e ferramentas da ME na tipologia ETO segundo a RSL
Fonte: Elaborado pelo autor

Compreendida as dificuldades e principalmente as adaptações e recomendações para a aplicação dos conceitos e ferramentas da ME em ambientes com tipologia ETO, a etapa seguinte é apresentar o método de pesquisa utilizado neste trabalho, abordando a classificação da pesquisa, a definição do método da Pesquisa-Ação e a sua integração com as etapas do Mapeamento do Fluxo de Valor.

3 MÉTODO DE PESQUISA

3.1 Classificação da pesquisa

Este trabalho é classificado, quanto à natureza, como uma pesquisa aplicada, que tem como objetivo a solução de problemas práticos em uma linha de produção com tipologia ETO.

Segundo Appolinário (2006), a pesquisa aplicada é composta por objetivos práticos que visam o desenvolvimento de novos processos ou produtos orientados para as necessidades das organizações alvo da aplicação.

Quanto aos objetivos de pesquisa, sua classificação é de uma pesquisa normativa, na qual, de acordo com Bertrand e Fransoo (2002), busca o desenvolvimento de ações para aperfeiçoar os resultados disponíveis na literatura existente, para encontrar uma solução para novas definições de problemas ou para comparar estratégias relativas a um problema específico.

No caso deste projeto, buscou-se a solução de problemas práticos de uma linha de produção através da implementação de conceitos e técnicas da Manufatura Enxuta, na qual consiste em uma nova estratégia para o processo de produção.

Quanto a forma de abordagem do problema, este trabalho é considerado uma pesquisa combinada, uma vez que combina aspectos das pesquisas qualitativas e quantitativas nas etapas do processo de desenvolvimento do projeto.

Do ponto de vista dos métodos, utiliza-se neste trabalho o procedimento da pesquisa-ação, buscando a produção de conhecimento para a resolução prática de um problema em uma organização, na qual o pesquisador e os participantes da situação alvo de estudo estão envolvidos de modo participativo na resolução do problema. A definição e aplicação do método da pesquisa-ação é apresentada a seguir.

3.2 O método da Pesquisa-Ação

O método da pesquisa-ação, segundo Coghlan e Brannick (2008), tem sido tradicionalmente definido como uma abordagem à pesquisa que se baseia em uma relação colaborativa de solução de problemas entre o pesquisador e o cliente, que pode ser uma organização ou uma instituição, que busca ao mesmo tempo resolver problemas específicos e gerar novos conhecimentos.

Para os autores, a ideia chave por trás da pesquisa-ação é a utilização de uma abordagem científica que visa estudar a resolução de importantes questões sociais ou organizacionais, juntamente com aqueles que estão envolvidos com essas questões diretamente.

Por meio da pesquisa-ação é possível estudar dinamicamente os problemas, decisões, ações, negociações, conflitos e tomadas de decisão que ocorrem entre os agentes durante o processo de transformação da situação (THIOLLENT, 2007).

Analisando a terminologia da pesquisa-ação, define-se que o termo pesquisa refere-se à produção do conhecimento e o termo ação, à uma modificação intencional de uma realidade estudada, ou seja, o conhecimento é produzido e a realidade é modificada simultaneamente, cada um ocorrendo em consequência ao outro (MELLO *et al.*, 2012).

De acordo com Mello *et al.* (2012), a pesquisa-ação consiste basicamente em produzir conhecimento e resolver um problema prático. Nesse trabalho, o método será aplicado através da ferramenta do Mapeamento do Fluxo de Valor, utilizado como técnica para reconhecimento, investigação e resolução do problema.

O processo de pesquisa-ação é representado por um ciclo de pesquisa no qual se define uma sequência de ações no campo prático e no campo da investigação. Mello *et al.* (2012) afirmam que a sequência para a condução de uma pesquisa-ação ocorre em cinco fases, sendo elas: i) planejar a pesquisa-ação; ii) coletar dados; iii) analisar dados e planejar ações; iv) implementar ações; v) avaliar resultados e gerar relatório. A Figura 12 apresenta o ciclo da pesquisa-ação e cada uma de suas fases é explicada em seguida.



Figura 12 - O ciclo da pesquisa-ação
Fonte: Adaptado de Mello *et al.* (2012)

A primeira fase do método consiste em planejar a pesquisa-ação e depende da definição do problema da pesquisa que, de acordo com Avison *et al.* (2001), pode partir de um problema na literatura, identificado pelo pesquisador através da realização de uma fundamentação teórica, e aplicado em um objeto de estudo para ser resolvido cientificamente, ou então um problema prático, identificado por uma organização que procura um especialista teórico, e que deverá ser resolvido por meio de um método de pesquisa.

Segundo Mello *et al.* (2012), essa fase pode ser dividida em três etapas: a primeira etapa é a definição da estrutura conceitual-teórica, na qual se realiza uma revisão crítica de pesquisas e literaturas já existentes e que são significantes para a pesquisa que se está desenvolvendo; a segunda etapa consiste em selecionar a unidade de análise, com base na questão da pesquisa e nos problemas a serem resolvidos, e a técnica de coleta de dados, que pode ser realizado por meio de entrevistas coletivas no local de trabalho, entrevistas individuais aprofundadas ou ainda questionários convencionais em grande escala; a terceira etapa é a definição do contexto e propósito da pesquisa, sendo considerada uma etapa exploratória e de primeiro diagnóstico da situação, dos problemas e das eventuais ações.

A segunda fase do ciclo da pesquisa-ação é a coleta de dados que, de acordo com Coughlan e Coughlan (2002), pode ser realizada de diversas maneiras, sendo que grande parte das técnicas consiste na observação e participação direta do pesquisador na unidade de análise do problema.

De acordo com os autores, os dados podem ser coletados por meio de observação, discussões e entrevistas, chamados de dados primários, ou através de estatísticas operacionais, informes financeiros e relatórios de marketing, chamados de dados secundários. Porém, independente da forma de coleta desses dados, os mesmos devem ser armazenados em um banco de dados para que fiquem disponíveis para análises.

A terceira fase do ciclo consiste em analisar os dados coletados e planejar as ações que, para Coughlan e Coughlan (2002), deve ser colaborativa, ou seja, o pesquisador deve realizá-la em conjunto com os membros da organização ou instituição em estudo, pois esses são os especialistas do processo e os agentes da mudança, que irão implantar e acompanhar as ações propostas.

Segundo os autores, os critérios e ferramentas de análise precisam ser discutidos previamente e em seguida os dados tabulados devem ser comparados com o material existente na teoria envolvida no tema que está sendo pesquisado.

Segundo Mello *et al.* (2012), como um dos objetivos principais da pesquisa-ação é a resolução de um problema na prática, após a análise dos dados, o resultado esperado é um plano de ações para transformação da situação atual. O plano de ação deve ser detalhado, incluindo recomendações para prática, os responsáveis pela ação e o prazo para implementação.

A quarta fase do ciclo da pesquisa ação é a implementação do plano de ação elaborado pelos participantes da pesquisa que, de acordo com Coughlan e Coghlan (2002), assim como na terceira fase do ciclo, deve sempre ser realizado de forma colaborativa com os membros da organização cliente da pesquisa-ação.

Segundo Thiollent (2007), o objetivo de implementar as ações é transformar a situação analisada, resolvendo o problema prático e contribuindo para o refinamento da teoria pesquisada.

A quinta fase consiste em avaliar os resultados alcançados que, de acordo com Mello *et al.* (2012), deve ter como base os objetivos da pesquisa, e gerar um relatório que sintetize todas as etapas da pesquisa-ação.

De acordo com os autores, a avaliação dos resultados pode ser na forma de reunião do pesquisador com a equipe de colaboradores da organização, apresentação para direção da empresa e principais colaboradores, comparação com os dados coletados no início da pesquisa e com dados de pesquisas similares. Após a avaliação propõe-se a construção de um quadro resumo no qual se compara os dados coletados na situação antes e após a transformação prática.

O ciclo da pesquisa-ação pode ser considerado uma adaptação do PDCA e envolve mudança e aprendizagem, organizado em fases intercaladas de ação e investigação. Este ciclo deve continuar a ser aplicado até que os objetivos propostos na pesquisa sejam atingidos ou então revisados para que o processo tenha um novo foco (MELLO *et al.*, 2012).

3.3 Integração das etapas do Mapeamento do Fluxo de Valor às fases da Pesquisa-Ação

O objetivo desta etapa do trabalho é apresentar uma forma de integração entre as etapas do MFV, propostas por Rother e Shook (2012) no manual “Aprendendo a Enxergar - Mapeando o fluxo de valor para agregar valor e eliminar o desperdício” e abordadas no capítulo de revisão bibliográfica, com as cinco fases da pesquisa-ação apresentadas anteriormente.

A ferramenta do MFV foi utilizada para condução e aplicação da pesquisa-ação neste trabalho e a Figura 13 apresenta uma síntese da integração do MFV com as cinco etapas do ciclo da pesquisa-ação, sendo detalhada em seguida.

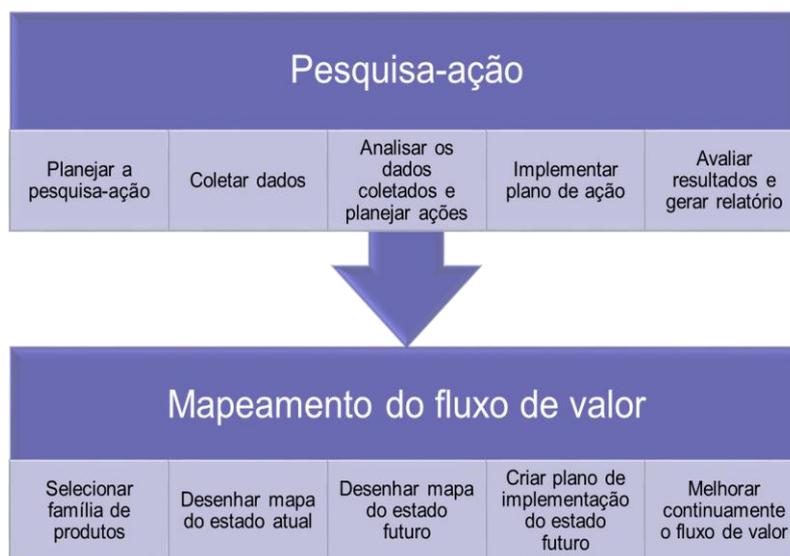


Figura 13 - Integração das etapas do MFV às fases da pesquisa-ação
Fonte: Elaborado pelo autor

A primeira fase do ciclo da pesquisa-ação, que consiste no planejamento da pesquisa, na qual deve-se selecionar a unidade de análise, o contexto e o propósito da pesquisa, relaciona-se com a etapa de definição da família de produtos do MFV, na qual define-se o fluxo de valor que será estudado por meio da seleção de produtos que apresentam características de fabricação semelhantes.

A fase seguinte da pesquisa-ação, de coleta de dados, refere-se ao desenho do mapa do estado atual no MFV, fase na qual realiza-se o desenho das etapas de fabricação e o levantamento de informações referentes ao fluxo de valor como, por exemplo, a demanda diária, o tempo de ciclo dos processos, tempo de *setup* de máquinas, tempo disponível para fabricação e a confiabilidade dos processos que compõem a linha de produção em análise.

Esses dados são fundamentais para realização de um diagnóstico da situação atual do fluxo de valor, tendo como objetivo identificar os desperdícios existentes no processo e propor melhorias para minimizá-los ou eliminá-los completamente.

A terceira fase do ciclo da pesquisa ação, de analisar os dados e planejar ações, refere-se à etapa de construção do mapa do estado futuro no MFV, na qual projeta-se o estado ideal do fluxo de valor a partir das informações coletadas e oportunidades de melhorias identificadas

no mapa do estado atual, servindo como base para elaboração de um plano de ação para transformação do fluxo de valor.

A fase de implementar as ações que, na pesquisa ação, consiste na transformação da situação analisada, resolução do problema prático e refinamento da teoria em estudo, refere-se ao plano de implementação do mapa do estado futuro no MFV, onde um plano de ação é elaborado e a partir da sua implementação, o estado atual do fluxo de valor é modificado e melhorado.

A etapa final da pesquisa-ação, de avaliar os resultados, gerar relatório e preparar um novo ciclo da pesquisa-ação, pode ser relacionada à melhoria contínua do fluxo de valor, na qual os resultados do mapa do estado futuro implementado é analisado e o mesmo torna-se o novo mapa do estado atual, que passará por um novo ciclo de melhorias, semelhante ao ciclo de aplicação do PDCA (*Plan, Do, Check, Act*).

3.4 O objeto de estudo

Este trabalho foi aplicado em uma empresa com tipologia de produção *Engineer-To-Order* (ETO), fabricante de transformadores para instrumentos e conjuntos de medição, situada em Itajubá, sul de Minas Gerais, que tem como principais clientes empresas de energia elétrica, fabricantes de painéis e indústrias de mineração, metalurgia, siderurgia, química e petrolífera, no Brasil e em diversos países.

