

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
DEPARTAMENTO DE GESTÃO E ECONOMIA – DAGEE
CURSO DE ESPECIALIZAÇÃO EM GESTÃO ESTRATÉGICA DA PRODUÇÃO

RICARDO CAVALCANTI REBELLO

AVALIAR OS BENEFÍCIOS DA APLICAÇÃO DOS CONCEITOS DE MANUFATURA
ENXUTA PARA A MELHORIA DE PROCESSOS DE FABRICAÇÃO: ESTUDO DE
CASO

CURITIBA
2014



TERMO DE APROVAÇÃO

ALUNO(A): RICARDO CAVALCANTI REBELLO

TÍTULO DA MONOGRAFIA: AVALIAR OS BENEFÍCIOS DA APLICAÇÃO DOS CONCEITOS DE MANUFATURA ENXUTA PARA A MELHORIA DE PROCESSOS DE FABRICAÇÃO: ESTUDO DE CASO

Esta monografia foi apresentada às 18h 15min. do dia 28/11/2014, como requisito parcial para a obtenção do título de Especialista no XI CURSO DE ESPECIALIZAÇÃO EM GESTÃO ESTRATÉGICA DA PRODUÇÃO, da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, **Câmpus Curitiba**. O candidato foi arguido pela Banca Examinadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho:

1	X	Aprovado
2		Aprovado condicionado às correções Pós-banca, postagem da tarefa e liberação do Orientador.
3		Reprovado

Prof. Dr. Cezar Augusto Romano
UTFPR – Câmpus Curitiba
Orientador

Prof. Dra. Isaura Alberton de Lima
UTFPR – Câmpus Curitiba
Examinador

Prof. Msc. Hilda Alberton de Carvalho
UTFPR – Câmpus Curitiba
Examinador

* A folha de aprovação assinada encontra-se na coordenação do curso.

RICARDO CAVALCANTI REBELLO

**AVALIAR OS BENEFÍCIOS DA APLICAÇÃO DOS CONCEITOS DE
MANUFATURA ENXUTA PARA A MELHORIA DE PROCESSOS DE
FABRICAÇÃO: ESTUDO DE CASO**

Trabalho de Conclusão de Curso de Pós Graduação, apresentado ao Curso de Especialização em Gestão Estratégica da Produção, do Departamento Acadêmico de Gestão e Economia – DAGEE, da Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR, como requisito parcial para obtenção do título de Especialista.

Orientador: Prof. Cezar Augusto Romano

CURITIBA
2014

RESUMO

REBELLO, Ricardo. **Avaliar os benefícios da aplicação dos conceitos de manufatura enxuta para a melhoria de processos de fabricação: Estudo de Caso. 2014.** 44 f. Monografia (Especialização em Gestão Estratégica da Produção) – Programa de Pós Graduação em Gestão e Economia, Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

Esta pesquisa aborda a melhoria de processos de fabricação à luz dos conceitos de manufatura enxuta. A pesquisa mostra os impactos da aplicação de ferramentas de manufatura enxuta, tais como: Mapeamento do Fluxo de Valor, eliminação de operações sem valor agregado, Automação, operações multiprocessos e balanceamento de linha em processos de fabricação de uma indústria do ramo metal mecânico. O objetivo principal da pesquisa foi a avaliação dos benefícios trazidos pelos conceitos da manufatura enxuta em termos de melhoria de processos de fabricação, a forma de mensuração de resultados utilizada foi o impacto em indicadores de performance de processos produtivos, tais como: Produtividade, Lead Time e Work in Process. Além de evidenciar os ganhos mensuráveis atingidos com a aplicação das ferramentas da manufatura enxuta, foram evidenciados também ganhos adicionais como a ergonomia e a satisfação dos colaboradores. O trabalho apresenta ainda uma metodologia para sistematizar e impulsionar a melhoria contínua em processos de fabricação, e como esta sistemática de melhoria contínua pode ser relacionada a uma vantagem competitiva para a empresa que a implementa. A metodologia de pesquisa utilizada foi a pesquisa-ação, pois houve envolvimento ativo do pesquisador no problema observado.

Palavras chave: Manufatura Enxuta, Melhoria de processos de fabricação, Redução de custos, Mapeamento do Fluxo de Valor.

ABSTRACT

REBELLO, Ricardo. **Evaluate the benefits of the lean manufacturing concepts applied on the improvement of manufacturing processes: Case Study. 2014.** 44 f. Monografia (Especialização em Gestão Estratégica da Produção) – Programa de Pós Graduação em Gestão e Economia, Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

This research addresses the manufacturing processes improvement using the lean manufacturing concepts. The research shows the impact of the application of lean manufacturing tools such as: Value Stream Map, Elimination of non-value added operations, Automation, Multi-operation processes and Line balancing on manufacturing processes of a metal mechanic industry. The main objective of this research was the analysis of the benefits brought by the lean manufacturing concepts in terms of manufacturing processes improvement, the way defined to measure the results was the impact on processes performance indicators such as: Productivity, Lead Time and Work. Besides the measurable savings achieved using the lean manufacturing tools, were achieved also additional improvements as ergonomics and employee's satisfaction. Was presented also in the work a methodology to systematize and boost the continuous improvement on manufacturing processes, this research also show how the systematic of continuous improvement can be linked to a competitive advantage to the company that implement it. The methodology applied to this research was the action-research because the researcher was actively involved on the issue observed.

Keywords: Lean Manufacturing, Manufacturing processes improvement, Cost Reduction, Value Stream Mapping.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Fig.1.0 - Fases do Mapeamento do Fluxo de Valor.....	Pág. 16
Fig. 1.1 – Exemplo de Mapeamento do Fluxo de Valor.....	Pág. 17
Fig. 4.1 – Fluxo de operações de fabricação dos casos estudados.....	Pág. 21
Fig. 4.2 – Fluxo de operações do estágio 2 (Usinagem).....	Pág. 22
Fig. 4.3 – Mapeamento do fluxo de valor do estágio 2 (Usinagem.....	Pág. 23
Fig. 4.5 – Máquina de Rebarbação TEM.....	Pág. 24
Fig. 4.6 – Peça antes de passar pelo processo de Rebarbação TEM.....	Pág. 25
Fig. 4.7 – Peça após processo de Rebarbação TEM.....	Pág. 25
Fig. 4.8 – Exemplo de máquina de rebarbação eletroquímica (ECM).....	Pág. 26
Fig. 4.9 – Fluxo de operações do estágio 2 (Usinagem).....	Pág. 27
Fig. 4.10 - Mapeamento do fluxo de valor do estágio 2 (Usinagem).....	Pág. 27
Fig. 4.11 – Equipamento de inspeção por partículas magnéticas.....	Pág. 29
Fig. 4.12 – Trinca revelada em uma inspeção por partículas magnéticas.....	Pág. 29
Fig. 4.13 – Fluxo de op. após eliminação da op. de detecção de trincas.....	Pág. 31
Fig. 4.14 - Mapeamento do fluxo de valor do estágio 2 (Usinagem).....	Pág. 31
Fig. 4.15 – Aplicação de Melhoria Contínua “Kaizen” em um processo.....	Pág. 32
Fig. 4.16 – Peça antes da operação TEM.....	Pág. 33
Fig. 4.17 – Peça após operação TEM.....	Pág. 33
Fig. 4.18 – Peça na operação de detecção de trincas.....	Pág. 34
Fig. 4.19 – Sequência de lavagem na etapa 15 (Decapagem).....	Pág. 34
Fig. 4.20 – Sequência de processo da usinagem final.....	Pág. 35
Fig. 4.21 – Mapeamento do fluxo de valor na usinagem final.....	Pág. 35
Fig. 4.22 – Nova sequência de processo da usinagem final.....	Pág. 36
Fig. 4.23 – Novo MFV da usinagem final.....	Pág. 37
Fig. 4.24 – Fluxo da usinagem com a eliminação de 1 máquina.....	Pág. 37
Fig. 4.25 – Estrutura dos processos da usinagem.....	Pág. 38
Fig. 4.26 – MFV da linha 1 de usinagem antes da aplicação do LLD.....	Pág. 39
Fig. 4.27 – Estrutura dos processos.....	Pág. 40

- Fig. 4.28 – MFV da linha 1 de usinagem após aplicação do LLD.....Pág. 41
- Fig. 4.29 – Fluxo da usinagem após aplicação do LLD.....Pág. 42