A empresa oferece soluções em projeto, fabricação, ensaios elétricos e assistência técnica para Transformadores de Corrente e de Potencial Capacitivo até 550kV, Transformadores de Potencial Indutivo até 145kV e Conjuntos de Medição até 36kV, com qualidade internacional assegurada, atendendo aos mercados mais exigentes.

Atualmente, apresenta uma robusta infraestrutura, com tecnologia de ponta e uma área construída de cerca de 12.000 m², sendo considerada uma empresa de médio porte, com cerca de 300 colaboradores, entre funcionários diretos e indiretos.

Para esta aplicação, escolheu-se uma parte da linha de produção que fabrica transformadores de potencial de até 36kV, denominada PA-TP-MT, na qual todos os produtos passam pelas mesmas etapas do processo produtivo, mesmo que em certas etapas, os projetos construtivos desses produtos sejam totalmente diferentes.

As etapas que constituem o processo de fabricação, que tiveram seus nomes descaracterizados por questão de confidencialidade da empresa, são as seguintes: i) BS; ii) BP; iii) MN; iv) COL; v) AF; vi) TESTE; vii) GRADE.

Dessas etapas, as únicas que utilizam máquinas para execução do processo são BS, BP e TESTE, sendo as demais executadas manualmente, sendo que na última, a GRADE, praticamente não se executa qualquer operação de transformação da peça, sendo esta somente um local de espera do lote diário de peças para serem enviadas ao processo posterior, o qual não será abordado neste trabalho.

Algumas particularidades apresentadas nessa linha de produção são: i) a grande variedade de produtos e de seus respectivos projetos que, conseqüentemente, geram grandes variações nos tempos de ciclo do processo produtivo, principalmente em algumas etapas de fabricação nas quais ocorrem a customização do produto de acordo com as especificações técnicas dos clientes; ii) a variação dimensional de cada produto, de acordo com as características técnicas de cada modelo, que também influencia nos tempos das etapas de fabricação; iii) a dificuldade na previsão de demanda, devido à grande sazonalidade de vendas para os diversos produtos e respectivos projetos, o que dificulta o nivelamento de produção, ou seja, a distribuição regular de pequenas quantidades de trabalho para a produção.

Atualmente, a linha de produção apresenta 49 modelos de produtos que podem ser configurados em centenas de projetos diferentes, gerando um total de 3.496 variações, de acordo com os registros atuais do Departamento de Engenharia e Projetos.

Além disso, novos projetos construtivos para os modelos existentes, e até mesmo novos modelos, podem ser criados a qualquer momento, de acordo com as necessidades técnicas solicitadas pelos clientes.

A Tabela 1 apresenta alguns modelos de produtos, que tiveram seus verdadeiros nomes descaracterizados por questão de confidencialidade da empresa, e as respectivas quantidades de projetos catalogados atualmente na empresa.

A variação nos tempos de ciclo em cada etapa de fabricação, de acordo com os diferentes projetos existentes para um mesmo modelo, é um dos fatores que dificultam o balanceamento de linha, que consiste basicamente no dimensionamento e distribuição da mão-de-obra necessária em cada etapa de fabricação, pois, de acordo com o tempo de fabricação de cada projeto, a mão-de-obra pode apresentar tanto sobrecarga quanto ociosidade nas diferentes etapas do processo produtivo.

Modelo	Quantidade de modelos	Quantidade de projetos
A / B	2	694
C	1	587
D / E / F	3	480
G / H	2	349
I / J	2	325
K	1	176
L	1	168
M	1	146
N	1	113
O / P	2	86
OUTROS	33	372
Total	49	3496

Tabela 1 - Quantidade de modelos e respectivos projetos
 Fonte: Departamento de Engenharia e Projetos da empresa

A variação do tempo real de fabricação em relação ao tempo padrão utilizado na empresa, que atualmente é fixo para cada modelo e não considera as variações dos projetos construtivos, pode ser visualizada no Gráfico 1, que exemplifica os diferentes tempos de ciclo na etapa de fabricação “BP”, de acordo com os diferentes projetos do modelo “B”. No exemplo apresentado, tanto a etapa de fabricação quanto o modelo de produto, tiveram seus verdadeiros nomes descaracterizados por motivo de confidencialidade da empresa.

Esse tipo de variação do tempo de ciclo em relação ao tempo padrão considerado pela empresa existe para cada modelo e em cada etapa de fabricação, de acordo com os diferentes projetos.

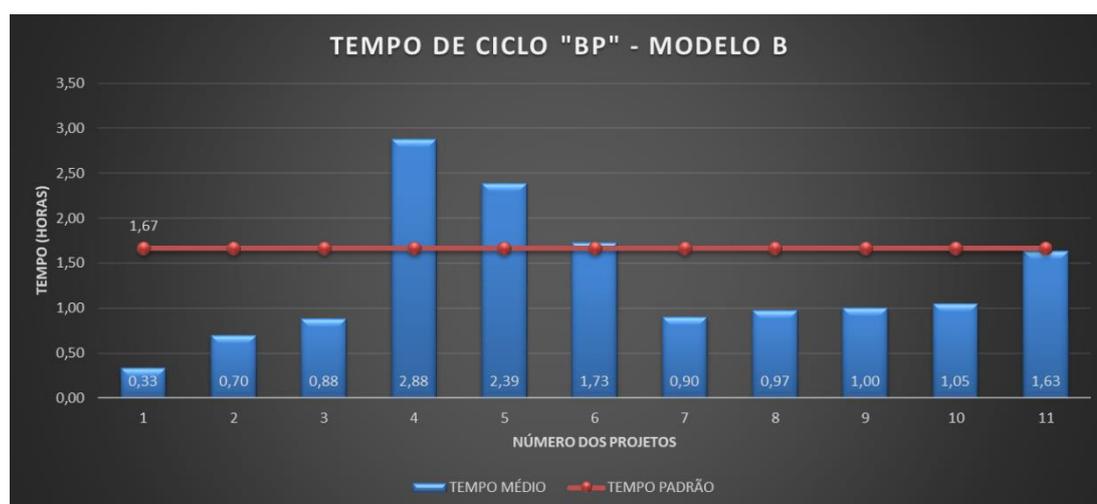


Gráfico 1 - Variação do tempo de ciclo dos projetos do modelo "B" na etapa "BP"
 Fonte: Departamento de Produção da empresa

O tempo padrão fixo é utilizado no planejamento de produção, que, dessa maneira, não considera as variações existentes em cada projeto na programação da produção, gerando grandes perturbações diárias, como, por exemplo, as sobrecargas e, conseqüentemente, as horas extras.

Além disso, utiliza-se o mesmo tempo padrão fixo para custear os produtos e, dessa maneira, a empresa pode, em certos momentos, ter prejuízo por vender os produtos mais baratos do que deveria e, em outros momentos, perder vantagem competitiva por ofertar seus produtos mais caros do que são na realidade, correndo o risco de perder vendas.

O próximo capítulo apresenta a aplicação dos conceitos da Manufatura Enxuta ao objeto de estudo, utilizando para isso o método da pesquisa-ação integrado à ferramenta do MFV.

4 APLICAÇÃO

4.1 Adaptação dos conceitos da Manufatura Enxuta à tipologia de produção *Engineer-To-Order* utilizada pelo objeto de estudo

O objeto de estudo deste trabalho apresenta como característica, além da tipologia de produção *Engineer-To-Order* (ETO), longos *Lead Times*, desde a proposta até a entrega do produto, riscos e custos únicos para cada contrato firmado com o cliente, começando pela elaboração da proposta técnica-comercial, bem como matérias-primas e suas respectivas quantidades específicas para cada produto.

Dessa maneira, considera-se que o ciclo de projetos consiste em um processo contínuo de descobertas e entendimento dos requisitos do cliente, sendo esses os pontos mais relevantes para o processo produtivo, uma vez que a maneira de fabricar um produto será especificada a partir desses requisitos.

Um fator que dificulta a fabricação ETO é que, em grande parte dos casos, a produção recebe o projeto da engenharia do produto com um tempo muito curto ou até mesmo insuficiente para a fabricação.

Analisando os conceitos e ferramentas da Manufatura Enxuta (ME), tem-se a impressão de que é impossível sua aplicação nesses ambientes, sendo que o grande desafio está na imprevisibilidade dessa tipologia.

Tal fato é comprovado quando se pesquisa sobre o tema na literatura e poucos registros são encontrados, como mostrado no Capítulo 2 deste trabalho, o qual apresenta uma Revisão Sistemática da Literatura (RSL).

Além disso, a aplicação da ME tem se mostrado pouco eficiente nos ambientes ETO, pois os conceitos geralmente são aplicados somente nos fluxos de materiais, deixando-se de lado os fluxos de informações, essenciais nessa tipologia de produção, uma vez que os seus *Lead Times* se somam aos *Lead Times* totais.

Uma outra barreira à implantação da ME em ambientes ETO está relacionada à cultura existente nas empresas, nas quais muitas vezes são do tipo familiares, que cresceram rapidamente e de uma forma não estruturada.

Geralmente, a cultura dessas empresas apresenta grande resistência à introdução de novas tecnologias e filosofias em seus processos de fabricação, por trazerem resultados à médio e longo prazo, exigindo dedicação e comprometimento dos seus praticantes.

Nas empresas resistentes à nova filosofia, dificilmente são encontradas pessoas que possam e queiram se dedicar à implementação dos conceitos e ferramentas da ME, mesmo com a garantia de obtenção de resultados favoráveis ao crescimento da organização.

Porém, mesmo com as dificuldades apresentadas, os conceitos e ferramentas da ME podem ser aplicados em ambientes ETO, mesmo que sejam necessárias algumas adaptações, como confirmado pela RSL apresentada na seção 2.4, em especial, pelo Quadro 2.

Como complemento às abordagens de aplicação, foi realizada uma análise da aplicabilidade e das necessidades de adaptações dos conceitos e ferramentas da ME apresentados nas seções 2.1.2 e 2.1.3, de acordo com as características de produção apresentadas em ambientes ETO, principalmente as do objeto de estudo:

– **Gerenciamento Visual:** de acordo com Birkie e Trucco (2016), essa técnica ajuda o controle dos processos no chão-de-fábrica e, por isso, é de grande utilidade às empresas com tipologia ETO, uma vez que, devido à grande variedade nos tempos de fabricação dos produtos, o gerenciamento e controle da linha ao longo do dia acaba sendo dificultado;

– **Trabalho Padronizado:** é a base dos princípios enxutos e uma das recomendações propostas por Jina *et al.* (1997) para organização da produção ETO. Sua aplicação em ambientes ETO é importante para garantir reduções no tempo de ciclo de fabricação, na variabilidade de execução das atividades e na quantidade de retrabalhos, aumentando a qualidade e reduzindo o custo. Além disso, o trabalho padronizado contribui para uma mudança de mentalidade dos

funcionários e facilita o desenvolvimento de multifuncionalidade, recomendações propostas por Birkie *et al.* (2017);

– **Substituição da Produção Empurrada pela Produção Puxada:** essa técnica pode ser aplicada na produção ETO, porém, a sincronia entre as puxadas pode apresentar dificuldade, correndo o risco de existir espera nos processos tanto anteriores quanto posteriores do fluxo, devido aos produtos apresentarem diferentes tempos de ciclo de fabricação. Nesse caso, de acordo com a recomendação de Raghavan *et al.* (2014), utiliza-se um sistema puxado sequencial com canaletas *First In First Out* (FIFO), no qual cada um dos processos produz em sequência os itens que chegam, mantendo *Lead Times* curtos e previsíveis. Dessa forma, os produtos são feitos sob encomenda, alinhados e subordinados à demanda e o estoque do sistema é minimizado;

– **Mapeamento do Fluxo de Valor (MFV):** sua aplicação é essencial para todos os tipos de produção, sendo que, em ambientes ETO, sua utilização é fundamental não somente em áreas produtivas, mas também em áreas administrativas, como a de engenharia e desenvolvimento de produtos, pois tendem a ser um dos maiores gargalos do sistema de gestão e podem apresentar diversas oportunidades de melhorias. Em seu artigo, Matt (2014), além de aplicar o MFV, propõe seis adaptações para elaboração do mapa do estado futuro a partir de dificuldades para dimensionamento do lote, determinação de tempo de ciclo dos processos e controle do estoque em processo, sendo elas: i) Identificar os pontos de fusão no mapa de estado atual e introduzir as áreas de sincronização na frente deles; ii) Combinar os processos com carga de trabalho altamente flutuante em uma área de oficina operada por uma força de trabalho altamente flexível; iii) Dividir os pedidos do cliente em ordens de produção adequadas e liberar incrementos de tempo iguais de trabalho; iv) Evitar cruzamentos de fluxos de materiais; v) Atribuir espaços de montagem com flexibilidade de acordo com o progresso da produção, prioridades e requisitos de espaço; vi) Evitar o armazenamento de material residual perto das máquinas e locais de trabalho;

– **Takt Time:** para linhas de produção ETO, que geralmente apresentam grandes sazonalidades de vendas e, conseqüentemente, variações nos volumes de produção, o tempo *Takt* dificilmente é aplicado, pois precisa ser constantemente adaptado à nova demanda. Tal dificuldade é evidenciada na RSL, pois nenhum dos artigos aborda a aplicação direta do conceito do tempo *Takt*. O ideal para aplicação desse conceito é que se consiga uma demanda constante em alguns períodos, por exemplo, semanal, quinzenal ou mensal, para que seja

possível atingir estabilidade no processo produtivo, porém, essa não é uma característica da tipologia ETO, em particular, para o objeto de estudo deste trabalho;

– **Balanceamento:** a aplicação dessa técnica em ambientes ETO pode ser complexa, devido à grande variação existente nos tempos de ciclo de cada produto e na demanda diária. Porém, quando aliada à multifuncionalidade dos operadores e a um planejamento de produção nivelado (tanto no *mix* quanto no volume de peças), é possível aplicá-lo nessa tipologia de produção, possibilitando à linha trabalhar com um número mínimo de operadores e, dessa maneira, ser mais eficiente na execução dos processos. Thurer *et al.* (2012) propõem uma adaptação do balanceamento para ambientes ETO, devido principalmente às mudanças na demanda de produtos, que consiste no controle da carga de trabalho através de lançamentos periódicos de ordens de fabricação. O método de liberação de pedidos para fabricação, proposto por esses autores, combina o lançamento contínuo de uma carga de trabalho fixa, determinada a partir do planejamento e programação de produção, com o lançamento periódico de ordens de fabricação permitindo, dessa maneira, uma variação na carga de trabalho liberada, caso um centro de trabalho sofra com escassez ou sobrecarga;

– **Tempo *Pitch*:** esse conceito pode ser adaptado à tipologia ETO, como apresentado na aplicação de Thurer *et al.* (2012), no qual controla-se a carga de trabalho na linha de produção através de lançamentos periódicos. Nesse caso, os lançamentos periódicos de carga de trabalho, ou ordens de fabricação, fazem referência ao lote ou contêiner de produtos da fórmula de cálculo do tempo *Pitch* e o período de lançamento é fixo, não sendo calculado a partir do tempo *Takt*. Dessa maneira, é o tempo *Pitch* que exerce um controle sobre a linha de produção ETO, substituindo o tempo *Takt* nesta função.

A partir da análise é possível concluir que a aplicação de conceitos e ferramentas da ME é viável em um ambiente de produção ETO, mesmo que para isso sejam necessárias adaptações devido à complexidade e variabilidade existente nessa tipologia de produção.

O próximo tópico apresenta a aplicação do primeiro ciclo da pesquisa-ação, no qual algumas das ferramentas da ME apresentadas nesta seção serão adaptadas e aplicadas ao objeto de estudo.

4.2 Aplicação do primeiro ciclo da pesquisa-ação

Neste trabalho, o desenvolvimento dos ciclos da pesquisa-ação seguirá os cinco passos definidos no Capítulo 3, Figura 13, que integram o MFV ao método da pesquisa-ação, e serão descritos com detalhes nos próximos tópicos.

4.2.1 Planejamento do primeiro ciclo da pesquisa-ação

Para esta aplicação, como apresentado anteriormente no tópico sobre o objeto de estudo, escolheu-se uma parte da linha de produção que fabrica transformadores de potencial de 0,6kV até 36kV, denominada PA-TP-MT, na qual todos os produtos passam pelas mesmas etapas do processo produtivo, mesmo que em certas etapas, os projetos construtivos dos modelos sejam totalmente diferentes.

O objetivo da linha de fabricação em estudo é a construção da “parte interna” do transformador, que por sua vez é altamente customizável, variando os projetos construtivos de cada modelo fornecido, de acordo com as especificações técnicas requeridas pelos clientes.

Os processos anteriores e posteriores à linha de fabricação alvo não serão abordados neste trabalho, tendo, dessa maneira, como fornecedor do fluxo de valor o almoxarifado de matérias-primas e como cliente o processo interno denominado Secagem.

A grande variação de modelos e projetos gera uma grande variação nos tempos de ciclo das etapas do processo produtivo. Os modelos apresentam diferenças dimensionais de acordo com a classe de tensão do equipamento, sendo que quanto maior for esta, maior será a dimensão do produto e, conseqüentemente, maior a dificuldade na fabricação e o tempo de processamento.

Outro fator que impacta o fluxo produtivo é a grande variação nas vendas dos diversos produtos e seus respectivos projetos. Esta sazonalidade dificulta a previsão de demanda, que por sua vez, dificulta o dimensionamento da capacidade produtiva. A inconstância na demanda gera desperdícios em relação à mão-de-obra, que em alguns momentos apresenta sobrecarga de trabalho e em outros ociosidade.

Após a definição e apresentação da família de produtos e suas particularidades, o próximo tópico apresenta a construção do mapa do estado atual do fluxo de valor, a partir da

coleta, na prática, de informações relevantes sobre o processo, tal como proposto por Rother e Shook (2012) e apresentado no Capítulo 2.

4.2.2 Coleta de dados do primeiro ciclo da pesquisa-ação

A fase de coleta de dados da pesquisa-ação resultará na elaboração do mapa do estado atual do MFV, devendo ser iniciada pelo entendimento da demanda. Através de uma análise histórica de 12 meses aliada às informações de previsão de demanda fornecidas pelo Departamento Comercial da empresa, a demanda inicial diária estabelecida para a linha de produção foi de 40 peças, desconsiderando-se os detalhes sobre o *mix* de produtos, que pode variar diariamente.

É importante ressaltar novamente a sazonalidade existente tanto no *mix* quanto no volume de produtos vendidos, fator que dificulta o dimensionamento de linha, pois a demanda e o tempo de ciclo médio para a fabricação variam praticamente todos os dias.

Após a definição da demanda diária do fluxo de valor em estudo, o próximo passo necessário para criação do mapa é a caracterização dos processos que compõem o fluxo de valor, os quais já foram nomeados na seção 3.3, que apresentou o objeto de estudo, mas que agora serão apresentados com mais detalhes.

O primeiro processo é chamado de BS e nele se fabrica o enrolamento da bobina secundária do transformador. Esse processo é composto por duas máquinas que trabalham em linha, ou seja, uma máquina faz uma parte do enrolamento e a outra termina.

Após a execução desse processo, os subprodutos ficam disponíveis em uma prateleira que alimenta o processo seguinte. É visível o grande volume de peças acumuladas nessa prateleira, ou seja, grandes estoques intermediários entre os processos.

O segundo processo é o BP, no qual se fabrica o enrolamento da bobina primária do transformador, realizado sobre o enrolamento da bobina secundária. Ou seja, o processo BP depende do subproduto gerado no processo BS para ser realizado.

Esse processo é composto por nove máquinas que trabalham em paralelo, ou seja, cada máquina produz um subproduto por vez. A disponibilidade atual dessas máquinas é de 78% do tempo de cada turno. Após a realização do processo BP, cada operador transporta o subproduto para o processo seguinte, localizado em uma grande bancada que comporta os próximos três processos do fluxo de valor e seus respectivos estoques intermediários.

O terceiro processo do fluxo é chamado MN e nele é montado, manualmente, um núcleo de aço dentro da bobina primária. Dessa maneira, o processo MN também depende do subproduto gerado no processo anterior para ser executado. O processo conta com duas estações de trabalho em paralelo, com um operador em cada uma delas.

O quarto processo da linha de produção é o COL, onde se realiza uma proteção por cima do núcleo, montado no processo anterior, utilizando papelão, fita crepe e fita poliéster. É um processo manual realizado em quatro estações de trabalho em paralelo, com um operador em cada uma delas.

O quinto processo denominado AF é considerado o último de transformação da peça e nele é realizada a solda dos terminais nas saídas do transformador, a colocação de telas de latão cortadas e coladas sobre a bobina primária e a colocação de base ou suportes para o teste final.

Para isso o processo conta com três estações de trabalho em paralelo, com um operador em cada uma delas, que além de realizar as atividades descritas realizam o retrabalho de peças que não são aprovadas no teste.

O sexto e último processo é o TESTE do produto e nele se verifica a precisão do transformador, de acordo com classe de exatidão específica no projeto. Atualmente, o processo de fabricação apresenta cerca de 35% de retrabalho, sendo que a realização dessa atividade, incluindo o seu tempo de ciclo, foi incorporada ao processo de AF.

Quando retrabalhadas, as peças são testadas novamente e, se aprovadas, são enviadas para a GRADE, que é o local de espera para o processo de SECAGEM, definido como cliente final nesse fluxo de valor mapeado.

Após a caracterização de cada processo do fluxo de valor, o próximo passo é a definição do tempo de ciclo para cada etapa da linha de produção. Para isso, utilizou-se uma adaptação a partir da análise do *mix* de produtos e os principais projetos fabricados para cada modelo, devido ao fato da linha de produção em estudo apresentar uma grande variedade de produtos e projetos, com tempos de fabricação variados.

Essa adaptação é uma das contribuições conceituais propostas nesse trabalho e espera-se que seja possível replicar sua aplicação para outras linhas de produção com tipologia ETO. Esse novo conceito é importante para o dimensionamento de linha de produção, que determina o número de funcionários necessários na linha para atendimento da demanda.

Sem essa adaptação dos tempos de ciclo, seria muito difícil dimensionar a quantidade de operadores, pois existiria uma grande variação da necessidade devido aos diferentes tempos de projeto.

A adaptação do tempo de ciclo levou em consideração os principais modelos, ou seja, aqueles que representam 80% do volume anual de produção. A partir desse levantamento, para cada modelo considerado, identificou-se o projeto com maior volume de fabricação e coletou-se o tempo de fabricação do mesmo, por meio da aplicação dos conceitos de cronoanálise industrial em cada etapa produtiva.

Uma peculiaridade da cronoanálise realizada no processo é que o tempo de *setup* de máquinas, quando aplicável no processo analisado, bem como os tempos de movimentação de operadores e transporte de peças, e o tempo de retrabalho da peça após o teste, foram incluídos no tempo de ciclo cronometrado e, por determinação da empresa, entram no custo do equipamento.

A intenção é que após a aplicação de melhorias na linha de produção, os tempos dos processos sejam novamente cronometrados e analisado o percentual de redução dos mesmos, provocado, sobretudo, pela eliminação ou minimização dos tempos de movimentação de operadores e transporte de peças, os quais configuram-se em tempos de atividades que não agregam valor aos clientes.

A partir dos modelos e projetos escolhidos e seus respectivos tempos de ciclo coletados, calculou-se a média ponderada dos tempos de ciclo de cada etapa pelo percentual que cada modelo/projeto representa no volume de produção anual, considerando, para isso, que o volume de produção desses principais modelos equivale a 100% da demanda.

Nessa adaptação, os tempos dos demais modelos que não foram selecionados não entram no cálculo do tempo de ciclo das etapas de fabricação, devido ao fato de suas demandas terem se mostrado pouco relevantes, quando do levantamento do *mix*.

A Tabela 2 apresenta a adaptação utilizada para determinar o tempo de ciclo considerado em cada etapa de fabricação do processo mapeado. Os nomes reais de cada modelo considerado nessa tabela foram descaracterizados por questão de confidencialidade da empresa.

É importante destacar que a unidade de tempo utilizada nessa aplicação é horas devido ao fato de os tempos padrão da empresa serem utilizados em horas, dessa maneira facilita as análises e evita a utilização de transformação de unidades.

	% DEMANDA	27,19%	20,51%	20,71%	9,50%	4,55%	4,12%	3,29%	3,21%	3,00%	2,08%	1,84%	TEMPO DE CICLO CONSIDERADO - MÉDIA PONDERADA (HORAS)
	MODELO	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	
	PROJETO	120	1	116	6	1	15	12	20	2	13	32	
ETAPAS DE FABRICAÇÃO	BS	0,30	0,40	0,40	0,84	0,80	0,53	0,80	0,87	0,80	1,08	0,40	0,49
	BP	0,85	1,67	1,67	2,55	4,00	1,21	1,86	1,72	1,86	4,50	1,67	1,69
	MN	0,30	0,30	0,30	0,33	0,38	0,33	0,38	0,33	0,38	0,40	0,33	0,32
	COL	0,42	0,42	0,42	0,50	0,57	0,63	0,42	0,52	0,57	0,92	0,33	0,46
	AF	0,25	0,25	0,25	0,30	0,33	0,20	0,23	0,35	0,33	0,67	0,22	0,27
	TESTE	0,17	0,17	0,17	0,25	0,30	0,17	0,25	0,25	0,30	0,30	0,17	0,20
TEMPOS DE CICLO (HORAS)													

Tabela 2 - Adaptação para determinação do tempo de ciclo de cada etapa de fabricação

Após a adaptação realizada, os dados relativos ao fornecedor e ao fluxo de informação que alimentam o fluxo de valor foram levantados para completarem o mapa do estado atual.