LISTA DE TABELAS

Fig. 4.4 – Matriz de classificação das operações.....Pág. 23

LISTA DE ABREVIATURAS

MFV:	Mapeamento do Fluxo de Valor
WIP:	Work in Process
O.E.E:	Overall Equipment Efetiveness
TEM:	Thermal Energy Method
JIT:	Just in Time
ECM:	Eletrochemical Machining
T/C:	Tempo de ciclo
LLD:	Lean Line Design

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	10
1.1	Problemática	10
1.2	Delimitação do problema de pesquisa	11
1.3	Objetivos	12
1.3.1	Objetivo geral	12
1.3.2	Objetivos específicos	12
1.4	Justificativa	12
1.5	Estrutura do Trabalho	13
1.6	Metodologia	13
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	14
2.1	Lean Manufacturing	15
2.2	Mapeamento do fluxo de valor	15
2.3	Produtividade	18
2.4	Automação ou Pré-Automação	18
2.5	Operações Multiprocessos	19
2.6	Balanceamento de Operações	19
3	MÉTODO DE PESQUISA	20
4	APRESENTAÇÃO, ANÁLISE DE DADOS E RESULTADOS	21
4.1	Estrutura de análise dos casos	21
4.2	Eliminação da Rebarbação Térmica (TEM)	21
4.3	Eliminação da operação de detecção de trincas	28
4.4	Otimização dos processos de lavagem	32
4.5	Lean Line Design	38
5	CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	44
	REFERÊNCIAS	46

1 INTRODUÇÃO

No ambiente industrial, ineficiências de processos de fabricação podem gerar a necessidade de operações adicionais no fluxo de valor de um produto, com o objetivo de corrigir desvios.

Por exemplo: caso um processo de usinagem gere rebarbas em um produto e não consiga removê-las e a existência de rebarbas afete negativamente a função do produto, deve ser criado um processo adicional de rebarbação para garantir que o cliente receba um produto livre de rebarbas.

Neste trabalho propõe-se a análise de processos produtivos, através do Mapeamento do Fluxo de Valor e também a aplicação da metodologia de manufatura enxuta, com o objetivo de propor e realizar melhorias de processo e eliminar as perdas produtivas.

1.1 Problemática

Podemos dizer que um processo agrega valor ao produto final de uma empresa quando modifica a forma ou qualidade do produto, segundo visão do autor Shingo (2002, p.110), é possível sintetizar da seguinte maneira as operações fabris:

“Aqueles que agregam e aquelas que não agregam valor. Operações que não agregam valor, tais como caminhar para obter as peças, desembalar peças vindas de fornecedores e operar chaves, podem ser consideradas perdas. No entanto, melhorias no trabalho serão sempre necessárias. Operações que agregam valor transformam realmente a matéria-prima, modificando forma ou a qualidade.”

Alguns exemplos de operações com agregação de valor são: furação, forjamento, fresamento, torneamento, montagem, etc.

Ainda segundo Shingo (2002, p.110) podemos classificar as perdas nos processos produtivos da seguinte maneira:

“A perda é qualquer atividade que não contribui para as operações, tais como espera, acumulação de peças semiprocessadas, recarregamentos, passagem de materiais de mão em mão, etc.”

Ainda hoje existem empresas que estabelecem o preço de seus produtos através de uma lógica simples:

$$\text{Custo} + \text{Lucro} = \text{Preço de Venda}$$

Desta forma o preço de venda é um produto dos custos da empresa e da margem de lucro.

O sistema Toyota de produção trouxe uma grande revolução de pensamento através da teoria do não custo, segundo este princípio quem determina o preço final do produto é o cliente, desta forma o lucro é a diferença entre os custos e o preço determinado pelo consumidor:

$$\text{Preço de venda} - \text{Custo} = \text{Lucro}$$

Apesar de simples, este princípio é amplamente utilizado hoje, segundo a lógica da teoria do não custo, a única forma de aumentar os percentuais de lucro é reduzir os custos.

A competitividade atual na indústria metal mecânica impulsiona a busca pela eliminação dos desperdícios e melhoria contínua dos processos e produtos, algumas formas de mensurar estas melhorias são: aumento da taxa de produtividade, redução dos custos de fabricação e melhoria do ambiente e condições de trabalho.

1.2 Delimitação do Problema de Pesquisa

Este trabalho mostra o estudo de quatro casos de utilização de ferramentas de "Lean Manufacturing", ou manufatura enxuta, para auxílio na identificação de possíveis melhorias em processos de fabricação em uma indústria do ramo metal mecânico, em um portfolio de produtos produzidos em série e com altos volumes de produção.

Além da identificação dos potenciais de melhoria, serão abordados neste estudo exemplos de ações que foram adotadas para colocar em prática as melhorias identificadas e também a mensuração dos benefícios atingidos após finalização das ações.

Nos casos que serão apresentados têm-se soluções diferentes, porém a essência foi a mesma: aplicação da ferramenta MFV (Mapeamento do Fluxo de Valor) para análise do estado inicial do processo, com participação de time multifuncional (Operadores, Engenharia de manufatura, Engenharia de produção, Engenharia de produto, Qualidade, Logística, entre outras), após etapa de análise do estado inicial o time estudou os potenciais de melhoria existentes e debateu de forma extensa as possíveis soluções.

1.3 Objetivos

1.3.1 Geral

Avaliar os benefícios da aplicação dos conceitos de manufatura enxuta para a melhoria de processos de fabricação, em quatro casos de uma indústria do setor metal mecânico.

1.3.2 Específicos

Aplicar ferramentas e metodologias baseadas nos princípios do “Lean Manufacturing” para otimizar processos de fabricação e melhorar indicadores de processo como: produtividade, custos de fabricação, reduzir Lead Time, reduzir estoques e WIP.

Fazer a comparação dos resultados dos processos no estado inicial, antes das melhorias, e estado final, após aplicação das melhorias, além de analisar também os resultados em termos de melhoria das condições de trabalho para os colaboradores envolvidos.

1.4 Justificativa

Os resultados dos casos abordados no trabalho contribuíram de forma direta com a melhoria de indicadores de processo e desta forma, também impactaram a competitividade da empresa de forma positiva.

Além do resultado financeiro, importantes contribuições surgiram das melhorias, como por exemplo: melhoria do ambiente de trabalho e satisfação dos colaboradores e maior engajamento dos times em relação à melhoria contínua.

As soluções e conceitos adotados podem ser aplicados a processos de fabricação em série em diversos ramos de atuação, como por exemplo: automobilístico, indústria farmacêutica, indústria de móveis e até à prestação de serviços.

1.5 Metodologia

Para apresentar este trabalho a metodologia da pesquisa-ação foi utilizada, principalmente pelo fato de o autor do trabalho estar diretamente envolvido na solução da problemática abordada.

1.6 Estrutura do trabalho

O trabalho está organizado seguindo a estrutura proposta:

O capítulo 1 (Introdução) contextualiza o trabalho, define a abrangência da abordagem proposta, define os objetivos gerais e específicos do trabalho e apresenta as contribuições deste estudo para futuras pesquisas e consultas.

O capítulo 2 mostra a fundamentação teórica e discute elementos base da pesquisa como: Sistema Toyota de Produção, metodologia Lean Manufacturing, Kaizen (Melhoria Contínua), Mapeamento do Fluxo de Valor e Automação ou Pré-Automação.

Na 3ª parte do trabalho discorre-se sobre a razão para a escolha do método “pesquisa-ação” para apresentar o tema e os resultados.

O quarto capítulo descreve os casos trabalhados na pesquisa, ele está dividido da seguinte maneira:

1ª parte: Delimitar problemas do estado atual e do Mapeamento do Fluxo de Valor.

2ª parte: Descreve os principais pontos de melhorias identificados para o processo e mostra exemplos da aplicação dos princípios do Lean Manufacturing na identificação e eliminação dos desperdícios.

3ª parte: Descreve de forma resumida as ações de melhoria implementadas.

4ª parte: Descreve os resultados das ações de melhoria de forma genérica, pois a divulgação dos dados oficiais não é autorizada.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Através da contribuição de Henry Ford, a partir de 1914, o sistema de produção em massa na indústria automobilística foi difundido, as preocupações centrais do sistema fordista eram baseadas nos conceitos de padronização e simplificação, popularizados por Frederick Taylor.