Como já informado, o fornecedor do processo mapeado é o próprio almoxarifado da empresa, que faz entregas diárias de todos os materiais necessários. Devido à grande variação de matéria-prima utilizada no processo produtivo, é comum que exista pendência de algumas delas, o que gera perturbações e desperdícios na linha de produção.

Quanto ao fluxo de informação da linha, a empresa recebe pedidos diários que são enviados ao departamento de Planejamento, de Produção e de Materiais, no qual gera-se uma programação de produção semanal, que determina quais e quantas ordens de produção serão encaminhadas para a linha de produção.

A programação de produção, juntamente com as cartelas de fabricação, que são as instruções para montagem em cada etapa, são entregues semanalmente ao líder da produção, que disponibiliza diariamente as cartelas de produção no primeiro processo do fluxo de valor.

A mesma programação de produção semanal também é encaminhada, com antecedência, ao almoxarifado, que a partir da listagem recebida, separa os materiais para alimentar a linha de produção diariamente.

A partir dos dados coletados, foi possível montar o mapa do estado atual do fluxo de valor, apresentado na Figura 14. Adicionou-se ao mapa as quantidades de estoques intermediários que constavam na linha de produção.

A partir dessa informação, juntamente com o tempo de ciclo dos processos, determinou-se o Tempo de Agregação de Valor (TAV), que corresponde à soma dos tempos de ciclo dos

processos, e o *Lead Time* (LT), desde a entrada até a saída do fluxo de valor, levando-se em conta quantos dias de demanda os estoques intermediários equivalem.

A partir do mapa do estado atual elaborado é possível apresentar informações importantes a respeito da linha de produção, que são resumidas e apresentadas na Tabela 3. Considera-se que um dia de *Lead Time* é equivalente a 8,8 horas, sendo esse o tempo disponível em cada turno de trabalho.

Nº Operadores	Média de horas extras/dia	<i>Lead Time</i> (LT)
21	16 horas	7,84 dias

Tabela 3 - Informações do mapa do estado atual do fluxo de valor

A próxima seção apresenta a análise dos dados e o planejamento das ações para melhoria do estado atual do fluxo de valor mapeado.

4.2.3 Análise dos dados e planejamento das ações do primeiro ciclo da pesquisa-ação

Esta etapa da pesquisa-ação corresponde ao desenho do mapa do estado futuro do MFV, na qual será projetado um fluxo de valor enxuto.

Para o desenvolvimento desta etapa serão seguidos os passos para a construção do mapa do estado futuro propostos por Rother e Shook (2012), abordados no Capítulo 2. No entanto, cabe destacar que, para o primeiro ciclo da pesquisa-ação, somente os primeiros quatro passos serão abordados, adaptados e implementados.

O primeiro passo para elaborar o mapa do estado futuro do fluxo de valor corresponde ao cálculo do *Takt Time*, ou simplesmente, tempo *Takt*, a partir da divisão do tempo diário disponível para produção pela demanda diária.

O tempo diário disponível para fabricação nesta linha de produção equivale à 85% de um turno de trabalho, o que corresponde a 7,5 das 8,8 horas diárias de cada turno de trabalho. Considera-se os 15% restantes como tolerância pessoal, no qual abrange as necessidades fisiológicas dos operadores, pequenas pausas para café, intervalos para ginástica laboral, diálogos de segurança no trabalho, entre outras interrupções previstas e aceitas.

A demanda diária determinada, como já apresentado, é de 40 peças. Dessa maneira, o tempo *Takt* é de 0,19 hora, ou seja, para que a demanda diária seja atendida, o fluxo de valor mapeado deverá fabricar um produto a cada 0,19 hora.

Porém, como apresentado na seção 4.2, o conceito de tempo *Takt* não costuma ser aplicado para controle de linhas de produção com tipologia ETO, uma vez que os tempos de produção de cada projeto podem apresentar grandes variações.

Nessa aplicação o tempo *Takt* será utilizado somente como referência para o dimensionamento da linha, ou seja, para a determinação do número de operadores necessários em cada etapa, para que a demanda diária seja atendida a partir dos tempos de ciclo determinados para cada etapa do processo produtivo.

No estado atual, existem 20 operadores alocados no fluxo de valor mapeado. Porém, realizando-se um novo dimensionamento, ao dividir o tempo de ciclo total dos processos, de 3,43 horas, pelo tempo *Takt* calculado, de 0,19 hora por produto, são necessários 18 operadores.

Por questão de segurança, devido à grande variação existente no fluxo de valor, serão utilizados 19 operadores no estado futuro do fluxo de valor.

Nesse caso, 2 operadores da etapa COL foram deslocados para outras linhas de produção da empresa. Tais alterações foram estabelecidas com a elaboração e análise de um Gráfico de Balanceamento de Operadores (GBO).

A partir do GBO, para a etapa BS seriam necessários 2,6 operadores, para a etapa BP, 8,9 funcionários, para a etapa MN, 1,7 operador, para a etapa COL, 2,4 operadores, para a etapa AF, 1,4 operador e para a etapa TESTE apenas 1 operador.

Dessa maneira, optou-se por deixar 3 operadores na etapa BS, sendo um deles no segundo turno, devido à restrição no número de máquinas por turno, 9 operadores na etapa BP, nesse caso, o equivalente a quantidade total de máquinas disponíveis por turno, 2 operadores na etapa MN, 2 operadores na etapa COL, 2 operadores na etapa AF e 1 operador na etapa de TESTE.

Com o novo dimensionamento é necessário um novo balanceamento da linha de produção, determinando como os funcionários irão trabalhar nos postos de trabalho ao longo do turno. Analisando-se o GBO, com a nova quantidade de operadores por etapa de fabricação, é possível verificar que sobram algumas horas das etapas BS, MN e AF, nas quais serão aproveitadas na etapa COL, que apresenta um gargalo para a situação considerada, sendo necessário, no mínimo, mais 0,4 operador por turno.

Porém, para que o balanceamento da linha de produção funcione da forma planejada, é necessária uma adaptação essencial: a utilização de operadores multifuncionais. Essa adaptação consiste basicamente no deslocamento de funcionários ao longo das etapas de fabricação de acordo com a necessidade da linha durante o turno. Para isso é necessário um plano de treinamento dos funcionários nas etapas do fluxo de valor em estudo.

A utilização de operadores multifuncionais é ainda mais importante quando se leva em consideração que os tempos de ciclo das etapas de fabricação não são fixos, variando de acordo com os projetos construtivos de cada produto, o que gera oscilações entre ociosidade e sobrecarga nas etapas de fabricação.

Um outro ponto crucial para o novo dimensionamento e conseqüente balanceamento da linha de produção é o aumento da disponibilidade das máquinas da etapa BP, atualmente em 78%, nas quais através de investimento em manutenção preventiva, pode-se economizar com horas extras e proporcionar estabilidade na linha de produção, garantindo a disponibilidade de 100% das máquinas durante o turno.

Para o controle da linha de produção, ao invés do tempo *Takt*, será adaptado o conceito de tempo *Pitch* e, dessa maneira, o lote de produção diário, determinado pela programação da produção, deverá ser fabricado no período de um turno.

Para que esse conceito possa ser utilizado de forma eficaz, o lote de produção diário não necessariamente deverá ser constante de 40 peças, pois a quantidade poderá variar de acordo com a complexidade dos projetos. O conceito de tempo *Pitch* aplicado à programação e ao controle da produção será abordado com mais detalhes na fase de nivelamento de *mix* e volume de produção.

O segundo passo no desenvolvimento do estado futuro refere-se à definição da estratégia de se produzir para um supermercado de produtos acabados ou diretamente para expedição. No caso da tipologia ETO, por se tratar de produtos customizados, não é viável produzir para um supermercado de produtos acabados, uma vez que os projetos de um mesmo produto dificilmente são iguais e, conseqüentemente, não seria possível a disponibilização de todos as variações de produtos em uma prateleira.

Portanto, é necessário que a linha produza diretamente para expedição, ou seja, para essa aplicação, os produtos serão produzidos e enviados diretamente para o processo cliente do fluxo de valor.

Porém, considerando a grande variação existente nos tempos de ciclo de cada produto, por questão de segurança para o caso de projetos mais complexos, nessa primeira etapa de modificação do fluxo de valor será utilizado um supermercado com um dia de demanda no final do fluxo de valor, entre a fase de teste e a grade, ou seja, na prática, a produção diária será finalizada com um dia de antecedência.

O terceiro passo é o estabelecimento de fluxo contínuo entre os processos, sempre que possível. Para essa aplicação o fluxo contínuo será realizado a partir de canaletas FIFO (*First In, First Out* - primeiro que entra, primeiro que sai), utilizadas para controlar e sequenciar os estoques intermediários entre os processos BP, MN, COL, AF e TESTE.

Dessa maneira, um nível máximo de estoque entre essas etapas de fabricação será estabelecido, de modo que, quando atingido, a etapa fornecedora deverá parar de fabricar peças, possibilitando o deslocamento de funcionários para as etapas da linha de produção com maior carga de trabalho acumulada. Para a primeira modificação, o nível máximo de estoques nas canaletas FIFO será de 0,5 dia de demanda, que será reavaliado a medida que o fluxo de valor for melhorado.

O quarto passo é definir para quais etapas será necessário estabelecer o sistema puxado com supermercado. Nesse caso, por medida de segurança, um supermercado com capacidade de um dia de demanda será estabelecido entre os processos BS e BP, devido à limitação do número de máquinas no processo BS e possíveis variações dos tempos de ciclos neste processo de acordo com cada projeto. Dessa maneira, a etapa de fabricação BP irá puxar um dia de demanda e a etapa BS irá repor um dia de demanda no supermercado existente entre os dois processos.

A partir desses quatro pontos abordados para modificação do estado atual do fluxo de valor, é possível elaborar o mapa do estado futuro do primeiro ciclo da pesquisa-ação para o fluxo de valor em estudo, apresentado na Figura 15.

O plano para implementação das ações necessárias para melhoria do fluxo de valor é apresentado no próximo tópico, a partir de um cronograma elaborado utilizando a ferramenta da qualidade 5W2H.

4.2.4 Implementação das ações do primeiro ciclo da pesquisa-ação

Para a implementação das ações propostas no primeiro ciclo da pesquisa-ação, foi elaborado um cronograma utilizando a ferramenta da qualidade 5W2H (Quadro 3), no qual define-se o que será feito (*What*), por que será feito (*Why*), onde será feito (*Where*), quando será feito (*When*), por quem será feito (*Who*), como será feito (*How*) e quanto irá custar (*How much*), para cada ação necessária para transformação do fluxo de valor, de acordo com os quatro passos detalhados anteriormente.

O que? (What)	Por quê? (Why)	Onde? (Where)	Quando? (When)	Quem? (Who)	Como? (How)	Quanto custa? (How much)
Dimensionar a linha de produção (número de operadores)	Ajustar o número de funcionários acordo com o tempo <i>Takt</i>	Linha de produção	Prazo de 14 dias	Supervisor de produção	Deslocar dois funcionários para outro setor	-
Treinar operadores nas diversas etapas de fabricação	Desenvolver a multifuncionalidade	Linha de produção	Prazo de 60 dias	Supervisor e líder de produção	Criar matriz multifuncional de operadores e plano de treinamento	-
Investir em manutenção preventiva nas máquinas da etapa BP	Aumentar a capacidade e reduzir horas extras na linha	Máquinas da etapa BP	Prazo de 30 dias	Supervisor de produção	Investir em melhoria e manutenção preventiva	kR\$10

Criar supermercado com um dia de demanda no final do fluxo de valor	Aumentar a estabilidade do fluxo de valor	Entre etapa de TESTE e GRADE	Prazo de 07 dias	Supervisor e líder de produção	Criar estoque controlado com um dia de demanda no final do fluxo	-
Estabelecer fluxo contínuo através de canaletas FIFO	Controlar nível máximo de estoque entre os processos	Entre etapa BP até o TESTE	Prazo de 30 dias	Supervisor e líder de produção	Limitar a quantidade de peças dos estoques em meio dia de demanda	-
Criar supermercado com um dia de demanda no início do fluxo de valor	Criar sistema puxado; aumentar a estabilidade do fluxo de valor	Entre as etapas BS e BP	Prazo de 07 dias	Supervisor e líder de produção	Criar um estoque controlado de um dia de demanda no início do fluxo	-

Quadro 3 - Plano de implementação das ações do primeiro ciclo da pesquisa-ação

É importante ressaltar que praticamente todas as modificações do fluxo de valor foram conceituais, não necessitando de investimentos de alto custo para empresa, exceto a que se refere ao aumento da disponibilidade das máquinas BP, que exigiu certo investimento na melhoria e manutenção do maquinário disponível.

Dessa maneira, nesse primeiro ciclo da pesquisa-ação, as principais mudanças propostas foram relativas à forma de se produzir, na qual foram introduzidos os conceitos básicos da manufatura enxuta.