Através do aperfeiçoamento do conceito de linha de produção, o sistema “Fordista” permitiu domínio do mercado automobilístico até a década de 70.

Uma nova realidade, iniciada na década de 70 passou a dominar o mercado automobilístico, fatores como a crise do petróleo de 1973, flexibilização da produção e a intensificação da concorrência, principalmente asiática, trouxeram uma nova realidade para o mercado automobilístico.

A partir da década de 40 os executivos da Toyota trouxeram um princípio simples que revolucionou o pensamento na indústria automotiva: o princípio do não custo. Segundo este princípio, o mercado é responsável pela definição do preço de um produto, desta forma a única maneira de aumentar o lucro é reduzir despesas de fabricação, a sistematização do corte das “gorduras” na fabricação e a busca pela melhoria contínua (Kaizen) foram os pilares da criação do sistema Toyota de Produção.

Neste contexto a Toyota, pioneira na aplicação dos conceitos da produção enxuta, surge como referência no mercado, a busca pela competitividade e a eliminação dos desperdícios de fabricação passaram então a revolucionar o mercado.

Segundo Javier (2009, p.9), o termo “Lean Manufacturing” pode ser definido conforme a seguinte ótica:

“A lean manufacturing é o modo de definir o sistema de produção Toyota”

Segundo JAVIER (2009), a Lean Manufacturing é baseada em três principais filosofias: JIT (Just in Time), Kaizen (Melhoria contínua) e Automação ou pré-Automação.

2.1 Lean Manufacturing

Segundo opinião do autor JAVIER (2009), o foco do Lean Manufacturing é a redução do lead time de fabricação através da eliminação de operações que não agreguem valor ao produto. Ainda segundo o autor, a abordagem tradicional para enxugar os desperdícios fabris difere da metodologia do Lean Manufacturing, pois é baseada na redução dos desperdícios nas operações que agregam valor ao produto.

Atualmente a mentalidade Lean Manufacturing é amplamente aplicada em vários ramos empresariais, uma das ferramentas que nos possibilitam enxergar de forma clara os desperdícios de fabricação e entender melhor a agregação de valor em uma cadeia de produção é o MFV (Mapeamento do fluxo de valor).

2.2 Mapeamento do Fluxo de Valor

O Mapeamento do Fluxo de Valor descreve de forma simbólica todas as etapas pelas quais um produto passa, desde o pedido até a entrega para o cliente, detalhando de forma visual todas as etapas de produção.

O MFV tem a capacidade de unificar as informações de processo e o fluxo de informações do produto em uma só ferramenta, isto possibilita enxergar de forma facilitada, tanto melhorias no fluxo de processo, quanto no fluxo de informação, segundo Rother e Shook (2003, p.4) o MFV é uma ferramenta essencial pois:

“Ajuda a visualizar mais do que simplesmente os processos individuais, por exemplo montagem, solda, etc. Você pode enxergar o fluxo.

- Ajuda a identificar mais do que os desperdícios. Mapear ajuda a identificar as fontes de desperdício no fluxo de valor.
- Fornece uma linguagem comum para tratar dos processos de manufatura.
- Torna as decisões sobre o fluxo visíveis, de modo que você pode discuti-las. De outro modo, muitos detalhes e decisões no seu chão de fábrica só acontecem por omissão.
- Junta conceitos e técnicas enxutas, que o ajuda a evitar a implementação de algumas técnicas isoladamente.

- Forma a base de um plano de implementação. Ao ajudá-lo a desenhar como o fluxo total de porta a porta deveria operar - uma parte que falta em muitos esforços enxutos - os mapas do fluxo de valor tornam-se referência para a implementação enxuta. Imagine tentar construir uma casa sem uma planta!
- Mostra a relação entre o fluxo de informação e o fluxo de material. Nenhuma outra ferramenta faz isso.
- É muito mais útil que ferramentas quantitativas e diagramas de layout que produzem um conjunto de passos que não agregam valor, lead time, distância percorrida, a quantidade de estoque, e assim por diante. O mapa do fluxo de valor é uma ferramenta qualitativa com a qual você descreve em detalhe como a sua unidade produtiva deveria operar para criar o fluxo. Números são bons para criar um senso de urgência ou como medidas e comparações antes/depois. O mapeamento do fluxo de valor é bom para descrever o que você realmente irá fazer para chegar a esses números.”

A Figura 1.0 ilustra as fases do MFV.

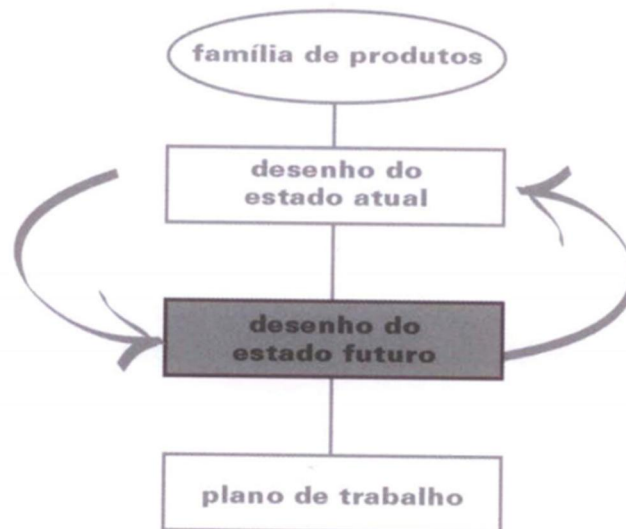


Figura 1.0 – Fases do Mapeamento do Fluxo de Valor

Fonte: Rother e Shook (2003)

A figura 1.1 mostra um exemplo de MFV de um produto com 3 processos:

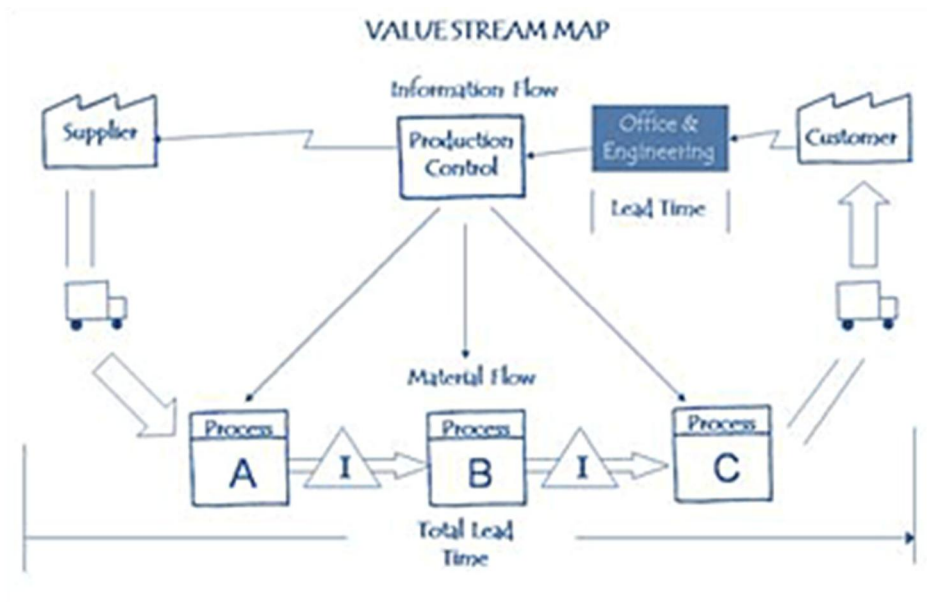


Figura 1.1 – Exemplo de Mapeamento do Fluxo de Valor

Fonte: Site Industrial Management Services

Algumas das métricas utilizadas para medir os processos no MFV são:

- Lead time: tempo que 1 peça demora para percorrer todo o fluxo de processamento.
- Tempo de processamento: tempo de processamento do produto em todas as operações do fluxo.
- Work in process (WIP): total de peças existentes em todos estágios do fluxo.

Algumas informações são tipicamente mostradas em um MFV:

- Tempo de ciclo (T/C): tempo de processamento por estágio do processo;
- Número de máquinas utilizadas em cada estágio;
- Número de colaboradores de cada estágio;
- O.E.E % ou Eficiência Global do Equipamento (Overall equipment effectiveness);
- Tempo de setup: tempo para troca de número de tipo na produção.

2.3 Produtividade

Existem também algumas métricas que podem ser associadas ao estudo do MFV, por exemplo, a taxa de produtividade, um dos índices mais significativos de um processo de fabricação do ramo metal mecânico.

A produtividade pode ser medida usando a seguinte expressão:

$$\text{Produtividade} = \text{Número de peças produzidas} / (\text{Número de colaboradores} \times \text{Horas trabalhadas}).$$

Como produto desta expressão, teremos a taxa de produtividade de um processo expresso em peças produzidas por cada colaborador em um intervalo de tempo determinado:

$$\text{Taxa de produtividade} = \text{Peças} / \text{colaborador} \times \text{horas disponíveis}.$$

2.4 Automação ou Pré-Automação

Outra importante ferramenta utilizada para otimização de processos de fabricação é a Automação ou Pré-automação.

Classificamos um processo como totalmente automático quando o mesmo é capaz de realizar todas as etapas de transformação do produto de forma automática: carregamento, processamento e transporte para as etapas seguintes. Adicionalmente o processo ou a máquina deve ser capaz também de detectar e corrigir os seus próprios desvios de funcionamento para ser classificado como totalmente automático, a desvantagem de tal tecnologia são os elevados custos.

A solução difundida no sistema Toyota de produção para os altos custos da automação foi a aplicação da Pré-automação ou Automação. Segundo este princípio, deve-se incluir o máximo de operações que podem ser automatizadas na parte automática do processo, a mão de obra do colaborador neste caso deve ser aproveitada para solucionar desvios de processo e agir de forma a supervisionar o processo, tal princípio torna possível a implementação de outra ferramenta poderosa para aumento das taxas de produtividade e redução de custos: operações multiprocessos.

2.5 Operações Multiprocessos

Segundo o princípio da utilização de operações multiprocessos, o mesmo colaborador é responsável por várias máquinas ao mesmo tempo, ou seja, enquanto as máquinas produzem em ciclo automático, o colaborador tem tempo hábil de alimentar outros equipamentos, realizar tarefas manuais e deslocar-se para alimentar outras máquinas.

Segundo dados divulgados por SHINGO (2002) em seu livro “O sistema Toyota de Produção do ponto de vista da engenharia de produção”, a Toyota possuía na década de 50 uma taxa de 1 trabalhador para cada 5 máquinas, enquanto na maioria das fábricas contemporâneas a taxa comum era de 1 operador por máquina.

Para maximizar os ganhos com os princípios da Automação e da operação multiprocessos, melhorias de layout podem ser aplicadas, a aproximação entre as máquinas que permitem compartilhamento de mão de obra é um exemplo disso, pois elimina estocagem intermediária e reduz deslocamento do colaborador.

2.6 Balanceamento de operações

Neste contexto, outro pilar do sistema Toyota de produção é o balanceamento de operações, segundo SHINGO (2002), esta importante ferramenta visa equilibrar a capacidade produtiva dos processos, evitando assim disparidades na capacidade dos processos.

De acordo com Shingo (2002, p.158), as perdas geradas pela disparidade de produção, em processos subsequentes, podem ser sintetizadas da seguinte maneira:

“Se um processo subsequente precisa ser abastecido a intervalos irregulares, o processo precedente precisará de equipamento e mão-de-obra extra. Quanto maior esta inconsistência, mais gente e equipamento serão necessários ao processo precedente para satisfazer as necessidades da produção.”

3 MÉTODO DE PESQUISA

Para a elaboração deste trabalho método de pesquisa selecionado foi a pesquisa-ação. Uma das principais características da pesquisa-ação é a participação ativa do pesquisador na problemática apresentada, na realização das soluções e também na avaliação dos resultados obtidos.

Segundo THIOLENT (2011) uma pesquisa pode ser classificada como pesquisa-ação quando houver o envolvimento ativo do pesquisador no problema observado, segundo o autor esta participação não deveria ser classificada como uma “ação trivial” no contexto apresentado.

Segundo Thiollent (2011, p.22) os principais aspectos da pesquisa-ação são:

“Há uma ampla e explícita interação entre pesquisadores e pessoas implicadas na situação investigada;

O objetivo da pesquisa-ação consiste em resolver ou, pelo menos, em esclarecer os problemas da situação observada;

Há, durante o processo, um acompanhamento das decisões, das ações e de toda atividade intencional dos atores da situação;

A pesquisa não se limita a uma forma de ação (risco de ativismo): pretende-se aumentar o conhecimento dos pesquisadores e o conhecimento ou o “nível de consciência” das pessoas e grupos considerados.”

Para THIOLENT (2011), a principal diferença entre uma pesquisa convencional e a pesquisa-ação é o fato de a primeira privilegiar aspectos como: opiniões, atitudes, motivações, comportamentos etc, já a segunda busca estudar dinamicamente os problemas, decisões, ações, negociações, conflitos, entre outros.

Esta pesquisa-ação foi realizada em uma indústria metal mecânica situada no Brasil, possui a análise e solução de quatro casos em processos produtivos, utilizando para tal a análise do Mapeamento do Fluxo de Valor e também a aplicação de ferramentas de manufatura enxuta.

4 APRESENTAÇÃO, ANÁLISE DE DADOS E RESULTADOS

No quarto capítulo, são analisados quatro exemplos de implementação bem sucedida dos princípios da manufatura enxuta, na área produtiva de uma empresa do ramo metal mecânico.

4.1 Estrutura de análise dos casos

O fluxo das operações destes produtos contém processos de tratamento térmico, usinagem, tratamento de superficial, usinagem final, montagem, e acabamento / teste, conforme ilustrado na figura 4.1:

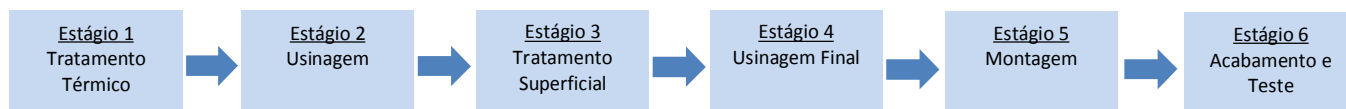


Figura 4.1 – Fluxo de operações de fabricação dos casos estudados.

Fonte: Autor

Em cada um dos quatro casos a serem apresentados (4.2, 4.3, 4.4 e 4.5), serão demonstrados os Mapeamentos de Fluxo de Valor iniciais dos processos, serão apresentadas as melhorias apontadas após estudo do MFV, e serão abordados exemplos de melhorias realizadas com base nos princípios da manufatura enxuta. Por fim, serão analisados os resultados práticos das melhorias propostas com base nos indicadores dos processos. A contribuição destas melhorias para o aumento da competitividade da empresa também será discutida.

4.2 Eliminação da Rebarbação Térmica (TEM – Thermal Energy Method).

Segundo a classificação proposta pelo autor SHINGO (2002), as operações que agregam valor ao produto podem ser denominadas como operações principais. Tais operações são aquelas que realmente são essenciais ao produto como: usinagem de um produto, medição da qualidade e movimentação de material.

Existem ainda as operações auxiliares, que são aquelas que auxiliam na conclusão da operação essencial, enquadrando-se nessa classificação: alimentação das máquinas de usinagem, encaixe de produto nos aparelhos de medição, carregamento e descarregamento de materiais. Neste contexto existem também as folgas marginais, que são as atividades indiretamente relacionadas, as folgas marginais podem ser classificadas de 2 maneiras:

- Folga na operação: lubrificação, remoção de rebarbas, tratamento de produtos com defeito, etc.

- Folgas entre operações: trabalho indireto, fornecimento de materiais, etc.

Dentro do segundo passo citado na figura 4.1 (Estágio 2, Usinagem) existe um total de 17 operações de manufatura (conforme figura 4.2). Neste processo foi realizado o Mapeamento do Fluxo de Valor (conforme figura 4.3) e seguindo o método proposto SHINGO (2002), todas as operações de fabricação foram classificadas. A tabela da figura 4.4 mostra o resultado desta classificação.