Para que a aplicação seja eficaz, os colaboradores da empresa deverão ser treinados nos conceitos e ferramentas da manufatura enxuta e na mudança de mentalidade, voltada para melhoria contínua e geração de valor na execução do trabalho.

A partir da aplicação das ações, em um prazo de aproximadamente dois meses, os resultados se tornaram visíveis na linha de produção e estão apresentados no próximo tópico.

4.2.5 Avaliação dos resultados do primeiro ciclo e geração do relatório

A partir da implementação das ações apresentadas no Quadro 3, é possível identificar e mensurar os primeiros resultados decorrentes da modificação no fluxo de valor da linha de produção em estudo, que estão resumidos e apresentados na Tabela 4.

	N° Operadores	Média de horas extras/dia	Lead Time (LT)
Cenário inicial	21	16 horas	7,84 dias
Cenário 1º ciclo	19	10 horas	5,39 dias

Tabela 4 - Resultados obtidos no primeiro ciclo da pesquisa-ação

A partir desses resultados verifica-se uma redução de 9,5% na necessidade de colaboradores para atender a demanda diária. Na prática, como apresentado anteriormente, dois funcionários que foram deslocados para outras linhas ao invés de serem desligados da empresa.

Observa-se também uma redução de 38% das horas extras diárias, em consequência do novo balanceamento e aumento da disponibilidade de máquinas, e uma redução de 31% no *Lead Time* de fabricação.

Os resultados alcançados no primeiro ciclo da pesquisa-ação proporcionam um aumento da vantagem competitiva para a empresa através da redução de custos de fabricação e do prazo de entrega dos produtos.

Esse novo cenário será a base para aplicação do próximo ciclo, ou seja, o estado futuro elaborado torna-se o novo estado atual do fluxo de valor para aplicação do segundo ciclo da pesquisa-ação e, a partir de novas oportunidades de melhoria, um novo estado futuro será projetado.

4.3 Aplicação do segundo ciclo da pesquisa-ação

O desenvolvimento do segundo ciclo da pesquisa-ação dará sequência na aplicação descrita no Capítulo 3, que integra o MFV ao método da pesquisa-ação.

4.3.1 Planejamento do segundo ciclo da pesquisa-ação

Para o segundo ciclo, os conceitos de manufatura enxuta foram aplicados na linha de produção seguindo os passos 5, 6 e 7 para construção do mapa do estado futuro, propostos por Rother e Shook (2012) e apresentados no Capítulo 2.

4.3.2 Coleta de dados do segundo ciclo da pesquisa-ação

Essa etapa da pesquisa-ação refere-se à elaboração do mapa do estado atual do fluxo de valor. Dessa maneira, o mapa do estado futuro elaborado no primeiro ciclo e apresentado na Figura 15, passa a ser o novo mapa do estado atual do segundo ciclo.

A partir do mesmo, foram aplicadas as melhorias no fluxo de valor, com base nos conceitos da manufatura enxuta, e elaborado um novo mapa do estado futuro. Os indicadores da linha de produção, apresentados na Tabela 4, servem de base para análise da eficácia das ações executadas no segundo ciclo.

4.3.3 Análise dos dados e planejamento das ações do segundo ciclo da pesquisa-ação

Esta etapa da pesquisa-ação corresponde ao desenvolvimento de um novo mapa do estado futuro do MFV, no qual foram implementados os passos 5, 6 e 7 propostos por Rother e Shook (2012) para elaborar um fluxo de valor enxuto.

O quinto passo para desenvolvimento de um estado futuro do fluxo de valor consiste na definição do único processo que precisa ser programado, denominado processo puxador. Como a customização do produto de acordo com as especificações dos clientes começa a ser feita já no processo BS, é necessário que ele continue a ser programado.

Porém, como à frente do processo puxador as transferências devem ser feitas em fluxo contínuo, os supermercados existentes entre os processos BS e BP e entre TESTE e GRADE foram substituídos por canaletas FIFO, nas quais, a princípio, apresentam capacidade para armazenar um dia de demanda.

Dessa maneira, o processo BS produz alinhado e subordinado à demanda e transfere as peças para a canaleta FIFO mantendo esta condição, a qual é replicada aos demais processos e canaletas FIFO fluxo a frente, até que os produtos sejam enviados ao cliente interno deste fluxo de valor.

Uma outra modificação que realizada é a substituição de uma programação semanal por uma diária, na qual programa-se uma carga de trabalho correspondente a um turno e libera a mesma para produção por meio da disponibilização das cartelas de fabricação.

Essa modificação é importante para a linha de produção, pois facilita o controle de produção e permite a identificação de perturbações no fluxo de valor que impedem o atendimento da demanda diária, além de agilizar a tomada de decisão para resolução desses possíveis problemas.

O sexto passo consiste em definir como e quando nivelar o *mix* de produção no processo puxador, definido no passo anterior. Nesse caso, o *mix* de produtos é nivelado a partir dos tempos de ciclo médios calculados para cada etapa do processo, respeitando a capacidade diária da linha de produção dimensionada no primeiro ciclo da pesquisa-ação.

Dessa maneira, o setor de Planejamento e Controle da Produção (PCP) programa os tipos de produtos, ou seja, estabelece um *mix* de produção, levando em consideração o tempo disponível efetivo de produção, que é de 7,5 horas.

Além disso, mudanças de *mix* podem ser realizadas diretamente nas canaletas FIFO, alterando a posição dos produtos de acordo com as exigências ou os benefícios de se produzir um produto antes do outro, isto é, um produto cujo pedido entrou depois, pode ter um prazo de entrega acordado menor, exigindo a priorização de sua fabricação.

A partir da adaptação para o nivelamento do *mix*, é necessário que o PCP utilize um banco de dados para consulta dos tempos de projetos específicos, aumentando a precisão do nivelamento e minimizando as possíveis perturbações na produção, como o desbalanceamento, que pode gerar tanto gargalos quanto ociosidades nas etapas de fabricação.

O banco de dados com tempos de fabricação de projetos existe na empresa e é atualizado a cada novo projeto por meio da cronoanálise industrial, porém, como apresentado anteriormente, o mesmo não é utilizado atualmente para o planejamento da produção.

O sétimo passo para transformação do fluxo de valor consiste em definir como e quando nivelar o volume de produção no processo puxador. Nesse caso, o volume de produção, ou seja, a quantidade de peças que entram na linha diariamente, é nivelada de acordo com a capacidade

da linha, tal como apresentado no nivelamento do *mix* de produtos. O ponto de controle é a canaleta FIFO existente entre os processos TESTE e GRADE.

Dessa maneira, diariamente, o cliente interno puxa os produtos fabricados no dia anterior pelo fluxo contínuo existente entre BS e TESTE, cabendo a este fluxo contínuo produzir os produtos que serão puxados no dia seguinte.

Para saber se o que foi programado para este fluxo contínuo foi efetivamente produzido, o PCP, antes de liberar a produção de um dia, confronta o que foi programado e efetivamente produzido no dia anterior.

Portanto, o fluxo de valor passa a ter um *Pitch* de um dia de trabalho, ou seja, ele passa a ter a sua produção controlada diariamente. Assim, é possível saber diariamente se a produção está atrasada e, estando, agir sobre as causas-raiz, eliminando-as ou minimizando-as.

Deve-se destacar, contudo, que a quantidade de produtos liberados para a produção irá variar a cada dia, dependendo da complexidade dos projetos. Sendo assim, em um determinado dia, o PCP poderá programar a produção de uma quantidade maior de produtos de menor complexidade, ao passo que em outro, poderá programar a produção de uma quantidade menor de produtos de maior complexidade.

Uma outra modificação no fluxo, que influencia o controle do volume de peças, é a redução da capacidade máxima das canaletas FIFO existente entre as etapas BP, MN, COL, AF e TESTE, que antes eram de meio dia de demanda e agora passam a ser de um quarto do dia de demanda. Dessa maneira, o estoque máximo permitido entre os processos será reduzido de 20 para 10 peças, contribuindo também para uma melhor utilização da mão-de-obra.

O oitavo passo na transformação refere-se ao levantamento dos pontos do fluxo de valor nos quais é necessário planejar e aplicar eventos *Kaizens*. Esse passo foi abordado e implementado no terceiro ciclo da pesquisa-ação.

A partir dos três passos apresentados nesse tópico é possível projetar o estado futuro do fluxo de valor do segundo ciclo da pesquisa-ação e, após a implementação dos mesmos, levantar os pontos para melhoria contínua através da prática do *Kaizen*. Assim, o novo mapa do estado futuro é apresentado na Figura 16.

4.3.4 Implementação das ações do segundo ciclo da pesquisa-ação

Para implementar as ações propostas nesse segundo ciclo da pesquisa-ação, foi utilizado novamente a ferramenta da qualidade 5W2H, na qual foram definidos os detalhes para implementar cada uma das atividades necessárias para transformação do fluxo de valor. O cronograma de aplicação é apresentado no Quadro 4.

O que? (What)	Por quê? (Why)	Onde? (Where)	Quando? (When)	Quem? (Who)	Como? (How)	Quanto custa? (How much)
Programar diariamente o processo puxador	Melhorar controle de produção	Linha de produção	Prazo de 14 dias	PCP	Programar carga de trabalho de um turno	-
Nivelar mix de produtos	Alinhar programação à capacidade da linha	Programação diária de produção	Prazo de 60 dias	PCP	Considerar os tempos de projetos na programação	-
Nivelar o volume de produtos	Alinhar programação à capacidade da linha	Programação diária de produção	Prazo de 60 dias	PCP	Utilizar canaletas FIFO na linha	-
Reduzir capacidade das canaletas FIFO	Reduzir estoques e melhorar aproveitamento da mão-de-obra	Linha de produção	Prazo de 7 dias	Supervisor e líder de produção	Limitar a quantidade máxima de peças nas canaletas FIFO	-

Quadro 4 - Plano de implementação das ações do segundo ciclo da pesquisa-ação

A partir da aplicação das ações, que também são conceituais e consistem basicamente em modificar a forma de se planejar e controlar a linha de produção, em um prazo máximo de dois meses, os resultados tornaram-se visíveis na linha de produção e estão apresentados no próximo tópico.

4.3.5 Avaliação dos resultados do segundo ciclo e geração do relatório

Com a implementação das ações apresentadas no Quadro 7, é possível avaliar os resultados decorrentes da modificação no fluxo de valor da linha de produção em estudo, que estão resumidos e apresentados no Quadro 5.

	N° Operadores	Média de horas extras/dia	Lead time (LT)
Cenário 1° ciclo	19	10 horas	5,39 dias
Cenário 2° ciclo	19	8 horas	4,39 dias

Quadro 5 - Resultados obtidos no segundo ciclo da pesquisa-ação

A partir desses resultados verifica-se uma redução de 20% das horas extras diárias, consequência principalmente do nivelamento de *mix* e volume de produção, e uma redução de 18,6% no *Lead Time* de fabricação, em comparação com o cenário após a aplicação do primeiro ciclo da pesquisa-ação.

Os resultados alcançados no segundo ciclo da pesquisa-ação, mais uma vez, contribuem para a melhoria do desempenho da linha de produção e o aumento da vantagem competitiva, através da redução de custos de fabricação e do prazo de entrega dos produtos.

Esse novo cenário atingido com a implementação do segundo ciclo da pesquisa-ação será a base para a aplicação do próximo ciclo, ou seja, o estado futuro elaborado será o estado atual do fluxo de valor para aplicação do terceiro ciclo da pesquisa-ação, o último abordado nesse trabalho. A partir das oportunidades de melhoria levantadas nesse ciclo, irá projetar e implementar um novo estado futuro para o fluxo de valor em estudo.

4.4 Aplicação do terceiro ciclo da pesquisa-ação

O terceiro ciclo da pesquisa-ação aborda as oportunidades de melhorias identificadas a partir da aplicação do oitavo passo para a elaboração do estado futuro do fluxo de valor, proposto por Rother e Shook (2012).

4.4.1 Planejamento do terceiro ciclo da pesquisa-ação

Para o terceiro ciclo da pesquisa-ação, os conceitos da ME foram aplicados na linha de produção de acordo com as oportunidades de melhorias levantadas após a aplicação do segundo ciclo.

4.4.2 Coleta de dados do terceiro ciclo da pesquisa-ação

O mapa do estado futuro elaborado no segundo ciclo e apresentado na Figura 16, passa a ser o novo mapa do estado atual, o qual é utilizado na fase de coletas de dados do terceiro ciclo da pesquisa-ação.

A partir do mesmo, foram aplicadas as melhorias no fluxo de valor com base nos conceitos da ME, e elaborado um novo mapa do estado futuro. Os indicadores atuais da linha de produção, apresentados no Quadro 6, são a base para a análise da eficácia das ações implementadas.