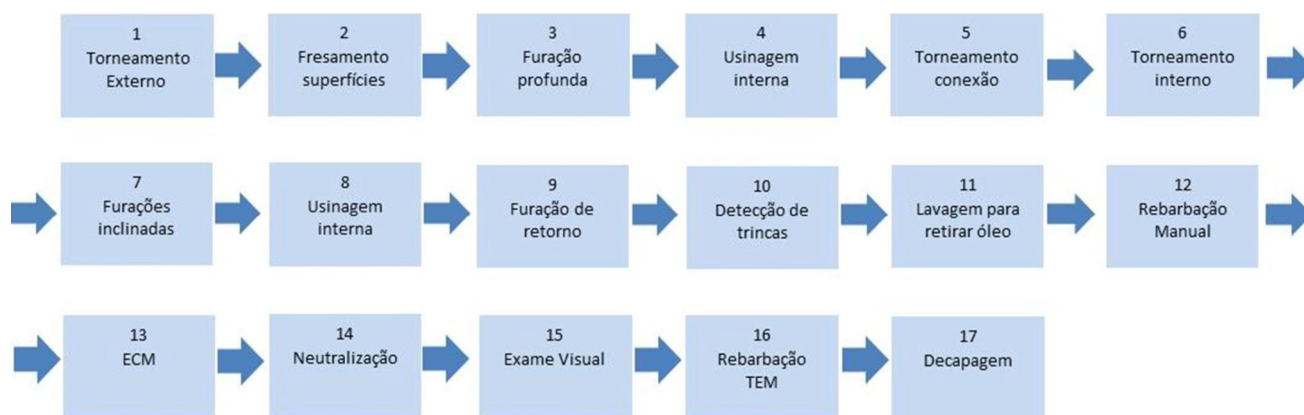


Figura 4.2 – Fluxo de operações do estágio 2 (Usinagem), contendo 17 etapas de fabricação.

Fonte: Autor

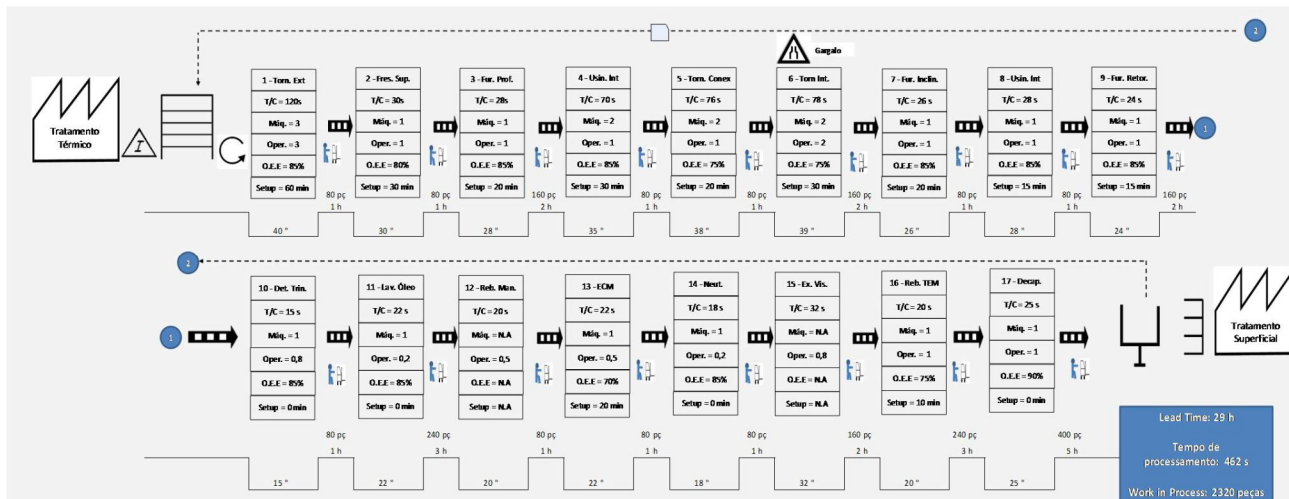


Figura 4.3 – Mapeamento do fluxo de valor do estágio 2 (Usinagem), contendo 17 etapas de fabricação. Fonte: Autor

Sequência	Processo	Classificação segundo proposta de Shingeo Shingo
1	Torneamento Externo	Operação Essencial
2	Fresamento superfícies	Operação Essencial
3	Furação profunda	Operação Essencial
4	Usinagem interna	Operação Essencial
5	Torneamento conexão de alta pressão	Operação Essencial
6	Torneamento interno	Operação Essencial
7	Furações inclinadas	Operação Essencial
8	Usinagem interna	Operação Essencial
9	Furação de retorno	Operação Essencial
10	Deteção de trincas	Folga na operação
11	Lavagem para retirar óleo	Folga na operação
12	Rebarbação Manual	Folga na operação
13	ECM	Operação Essencial
14	Neutralização	Folga na operação
15	Exame Visual	Folga na operação
16	Rebarbação TEM	Folga na operação
17	Decapagem	Operação Essencial

**Figura 4.4 – Matriz de classificação das operações
Fonte: Autor**

Todo processo de usinagem gera rebarbas, abaixo apresenta-se uma definição de rebarbas geradas por processos de usinagem convencionais:

“A maioria das operações de usinagem não deixa as bordas lisas ou bem definidas na peça. Em vez disso, as peças são muito susceptíveis, em todo o contorno, a exibir irregularidades, projetando-se às vezes material endurecido ao longo das bordas, denominados rebarbas. Kim (2001) relatou vários problemas que afetam a forma e a função das peças na manufatura de processos devido à rebarbas.

A rebarba é formada devido a alguma deficiência do mecanismo de corte da ferramenta durante o processo de usinagem em geral, que se forma na superfície usinada, o que resulta em saliências de material para fora dos planos das superfícies de trabalho, distorcendo geometricamente e dimensionalmente a peça.”

Na matriz da figura 4.4, é mostrado o passo 16 na sequência deste processo, chamado de Rebarbação por explosão TEM ou (Thermal Energy Method), tal operação utiliza o princípio da combustão e oxidação para remover rebarbas. Na parte interna da máquina o processo utiliza uma mistura de gases metano e oxigênio comprimidos e gera uma explosão através de ignição com faísca, a explosão na parte interna da máquina gera na peça uma autocombustão das rebarbas internas e externas. A figura 4.5 mostra a ilustração de uma máquina de Rebarbação TEM.



Figura 4.5 – Máquina de Rebarbação TEM.

Fonte: Site Kennametal

O processo TEM estava incluído no processo com a finalidade única de remover as rebarbas nos contornos externos da peça e também nas intersecções das operações de usinagem. As figuras a seguir ilustram exemplos de peças antes (Figura 4.6) e depois do processo TEM (Figura 4.7):



Figura 4.6 – Peça antes de passar pelo processo de Rebarbação TEM.

Fonte: Site Rexroth Bosch Group



Figura 4.7 – Peça após processo de Rebarbação TEM.

Fonte: Site Rexroth Bosch Group

Conforme classificação da matriz 4.4, esta operação foi apontada como “Folga na Operação”, pois existe com a finalidade única de remover as rebarbas geradas pelos processos anteriores* nos contornos externos da peça e também nas intersecções das operações de usinagem, ou seja, nas regiões internas das peças.

* Etapas 1,2,3,4,5,6,7,8 e 9 da matriz 4.4.

Como as folgas na operação não agregam valor ao produto devem ser eliminadas, com este foco iniciou-se então o trabalho de eliminação desta operação.

Através da otimização dos próprios processos de usinagem foi possível reduzir de forma significativa a incidência de rebarbas nas peças. Para as rebarbas existentes na parte externa das peças, o foco do trabalho foi a criação de etapas de rebarbação automática nos processos e também a inserção de pontos de rebarbação manual no produto para obter contornos externos livres de rebarbas.

Para solucionar a existência de rebarbas na parte interna da peça foram incluídos novos pontos de rebarbação automática na operação ECM (Electrochemical machining), ou rebarbação eletroquímica, passo 13 da Matriz 4.4.

O processo de rebarbação eletroquímica funciona da seguinte maneira: as rebarbas são dissolvidas através da aplicação de uma corrente elétrica entre a ferramenta de trabalho e a peça, utilizando também um fluido denominado eletrólito, em produções de grande escala a utilização do processo ECM é recomendada para remoção de rebarbas em locais de difícil acesso a processos convencionais. A figura 4.8 mostra um exemplo de máquina ECM.



Figura 4.8 Exemplo de máquina de rebarbação eletroquímica (ECM)

Fonte: Site EMAG Manufacturing Systems for Precision Metal Components

Com as melhorias propostas foi possível eliminar a etapa de rebarbação TEM do processo (Etapa 17 do processo, conforme matriz 4.4), totalizando agora 16 etapas de processamento para este produto. O novo fluxo e MFV do processo podem ser vistos nas figuras 4.9 e 4.10:

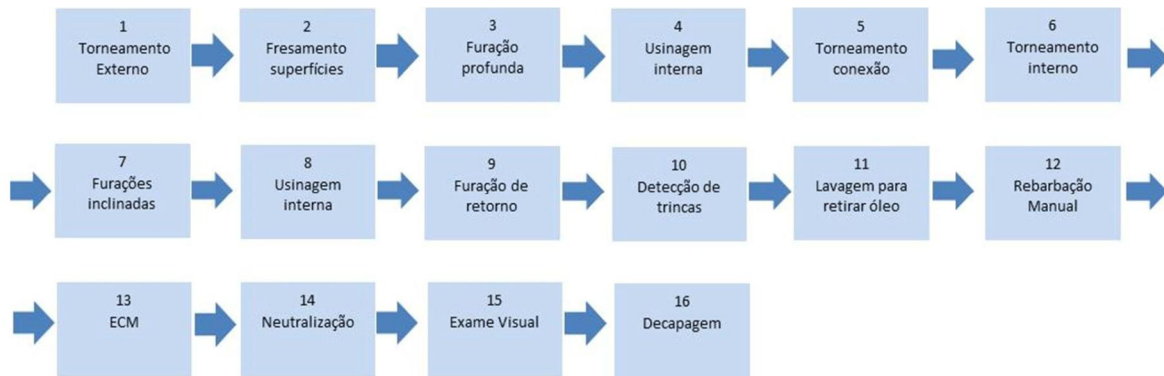


Figura 4.9 – Fluxo de operações do estágio 2 (Usinagem), após eliminação da Rebarbação TEM.

Fonte: Autor

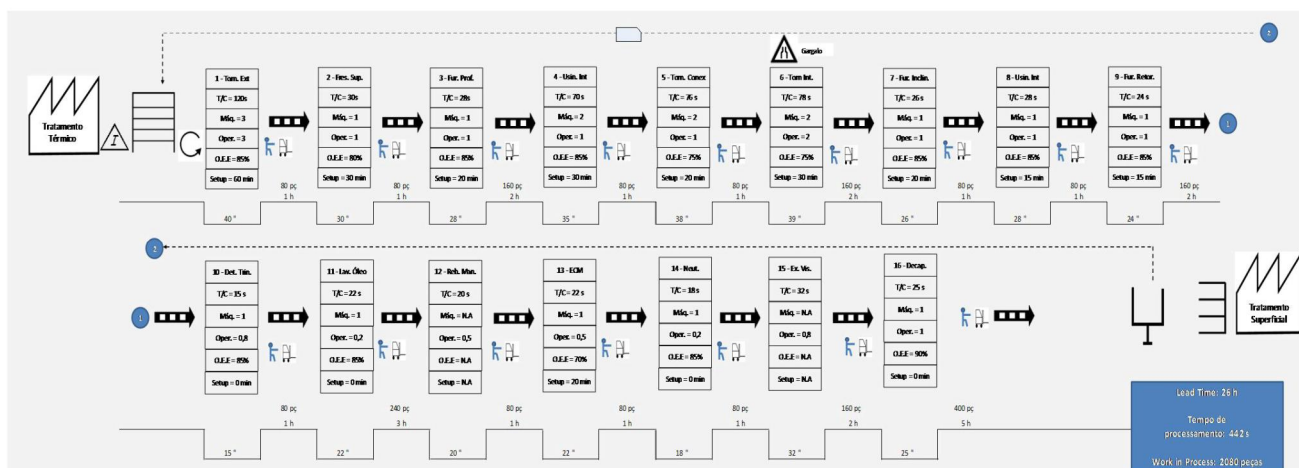


Figura 4.10 - Mapeamento do fluxo de valor do estágio 2 (Usinagem), contendo 16 etapas de fabricação.

Fonte: Autor

Resultados após implementação da Eliminação da Rebarbação Térmica

TEM:

- Produtividade aumentada em 7%, com menos mão de obra foi possível manter a mesma capacidade produtiva;
- Liberação de 25m² no Layout, pois as 2 máquinas que faziam esta operação foram removidas;
- Redução dos custos da operação como: manutenção, insumos, energia, depreciação dos equipamentos, etc;
- Redução do WIP (Work In Process) em 10%, ao eliminar 1 etapa do processo eliminamos também a necessidade de manter peças na entrada, em processamento (WIP) e peças prontas para o próximo estágio.
- Redução do Leadtime de processo em 10%, conforme MFV mostrado na figura 4.10 o tempo que 1 peça demora para percorrer todo processo foi reduzido.
- Redução no tempo de processamento do produto em 3%.
- Redução da movimentação das peças na fábrica (Melhoria de ergonomia).

4.3 Eliminação da operação de detecção de trincas

No processo citado na figura 4.1, a matéria prima, o aço forjado, era recebido do fornecedor (Forjaria) e a primeira operação realizada na matéria prima era o tratamento térmico, nesta etapa dois tipos de fornos de têmpera eram aplicados: os com resfriamento à vácuo e os com resfriamento à óleo.

Posteriormente a peça passa por etapas de usinagem (processos 2,3,4,5,6,7,8 e 9) da figura 4.2. Neste processo existia uma etapa de inspeção utilizando partículas magnéticas para revelar trincas e dobras de forjaria no material (Etapa 10).

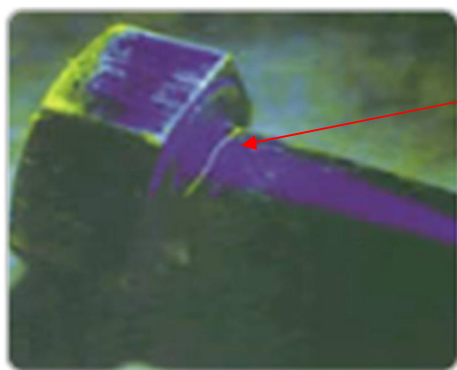
A etapa de detecção de trincas tem o seguinte princípio de funcionamento: é gerado um campo magnético que magnetiza a peça a ser inspecionada, posteriormente uma solução contendo óleo e partículas magnéticas é aplicada na peça, desta forma as partículas magnéticas eram atraídas às localidades da peça que possuíam descontinuidades. Geralmente, as descontinuidades do material eram causadas por trincas, inclusões ou dobras de forjaria. Na etapa final desta operação luz ultravioleta é aplicada à peça para que as descontinuidades possam ser

visualizadas. A figura 4.11 ilustra o equipamento de inspeção por partículas magnéticas, a figura 4.12 mostra uma trinca revelada por este processo.



Figura 4.11 – Equipamento de inspeção por partículas magnéticas.

Fonte: Site MLR máquinas



Trinca revelada pelo processo
de inspeção por partículas
magnéticas

Figura 4.12 – Trinca revelada em uma inspeção por partículas magnéticas.

Fonte: Site Multiflux Máquinas

Durante reuniões para estudo do MFV dos processos, discutiu-se o fato de tal operação não agregar valor ao produto final vendido, pois apenas identificava defeitos de operações anteriores.

A operação de detecção de trincas é classificada como folga na operação, conforme matriz de classificação do processo de inspeção por partículas magnéticas (Etapa 10).

Iniciou-se então o projeto de eliminação de tal processo com 2 focos: trabalho direcionado às falhas do processo de forjamento, é importante citar 2 pontos neste processo: melhoria do processo de forjamento para redução da incidência de dobras e também a inspeção no fornecedor para evitar que produtos defeituosos fossem entregues. Desta forma, evita-se agregar as operações de manufatura em um produto que deverá ser rejeitado em etapas posteriores de processamento, assim evitam-se também desperdiçar materiais, mão-de-obra, uso de equipamentos, ferramentas, além da movimentação e armazenagem de materiais defeituosos.

O trabalho de melhoria da qualidade no fornecedor de aço forjado foi bem sucedido, o próximo passo foi o trabalho para eliminação das trincas oriundas do processo de tratamento térmico e de usinagem.

Identificou-se que o processo com resfriamento a vácuo não gerava trincas no material, devido à utilização de gás Nitrogênio pressurizado. Desta forma, o resfriamento é realizado de forma mais uniforme e com velocidade menor quando comparado ao processo de resfriamento em óleo, mantendo as mesmas propriedades mecânicas e metalúrgicas nas peças.