Dessa maneira, a partir do novo mapa do estado atual, algumas oportunidades de melhorias para o novo fluxo de valor são identificadas e aplicadas a partir de eventos *Kaizens*, envolvendo equipes multifuncionais. Os pontos para melhoria são:

- Desenvolvimento e aplicação de trabalho padronizado, necessário para garantir a qualidade e a produtividade (referente ao tempo de processamento e variabilidade) na execução das etapas de fabricação;
- Gerenciamento visual e controle hora a hora de peças enviadas para grade (processo cliente do fluxo de valor) por meio da utilização de um quadro de identificação de problemas no fluxo de valor;

- Redução dos desperdícios de movimentação de operadores e transporte de peças na linha de produção por meio da aproximação das ferramentas e materiais necessários e etapas de fabricação.

As melhorias abordadas nesse ciclo consistem na implementação de ferramentas básicas da Manufatura Enxuta (ME), como o trabalho padronizado e o gerenciamento visual da linha, a partir de um quadro de identificação de problemas no fluxo de valor.

Além da aplicação das ferramentas da ME, uma esteira para transporte de peças ao longo das etapas de fabricação foi implementada. O objetivo dessa implementação é melhorar o *layout* da linha de produção e facilitar o controle e sequenciamento do estoque em processo, principalmente, nas canaletas FIFO e, conseqüentemente, eliminar ou reduzir os desperdícios na linha de produção.

A Figura 17 apresenta o mapa do estado atual do fluxo de valor desse terceiro ciclo com as oportunidades de melhorias, que serão aplicadas por meio dos eventos *Kaizens*, identificadas no mesmo.

4.4.3 Análise dos dados e planejamento das ações do terceiro ciclo da pesquisa-ação

Essa etapa da pesquisa-ação corresponde ao desenvolvimento do novo mapa do estado futuro do MFV, na qual foi planejada a implementação das melhorias no fluxo de valor identificadas no último passo proposto por Rother e Shook (2012) para elaboração de um fluxo de valor enxuto.

A primeira melhoria implementada é a elaboração do diagrama de trabalho padronizado para cada etapa da linha de produção em estudo, que consiste basicamente na criação de procedimentos precisos para o desenvolvimento das atividades de cada um dos operadores e o treinamento dos mesmos na execução padronizada dessas instruções de trabalho.

Essa ferramenta da ME, de acordo com o *Lean Enterprise Institute* (2007), uma vez implementada nas estações de trabalho, torna-se a base para a melhoria contínua dos processos por meio dos Eventos *Kaizen* (eventos de melhoria contínua e incremental).

Os principais benefícios alcançados na linha com a padronização das atividades de produção são: a redução da variabilidade nos tempos de execução das atividades e a facilitação para o desenvolvimento da multifuncionalidade, um dos focos dessa aplicação.

O diagrama de trabalho padronizado desenvolvido para o processo de fabricação do fluxo de valor em estudo é apresentado na Figura 18, que exemplifica como o trabalho padronizado deve ser utilizado nas etapas de fabricação. Por questão de sigilo da empresa, as reais operações de montagem e fotos das etapas da linha de produção em estudo não foram apresentadas.

LOGO	NOME DA EMPRESA	TRABALHO PADRONIZADO									
		SETOR: _____	ÁREA: _____								
OPERAÇÃO 1 1.1) SOLDAR CABOS DO SECUNDÁRIO. 1.2) ENCAIXAR SECUNDÁRIO NA PARTE ATIVA.		OPERAÇÃO 2 2.1) ENCAIXAR PARTE ATIVA NO SUPORTE DE MONTAGEM. 2.2) COLOCAR CALÇO EMBAIXO DA PEÇA.									
OPERAÇÃO 3 3.1) COLOCAR ARRUELA DE CARTÃO. 3.2) COLOCAR SUPORTE DE LEVANTAMENTO DE NÚCLEO.		OPERAÇÃO 4 4.1) ENCAIXAR PRIMEIRO NÚCLEO E FIXÁ-LO COM ABRAÇADEIRA. 4.2) ENCAIXAR SEGUNDO NÚCLEO, E FIXÁ-LO COM ABRAÇADEIRA GRANDE PRESSIONANDO OS MESMOS.									
OPERAÇÃO 5 5.1) ISOLAR CUBA COM POLIÉSTER E PAPEL CARTÃO. 5.2) PARAFUSAR O SUPORTE DE FIXAÇÃO DO NÚCLEO E PROTEGER COM POLIÉSTER.		OPERAÇÃO 6 6.1) SOLDAR CONECTOR OLHAL NO FIO TERRA. 6.2) COLOCAR PEÇA NA CUBA.									
OPERAÇÃO 7 7.1) SOLDAR H2. 7.2) FIXAR H2 (PREENCHER).		OPERAÇÃO 8 8.1) CONECTAR FIOS DA SAÍDA DO SECUNDÁRIO NA TRAVESSA. 8.2) FIXAR TRAVESSA DO SECUNDÁRIO NA CUBA.									
OPERAÇÃO 9 9.1) RETIRAR PEÇA DA ESTEREA TAMPAR A CUBA. 9.2) COLOCAR PLÁSTICO PARA PROTEÇÃO.											
FERRAMENTAS NECESSÁRIAS 1. TESOURA. 2. CHAVE L13, L10. 3. MARTELO. 4. ALICATE CONECTOR. 5. ALICATE DE BICO. 6. CHAVE-ALÉM 5, 6.		MATERIAS NECESSÁRIOS 1. PLACA DE FILME (POLIÉSTER). 2. PAPEL CARTÃO 1 mm E 0,05 mm. 3. FITA MILAR. 4. FITA PARA ABRAÇAR. 5. ESPALHETE ISOLANTE 0,8mm. 6. TERMINAL MP, ME, MFD.									
NÃO CONFORMIDADES 1. SOLDA FRIA NO TERMINAL DO CABO. 2. FALTA DE RASPAGEM DE FIO DE COBRE. 3. FALTA DE ISOLAMENTO NOS CABOS. 4. FALTA DE ABERTO DOS CONECTORES DA TRAVESSA H2.		<table border="1"> <tr> <td>DATA</td> <td>ASSINATURA</td> <td>DESCRIÇÃO</td> <td>STATUS</td> </tr> <tr> <td> </td> <td> </td> <td> </td> <td> </td> </tr> </table>		DATA	ASSINATURA	DESCRIÇÃO	STATUS				
DATA	ASSINATURA	DESCRIÇÃO	STATUS								
		TRABALHO PADRÃO 									

Figura 18 - Diagrama de trabalho padronizado

Com a utilização do diagrama de trabalho padronizado nas etapas de fabricação, estará exposto para cada operador a sequência exata das operações, bem como a forma de executá-las, as ferramentas e os materiais necessários para execução da etapa de fabricação e, ainda, as possíveis não conformidades que podem ocorrer com as suas respectivas ações de correção ou contingência.

A segunda melhoria a ser implementada é a gestão visual no fluxo de valor. Nesse caso, os dias da semana passam a corresponder a cores, que devem ser identificadas nas cartelas de fabricação enviadas para a linha de produção, de acordo com a programação diária do PCP.

Dessa maneira, a cada dia entra uma nova cor na primeira etapa da linha de produção e sai uma outra cor na última etapa, respeitando-se o *Lead Time* e o *Pitch* estabelecido para o fluxo de valor.

Além disso, quadros foram colocados em pontos chave do fluxo de valor e utilizados, tanto para o controle de produção, quanto para a identificação e resolução rápida de problemas que podem afetar o atendimento da demanda diária.

Para que a gestão visual funcione na linha de produção, o *Lead Time* estabelecido para fabricação do lote diário de peças, de acordo com a demanda, foi reduzido para três dias. Dessa maneira, o lote de peças diário, com as cartelas de fabricação identificadas pela cor do respectivo dia da semana, entra para fabricação no início do DIA 1 e sai ao final do DIA 3.

A utilização de cores para o gerenciamento visual da linha facilita o controle do fluxo contínuo estabelecido entre as etapas de fabricação, por meio da utilização de canaletas FIFO.

O gerenciamento visual por meio das cores diárias e o sequenciamento dos lotes diários pelas etapas da linha de produção é exemplificado na Figura 19, na qual ilustra o fluxo dos lotes diários de peças, identificados por cores diferentes a cada dia.

Nessa figura, o fluxo de peças dos lotes diários é representado em um gráfico de Gantt, no qual o eixo horizontal apresenta os dias úteis da semana e o vertical as etapas de fabricação da linha de produção.

Dessa maneira, o lote de peças identificadas pela cor laranja inicia a produção na fase BS na segunda-feira e termina a produção na etapa AF na quarta-feira, o lote de peças identificadas pela cor roxa inicia na terça-feira e termina na quinta-feira, e assim por diante conforme apresentado na Figura 19.

A partir do fluxo contínuo estabelecido para o lote diário de produção, determinou-se os dois pontos chave para o controle de produção por meio da utilização dos quadros de identificação de problemas.

O primeiro deles foi instalado no início do fluxo e controla a primeira canaleta FIFO, localizada entre as etapas BS e BP, com capacidade de um dia de demanda. O segundo foi instalado no final do fluxo, que controla última canaleta FIFO, localizada entre as etapas TESTE e GRADE, que apresentava capacidade de um dia de demanda ao final do segundo ciclo e, para o terceiro ciclo, tiveram sua capacidade reduzida para meio dia de demanda.

Nesses pontos, deve ocorrer o controle de abastecimento das canaletas FIFO a cada período determinado, com o objetivo de evitar e resolver eventuais problemas e garantir que a programação diária de produção seja atendida.

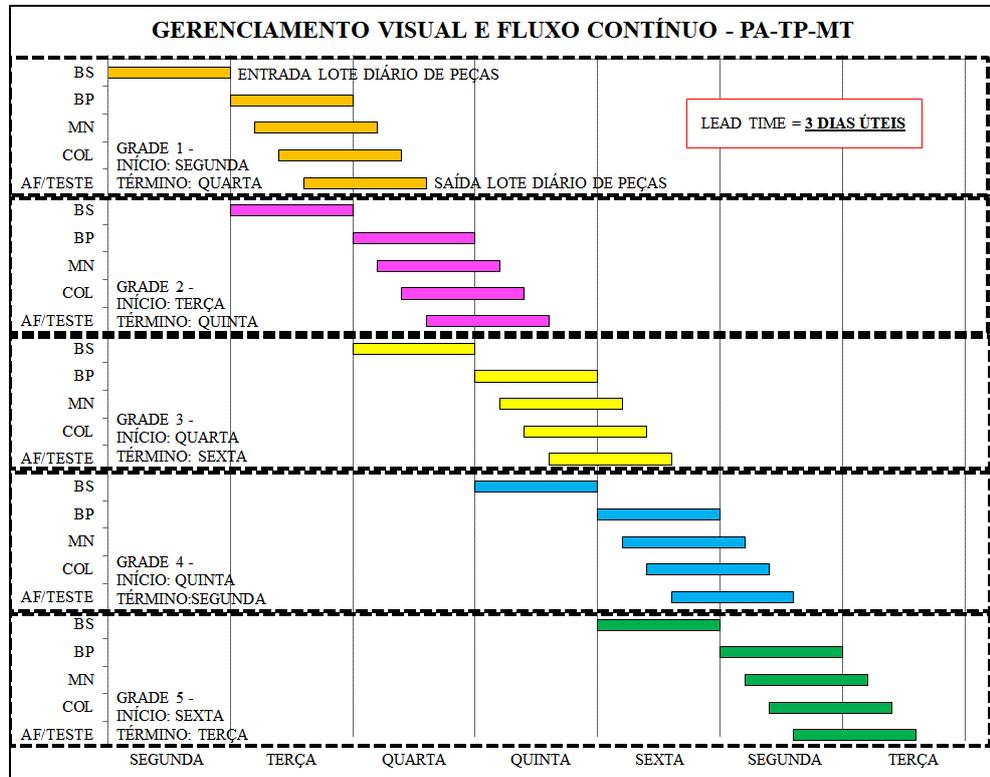


Figura 19 - Gerenciamento visual e fluxo contínuo da linha de produção

A última melhoria necessária ao fluxo de valor nesse terceiro ciclo da pesquisa-ação consiste na implantação de esteiras para transporte de peças entre os processos. Essa modificação contribui para uma melhoria do *layout* da linha e para a redução dos desperdícios com transporte de peças e deslocamento dos operadores, proporcionando uma redução no tempo de ciclo das etapas de fabricação (lembrando que os tempos de transporte e movimentação estão embutidos nos tempos de ciclo).

Essa modificação tem como consequência um aumento da capacidade produtiva e uma redução da necessidade de horas extras. Além disso, a utilização de esteiras proporciona um melhor sequenciamento e controle da produção nas canaletas FIFO.

A partir das melhorias planejadas é possível elaborar um novo mapa do estado futuro do fluxo de valor, que é apresentado na Figura 20.

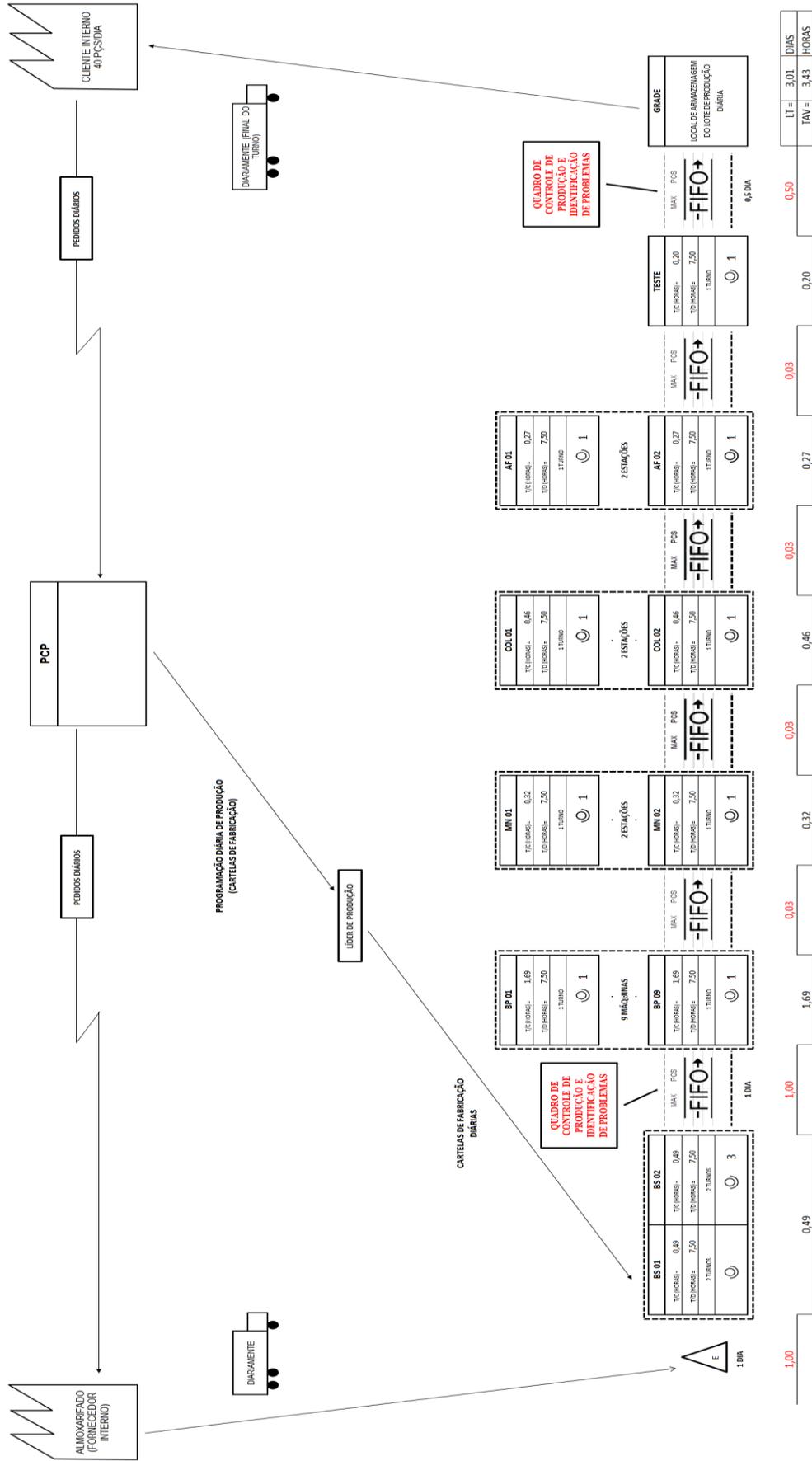


Figura 20 - Mapa do Estado Futuro do terceiro ciclo da pesquisa-ação

A partir das melhorias planejadas, elaborou-se o plano para implementação das ações necessárias para a melhoria do fluxo de valor, que será apresentado no próximo tópico, a partir da utilização da ferramenta da qualidade 5W2H.

4.4.4 Implementação das ações do terceiro ciclo da pesquisa-ação

Para implementar as ações propostas nesse terceiro ciclo da pesquisa-ação utilizou-se novamente a ferramenta da qualidade 5W2H, na qual define-se os detalhes para implementar cada uma das ações necessárias para transformação do fluxo de valor. O cronograma de implementação é apresentado no Quadro 6.

O que? (What)	Por quê? (Why)	Onde? (Where)	Quando? (When)	Quem? (Who)	Como? (How)	Quanto custa? (How much)
Elaborar diagramas de trabalho padronizado para etapas de fabricação	Reduzir variação nos processos, facilitar treinamento	Linha de produção	Prazo de 04 semanas	Supervisor de produção	Criar procedimentos para as atividades de cada etapa	-
Implementar a gestão visual na linha de produção	Facilitar o sequenciamento da produção	Linha de produção	Prazo de 04 semanas	Supervisor de produção	Utilizar cores para os lotes diários	-
Instalar esteiras transportadoras	Reduzir desperdício com o transporte de peças,	Linha de produção	Prazo de 12 semanas	Setores de P&D e Produção	Utilizar esteiras para transporte de peças	kR\$ 45

Quadro 6 - Plano de implementação das ações do terceiro ciclo da pesquisa-ação

A partir da aplicação das ações, em um prazo de aproximadamente três meses, os resultados tornaram-se visíveis na linha de produção e estão apresentados no próximo tópico.

4.4.5 Avaliação dos resultados do terceiro ciclo e geração do relatório

Com a implementação das ações apresentadas no Quadro 6, foi possível avaliar os resultados decorrentes da modificação no fluxo de valor da linha de produção em estudo, que estão resumidos e apresentados no Quadro 7.

	Nº Operadores	Média de horas extras/dia	Lead Time (LT)
Cenário 2º ciclo	19	8 horas	4,39 dias
Cenário 3º ciclo	19	4 horas	3,00 dias

Quadro 7 - Resultados obtidos no terceiro ciclo da pesquisa-ação

A partir dos resultados apresentados, verifica-se uma redução de 50% das horas extras diárias em comparação ao cenário atingido no segundo ciclo, consequência da redução do tempo de transporte de peças e movimentação dos operadores, do aperfeiçoamento do fluxo contínuo por meio de esteiras transportadoras e do melhor aproveitamento da mão-de-obra disponível na linha. Com a utilização de uma gestão visual mais eficiente, ficaram nítidos os gargalos da linha ao longo do turno, o que, conseqüentemente, facilitou o deslocamento de colaboradores para os pontos onde o fluxo acaba parando.

O *Lead Time* de fabricação apresentou uma redução de 31,7%, em comparação com o cenário obtido ao final do segundo ciclo, consequência principalmente do estabelecimento de um novo modelo de fluxo contínuo para os lotes diários e do gerenciamento visual implementado na linha de produção.

A implementação de esteiras transportadoras, além de proporcionar a redução dos tempos de transporte e de movimentação e a melhoria do fluxo de peças, proporcionou uma melhora no *layout* da linha de produção, o que contribui para o aumento de produtividade devido a melhorias no ambiente de trabalho.

A Figura 21 apresenta a comparação do *layout* antes e depois da instalação das esteiras na linha de produção.

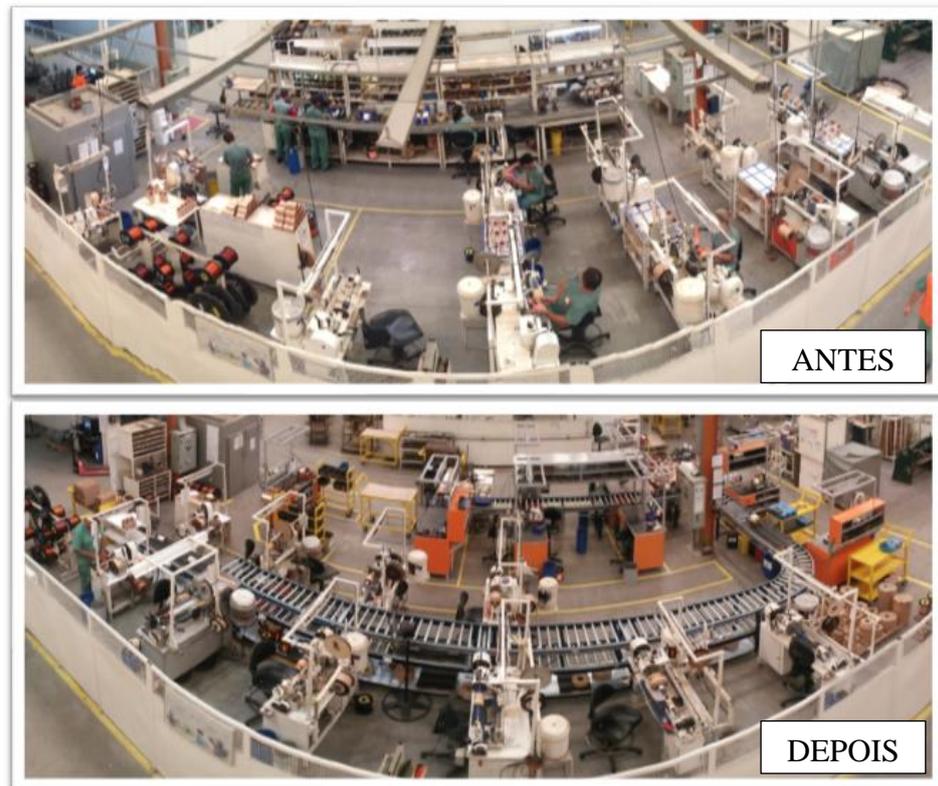


Figura 21 – *Layout* antes e depois da implementação de esteiras transportadoras

A partir da utilização da cronoanálise foi possível identificar o tempo reduzido com a eliminação do transporte de peças e movimentação dos operadores em cada etapa de fabricação e, conseqüentemente, um novo tempo de ciclo pôde ser utilizado na linha. O tempo reduzido em cada etapa de fabricação e o novo tempo de ciclo considerado para linha de produção é apresentado no Tabela 5.

Etapas de fabricação	Redução no tempo de transporte (horas)	Novo tempo de ciclo (horas)
BS	0,03	0,46
BP	0,03	1,66
MN	0,02	0,30
COL	0,02	0,44
TESTE	0,02	0,18
AF	0,02	0,25

Tabela 5 - Tempo reduzido nas etapas de fabricação e novo tempo de ciclo considerado

Com a redução dos tempos de transporte e de movimentação, o tempo de agregação de valor (TAV), utilizado para custear os equipamentos, reduziu em 4%, proporcionando um aumento da competitividade da empresa por meio da redução de custos de fabricação e do preço final de venda dos produtos.

Além disso, a redução de *Lead Time* também contribuiu para um aumento da vantagem competitiva da empresa, pois proporcionou uma redução no prazo de entrega dos equipamentos.

Uma observação importante é a questão dos retrabalhos existentes entre as etapas AF e TESTE, que continuaram com uma taxa de 35%. Porém, mesmo não sendo eliminados ou reduzidos, como apresentado na descrição do objeto de estudo, o tempo e a atividade de retrabalho foram incorporados ao processo, não impedindo o funcionamento do fluxo enxuto elaborado nessa aplicação.

Dessa maneira, os estudos para redução da taxa de retrabalho na linha de produção ficam como oportunidades de melhoria para aplicação dos próximos ciclos da pesquisa-ação, que não serão abordados nesse trabalho. Com a redução da taxa de trabalho a empresa poderá aumentar a produtividade da linha, reduzir custos de fabricação e aumentar sua competitividade em relação aos concorrentes.

O próximo capítulo apresenta a conclusão do trabalho, mostrando o atendimento dos objetivos gerais e específicos propostos, bem como as contribuições teóricas e práticas. Além disso, elaborou-se um resumo dos resultados obtidos com a aplicação dos conceitos de ME no fluxo de valor abordado.

5 CONCLUSÃO

Esse trabalho apresentou como objetivo geral conduzir e analisar a aplicação dos conceitos e ferramentas da Manufatura Enxuta (ME) em uma empresa com tipologia de produção *Engineer-To-Order* (ETO), visando a melhoria de indicadores de desempenho de uma linha de produção.

Tal propósito foi atingido aplicando-se no objeto de estudo o método da pesquisa-ação, aliado à ferramenta do Mapeamento do Fluxo de Valor (MFV). Os resultados práticos alcançados na linha de produção foram o aumento da produtividade, a redução da necessidade de horas extras e a redução do *Lead Time* de fabricação.

A partir da aplicação dos conceitos e ferramentas da ME, após a realização de três ciclos da pesquisa-ação no objeto de estudo, verifica-se uma melhoria em alguns dos principais indicadores de desempenho da linha de produção.

Observa-se redução de 9,5% na necessidade de colaboradores para atender a demanda diária, passando de 21 operadores na linha de produção no cenário inicial para 19 operadores no cenário final. Tal redução é consequência, principalmente, do novo dimensionamento da linha, realizado a partir da adaptação dos tempos de ciclo de cada etapa de fabricação.