O esforço foi concentrado então em aumentar a capacidade dos processos de têmpera à vácuo para atender toda a demanda de produção necessária.

Na usinagem, ações como identificação dos fatores que geravam as trincas e alterações de parâmetros de usinagem, foram realizadas para eliminar esta ocorrência.

Após eliminação da incidência das trincas na usinagem, as máquinas de detecção de trincas foram realocadas para a área de tratamento térmico. Iniciou-se então um processo de substituição dos fornos de tratamento térmico com resfriamento à óleo por fornos com resfriamento à vácuo.

O resultado das melhorias aplicadas aos processos citados tornou possível a eliminação da etapa de detecção de trincas do fluxo, eliminando assim 3 máquinas e consumo de diversos insumos como: óleo, pó revelador de trincas, eletricidade e, principalmente, aproveitamento da mão-de-obra em operações que agregam valor.

Além dos ganhos mensuráveis, existiu também melhora na condição de trabalho dos colaboradores, pois a operação exigia a utilização de revestimento externo para reduzir a luminosidade externa e possibilitar a melhor visualização das trincas, o que tornava o ambiente de trabalho quente, sem ventilação e enclausurado com névoa de óleo.

Na figura 4.13 é apresentado o fluxo de processo e o Mapeamento do Fluxo de Valor após eliminação da operação de detecção de trincas.



Figura 4.13 – Fluxo de operações após eliminação da operação de detecção de trincas.

Fonte: Autor

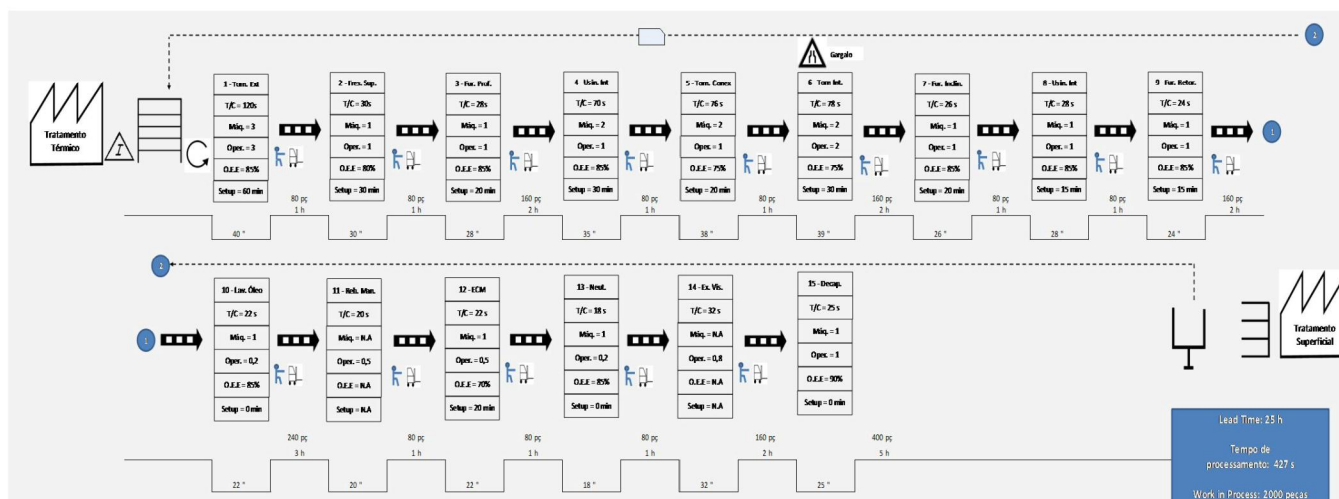


Figura 4.14 - Mapeamento do fluxo de valor do estágio 2 (Usinagem), contendo 15 etapas de fabricação.

Fonte: Autor

Resultados após eliminação da operação de detecção de trincas:

- Produtividade da linha aumentada em 5%, pois ao eliminar o estágio de detecção de trincas houve redução de mão-de-obra, mantendo a mesma capacidade produtiva;

- Liberação de 16m² no Layout, pois as 3 máquinas que faziam esta operação foram removidas;

- Redução dos custos da operação como: manutenção, insumos, energia, depreciação dos equipamentos, etc;

- Redução do WIP (Work In Process) em 3,8%, de forma análoga ao caso 4.2.

- Redução do Leadtime em 3,8%, de forma análoga ao caso 4.2.

- Redução da movimentação das peças na fábrica (Melhoria de ergonomia);

- Melhoria de segurança e bem estar dos colaboradores: o processo de detecção de trincas exigia um ambiente com pouca luz, desta forma foram instaladas cabines escuras para esta operação (conforme ilustração 4.10), no interior das cabines o ambiente era contaminado com névoa do óleo empregado na operação e as temperaturas eram elevadas, após eliminação deste processo o nível de satisfação dos colaboradores foi aumentado.

4.4 Otimização dos processos de lavagem

Segundo JAVIER (2009), quando um processo está sendo constantemente melhorado, o esforço empregado para a inovação pode ser reduzido, a essência da melhoria contínua no sistema Toyota de produção é o Kaizen, como ilustrado na figura 4.15.

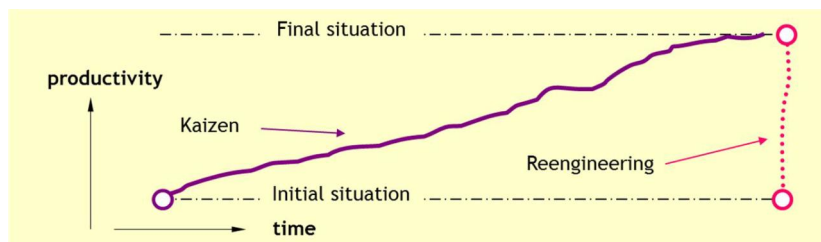


Figura 4.15 – Aplicação de Melhoria Contínua “Kaizen” em um processo

Fonte: Javier (2009)

Segundo PORTER (1989), a política de controle e redução de custos pode ser considerada uma vantagem competitiva, ela resulta da prática de atividades empresariais com valor mais baixo que o custo da concorrência.

Para o autor, o sucesso na implementação da vantagem competitiva de custos depende da habilidade de uma empresa em implantar tal filosofia no dia-a-dia. Tal sistemática resultada de um trabalho árduo e que requer constante atenção. Ainda segundo PORTER (1989), uma série de fatores como: treinamento, motivação dos empregados, cultura da empresa e a adoção de programas formais de redução dos custos contribuem para o sucesso de uma empresa em obter a vantagem competitiva do custo.

Segundo conceitos difundidos por PORTER (1989), a sistemática de melhoria contínua dos processos que resulta em reduções sistematizadas do custo de fabricação constituem uma vantagem competitiva de custo para as empresas que a implementam.

Após implementação dos cases apresentado nos tópicos 4.2 (Eliminação do processo de rebarbação TEM) e 4.3 (Eliminação da operação de detecção de trincas), foram percebidas as melhorias já citadas anteriormente. Adicionalmente também houve melhora no nível de limpeza das peças, pois:

- O processo TEM cria resíduos da queima das rebarbas e gera óxidos na superfície das peças, como mostrado nas figuras 4.16 e 4.17, tais sujidades devem ser eliminadas das peças através de operações de lavagem com agentes ácidos ou neutros.



Figura 4.16 – Peça antes da operação TEM

Fonte: Site Rexroth Bosch Group



Figura 4.17 – Peça após operação TEM

Fonte: Site Rexroth Bosch Group

- O processo de detecção de trincas contaminava as peças com solução de “pó magnético” e óleo, conforme ilustração 4.18.

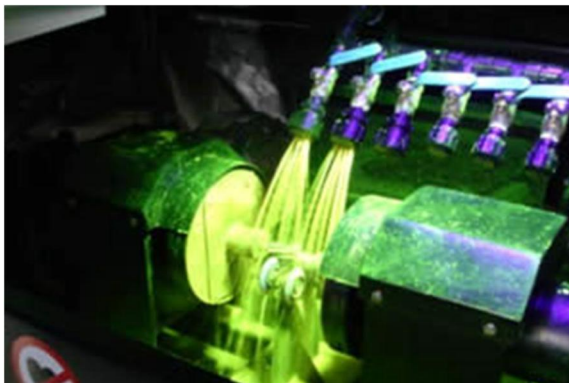


Figura 4.18 – Peça na operação de detecção de trincas

Fonte: Site INDUFLUX Máquinas e equipamentos

Como efeito colateral dos trabalhos 4.2 e 4.3, o produto chegava à etapa de limpeza (Etapa 15 – Decapagem, conforme figura 4.13) com menores níveis de impurezas e sujidades.