A redução do número de colaboradores gerou uma necessidade de realizar um balanceamento diferente, no qual foi preciso desenvolver a multifuncionalidade dos operadores das etapas de fabricação. Dessa maneira, os mesmos devem ser deslocados ao longo das etapas de fabricação de acordo com a necessidade, para cada *mix* e volume da programação diária de produção.

Na prática, esse resultado equivale a um aumento da produtividade da linha de produção. Nesse caso, o aumento de produtividade possibilitou à linha atender a demanda diária de peças com uma quantidade menor de operadores.

Observa-se também uma redução de 75% das horas extras diárias, que passaram de uma média de 16 horas extras por dia no cenário inicial para uma média de 4 horas extras por dia no cenário final.

Esse resultado é consequência da melhoria no fluxo de peças pela linha, do novo balanceamento realizado a partir da multifuncionalidade dos operadores, do aumento da disponibilidade de máquinas e da redução dos desperdícios nas etapas de fabricação, principalmente os de estoque, de transporte de peças e de movimentação dos operadores.

Por fim, destaca-se a redução de 61,7% no *Lead Time* de fabricação, que no cenário inicial era de 7,84 dias e passou para 3 dias no cenário final. Tal resultado foi obtido devido, principalmente, à implementação do fluxo contínuo na linha de produção, eliminando-se os pontos em que o fluxo parava e os estoques intermediários acumulavam.

A redução de horas extras e o aumento da produtividade, tem impacto direto na redução dos custos de fabricação e, conseqüentemente, essas melhorias proporcionam uma redução no preço final de venda do produto, aumentando a competitividade da empresa no mercado. Além disso, a redução do *Lead Time* de fabricação também proporciona um aumento da competitividade da empresa, pois permite a redução dos prazos de entrega dos produtos.

Em relação aos objetivos específicos do trabalho, os mesmos foram atendidos a partir do desenvolvimento de uma Revisão Sistemática de Literatura (RSL), na qual foi abordado a aplicação dos conceitos e ferramentas da ME em ambientes com tipologia de produção ETO, identificando as dificuldades, as adaptações e as recomendações para a aplicação destes conceitos e ferramentas nestes ambientes.

A partir da RSL, destacam-se as adaptações e recomendações referentes ao controle de carga de trabalho através de lançamentos periódicos, a utilização de ferramentas para gestão visual e a utilização de funcionários multifuncionais. Quanto às dificuldades, destacam-se a variabilidade e incerteza do ambiente de produção e as mudanças na demanda e *mix* de produtos.

Além disso, outro objetivo específico proposto também foi atendido, uma vez que este trabalho apresenta adaptações e recomendações adicionais àquelas apontadas pela RSL, propostas pelo próprio autor, como a determinação do tempo de ciclo das etapas de fabricação e o controle de produção pelo tempo *Pitch*,

A partir do atendimento dos objetivos gerais e específicos, este trabalho apresenta as contribuições práticas e teóricas esperadas. A contribuição prática está relacionada aos ganhos obtidos para a empresa, que teve os indicadores de desempenho melhorados a partir das melhorias implementadas na linha de produção.

Já a contribuição conceitual está relacionada com a obtenção de uma melhor compreensão da aplicação dos conceitos e ferramentas da Manufatura Enxuta em ambientes com tipologia ETO, tanto aquelas apresentadas pela RSL, quanto às adicionais apresentadas pelo próprio autor.

Também é importante destacar que nenhuma outra RSL sobre o tema foi encontrada. Porém, como afirmado, esta foi uma contribuição teórica inicial, pois no item 4.1 foi conduzida uma análise detalhada sobre as adaptações e recomendações apresentadas pela literatura e vistas como necessárias à aplicação da ME no ambiente ETO do objeto de estudo desta dissertação, as quais em geral também estão presentes em outros ambientes ETO.

As dificuldades enfrentadas na aplicação deste trabalho vão ao encontro das existentes na literatura, reforçando, dessa maneira, o que foi apresentado pelos autores citados na RSL e que está resumido no Quadro 2.

A partir da comparação dos resultados deste trabalho com o apresentado na RSL, fica evidente que a sazonalidade da demanda é uma das principais dificuldades enfrentadas em organizações com tipologia de produção ETO que buscam implementar os conceitos da ME.

Já a variação nos tempos de ciclo em cada etapa de fabricação e a variabilidade do *mix* de produtos são dificuldades da linha de produção objeto de estudo desse trabalho e que Matt (2014) e Danford (2010) também apresentam em seus trabalhos.

A utilização de ferramentas da ME como o gerenciamento visual e o trabalho padronizado vai ao encontro das recomendações propostas por Birkie e Trucco (2016) e Birkie *et al.* (2017). Além disso, esses autores também propõem a utilização de funcionários multifuncionais, que nesse trabalho foi uma adaptação essencial para o funcionamento do balanceamento da linha de produção.

Dessa maneira, este trabalho além de reforçar o que foi apontado pelos trabalhos existentes, complementa a literatura com novas adaptações e recomendações no que se refere à aplicação dos conceitos da Manufatura Enxuta nos ambientes de produção com tipologia *Engineer-To-Order*.

Como sugestões para trabalhos futuro são apresentados os seguintes temas:

- Aplicação dos conceitos da Manufatura Enxuta em processos administrativos de empresas com tipologia *Engineer-To-Order*, tais como vendas, engenharia, desenvolvimento de produtos e planejamento, tanto de materiais quanto de produção. Tais processos apresentam-se como gargalos no *Lead Time* de fornecimento dos produtos;
- Desenvolvimento de um método para aplicação da filosofia da Manufatura Enxuta nos ambientes com tipologia MTO e ETO. Determinar as adaptações necessárias e o passo-a-passo para implantação dos conceitos e ferramentas da Manufatura Enxuta no fluxo de valor considerando as peculiaridades e dificuldades de organizações com esses tipos de tipologia.

Deve-se destacar que os resultados obtidos com a realização desse trabalho são restritos ao objeto de estudo em questão, devendo-se fazer novas aplicações em outros objetos de estudo para se poder ter uma conclusão mais geral sobre a aplicabilidade da ME em ETO.

6 REFERÊNCIAS

AMRANI, A.; ZOUGGAR, S.; ZOLGHADRI, M.; GIRARD, P. Supporting framework to improve engineer-to-order product lead-times. Management and Control of Production Logistics, University of Coimbra, Portugal, 2010.

APPOLINÁRIO, F. Metodologia da ciência – filosofia e prática da pesquisa. São Paulo: Editora Pioneira Thomson Learning, 2006.

AVISON, D.; BASKERVILLE, R.; MYERS, M. Controlling action research projects. Information Technology & People, v. 14, n. 1, p. 28-45, 2001.

BERTRAND, J. W. M.; FRANSOO, J. C. Modelling and simulation: operations management research methodologies using quantitative modeling. International Journal of Operations & Production Management, p. 241-264, 2002.

BIRKIE, S. E.; TRUCCO, P. Understanding dynamism and complexity factors in engineer-to-order and their influence on lean implementation strategy. Production Planning & Control (Print), p. 345-359, 2016.

BIRKIE, S. E.; TRUCCO, P.; KAULIO, M. Sustaining performance under operational turbulence: the role of lean in engineer-to-order operations. International Journal of Lean Six Sigma, vol. 8, n. 4, p. 457-481, 2017.

BRAGLIA, M; CARMIGNANI, G; ZAMMORI, F. A new value stream mapping approach for complex production systems. International Journal of Production Research, p. 3929-3952, 2006.

CHEN, C. S. Concurrent engineer-to-order operation in the manufacturing engineering contracting industries. International Journal Industrial and Systems Engineering, vol. 1, p. 37–58, 2006.

COGHLAN, D.; BRANNICK, T. Doing action research in your own organization. 2nd ed. London: Sage, 2008.

COUGHLAN, P.; COGHLAN, D. Action research for operations management. International Journal of Operations & Production Management, v. 22, n. 2, p. 220-240, 2002.

DANFORD, M.; From job shop chaos to lean order. *Modern Machine Shop*, v. 83, n. 6, p. 60-67, 2010.

ERRASTI A.; POLER, R. Engineer-to-order supply chain improvement based on the GRAI meta-model for interoperability: an empirical study in enterprise interoperability III. Springer London, 2008.

GHINATO, P. Elementos fundamentais do Sistema Toyota de produção. In: *Produção e competitividade: aplicações e inovações*. Recife: Editora da UFPE, 2000. Cap 2.

GURUMURTHY, A.; KODALI, R. Design of lean manufacturing systems using value stream mapping with simulation: a case study. *Journal of Manufacturing Technology Management*, vol. 22, n. 4, p. 444-473, 2011.

HADID, W.; MANSOURI, A. The lean-performance relationship in services, a theoretical model. *International Journal of Operations and Production Management*, vol. 34, n. 6, p. 750-785, 2014.

HINES, P.; TAYLOR, D. *Going lean: a guide to implementation*. Cardiff: Lean Enterprise Research Center, 2000.

JINA, J.; BHATTACHARYA, A. K.; WALTON, A. D. Applying lean principles for high product variety and low volumes: some issues and propositions. *Logistics Information Management*, vol. 10, n. 1, p. 5-13, 1997.

KENNEDY, F. A.; WIDENER, S. K. A control framework: insights from evidence on lean accounting. *Management Accounting Research*, v. 19, p. 301-323, 2008.

LEAN ENTERPRISE INSTITUTE. *Léxico lean – glossário ilustrado para praticantes do pensamento lean v.2.0*. São Paulo: Lean Institute Brasil, 2007.

LUGERT, A.; BATZ, A.; WINKLER, H. Empirical assessment of the future adequacy of value stream mapping in manufacturing industries. *Journal of Manufacturing Technology Management*, vol. 29, p. 886 – 906, 2018.

MATT, D. T.; Adaptation of the value stream mapping approach to the design of lean engineer-to-order production systems - A case study. *Journal of Manufacturing Technology Management*, vol. 25, p. 334 – 350, 2014.

MCGOVERN, T.; HICKS, C.; EARL, C. F. Modelling supply chain management processes in engineer-to-order companies. *International Journal of Logistics: Research and Applications*, vol. 2, p. 147-159, 1999.

MELLO, C.H.P.; TURRIONI, J.B.; XAVIER, A.F.; CAMPOS, D. F.; Pesquisa-ação na engenharia de produção: proposta de estruturação para sua condução. *Produção*, vol. 22, p. 1-13, 2012.

MOHER, D.; SHAMSEER, L.; CLARKE, M.; GHERSI, D.; LIBERATI, A.; PETTICREW, M.; SHEKELLE, P.; STEWART, L. A.; PRISMA-P GROUP. Preferred reporting items for systematic review and meta-analysis protocols (PRISMA-P) 2015 statement. *Systematic Reviews*, vol. 4, n. 1, 2015

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

OLHAGER, J. The role of the customer order decoupling point in production and supply chain management. *Computers in Industry*, vol. 61, n. 9, p. 863-868, 2010.

PIRES, S.R.I.; *Gestão Estratégica da Manufatura*, Editora UNIMEP, 1995.

PIRES, S.R.I.; *Gestão da Cadeia de Suprimentos: conceitos, estratégias, práticas e casos – Supply chain management*. São Paulo: Atlas, 2004.

RAGHAVAN, V. A.; YOON, S.; SRIHARI, K. Lean transformation in a high mix low volume electronics assembly environment, *International Journal of Lean Six Sigma*, vol. 5, n. 4, p. 342-360, 2014.

ROTHER, M.; SHOOK, J. *Aprendendo a Enxergar – Mapeando o fluxo de valor para agregar valor e eliminar o desperdício*. São Paulo, SP. Lean Institute Brasil, 2012.

RIEZEBOS, J.; KLINGENBERG, W. Advancing lean manufacturing, the role of IT. *Computers in Industry*, vol. 60, n. 4, p. 235-236, 2009.

SETH, D.; SETH, N.; DHARIWAL, P.; Application of value stream mapping (VSM) for lean and cycle time reduction in complex production environments: a case study”, *Production Planning and Control*, vol. 28, n. 5, p. 398-419, 2017.

STUMP, B.; BADURDEEN, F. Integrating lean and other strategies for mass customization manufacturing: a case study. *Journal of Intelligent Manufacturing*, vol. 23, n. 1, p. 109-124, 2012.

THIOLLENT, M. *Metodologia da pesquisa-ação*. 15. ed. São Paulo: Cortez, 2007.

THORPE, R.; HOLT, R.; MACPHERSON, A.; PITTAWAY, L. Using knowledge within small and medium-sized firms: a systematic review of the evidence. *International Journal of Management Reviews*, vol. 7, n. 4, p. 257-281, 2005.

THURER, M.; STEVENSON, M.; SILVA, C.; LAND, M. J.; FREDENDALL, L. Workload control and order release: a lean solution for make-to-order companies. *Production and Operations Management*, vol. 21, p. 939-953, 2012.