Em nova análise do MFV dos processos, iniciou-se um novo projeto para otimização dos processos atuais de lavagem.

Dentro do processo de lavagem, estágio 15 (Decapagem), existiam duas lavadoras grandes com quatro estágios de limpeza cada.

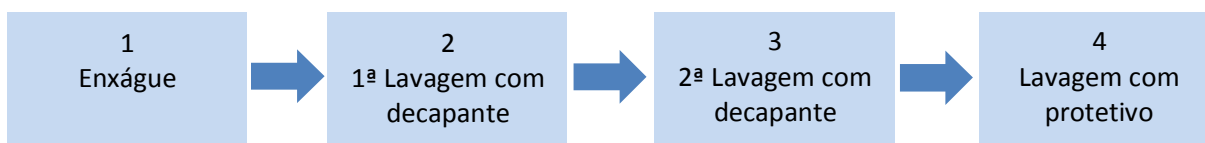


Figura 4.19 – Sequência de lavagem na etapa 15 (Decapagem)

Fonte: Autor

Os 4 passos de lavagem citados na figura 4.19 se fazem necessários, pois as peças chegam a esta operação contaminadas com óleo dos processos de usinagem, cavacos nas partes externas e internas da peça e resíduos diversos oriundos dos processos de fabricação. Após estas 4 etapas de lavagem, as peças receberão tratamento térmico superficial, tal operação exige que a peça esteja limpa, seca e isenta de camada de óleo e produtos químicos.

Conforme etapas mostradas na figura 4.1, existe o estágio 4 (Usinagem Final), neste fluxo existiam 2 passos de lavagem, os passos 4 (Lavagem Intermediária) e 5 (Lavagem Final).

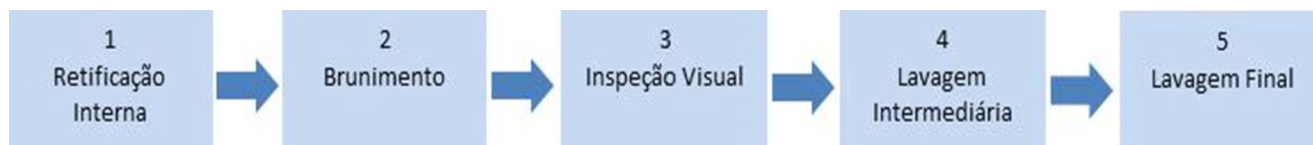


Figura 4.20 – Sequência de processo da usinagem final

Fonte: Autor

O MFV deste processo pode ser visto na figura 4.21.

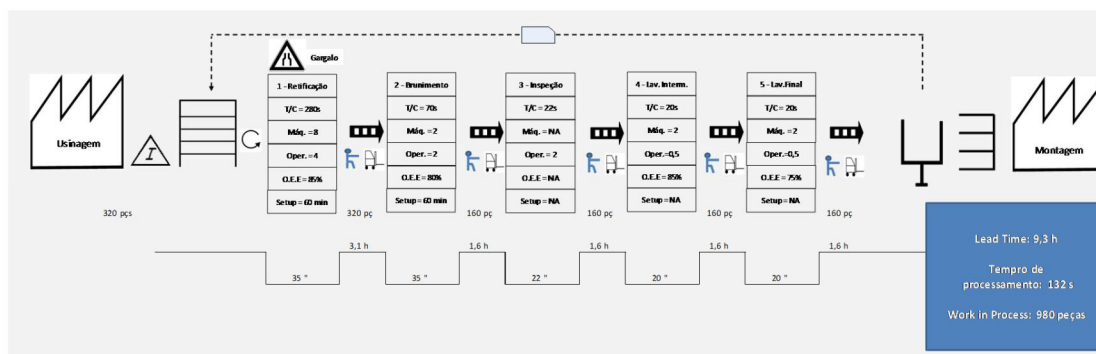


Figura 4.21 – Mapeamento do fluxo de valor na usinagem final

Fonte: Autor

Nas etapas 4 e 5 do processo mostrado na figura 4.20, as peças chegavam contaminadas com o óleo e resíduos metálicos provenientes dos processos de retificação interna e brunimento (etapas 1 e 2 da figura 4.20).

Os processos de lavagem citados acima podem ser classificados como folgas na operação. Segundo a classificação proposta por SHINGO (2002), os mesmos existem para remover resíduos e sujidades oriundos dos processos posteriores de fabricação, e estão indiretamente ligados a operações de processamento do produto, ou seja, não agregam valor.

Com a redução do nível de resíduos proporcionada pela eliminação do processo TEM e eliminação da operação de detecção de trincas, o time mapeou as

possíveis melhorias de processo necessárias para otimizar estas etapas de lavagem, como:

- Aplicação de produtos químicos mais eficientes para a nova condição de limpeza das peças. Este trabalho foi realizado em parceria com os fornecedores do mercado.

- Otimização dos sistemas mecânicos de limpeza: agitação, ultrassom e jatos direcionados.

- Aplicação de barras magnéticas para reduzir o nível de partículas metálicas existentes nos banhos, nos quais as peças eram imersas durante as operações de lavagem.

- Aplicação dos conceitos da pré-automação ou automação.

Conforme abordado no capítulo 2.4, a automação visa transferir atividades como controle de qualidade para a máquina, a fim de reduzir o tempo despendido pelo colaborador com atividades que podem ser automatizadas sem grandes investimentos.

Com este objetivo, identificou-se nas operações de lavagem que o operador era responsável por controlar de forma manual funções como: troca de banhos de lavagem e troca de filtros. Após identificação deste potencial de melhoria, estas funções de controle foram automatizadas, ou seja, foram implementadas melhorias nas máquinas e agora existe controle automático que alerta o operador sobre a necessidade de troca de banho e filtros. O controle manual era realizado por período de tempo, independente do número de peças lavadas, este processo manual pode sofrer influência humana. No novo sistema, a responsabilidade pelo controle de qualidade dos banhos e troca de filtros foi transferido para as máquinas, o novo controle é feito pelo número de peças efetivamente lavadas, tal alteração permitiu controle mais eficiente desta operação.

As otimizações citadas resultaram em:

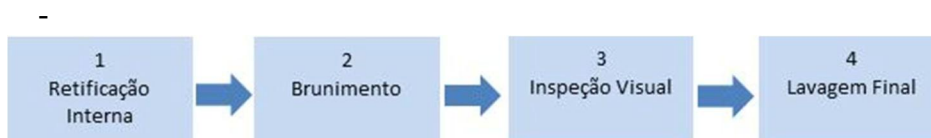


Figura 4.22 – Novo fluxo da usinagem final

Fonte: Autor

- Eliminação do quarto passo do processo de Usinagem Final (Lavagem Intermediária), conforme ilustrado na figura 4.22.

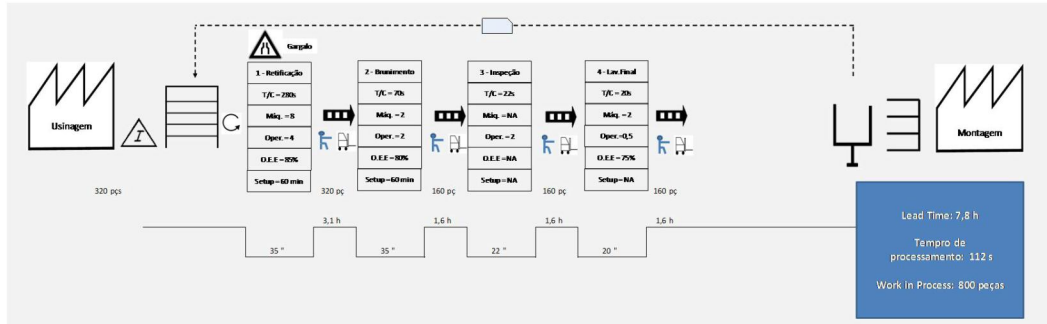


Figura 4.23 – Novo MFV da usinagem final

Fonte: Autor

- Adicionalmente houve a eliminação de 1 máquina de lavar no processo de Usinagem (Etapa 15 do fluxo mostrado na figura 4.24).

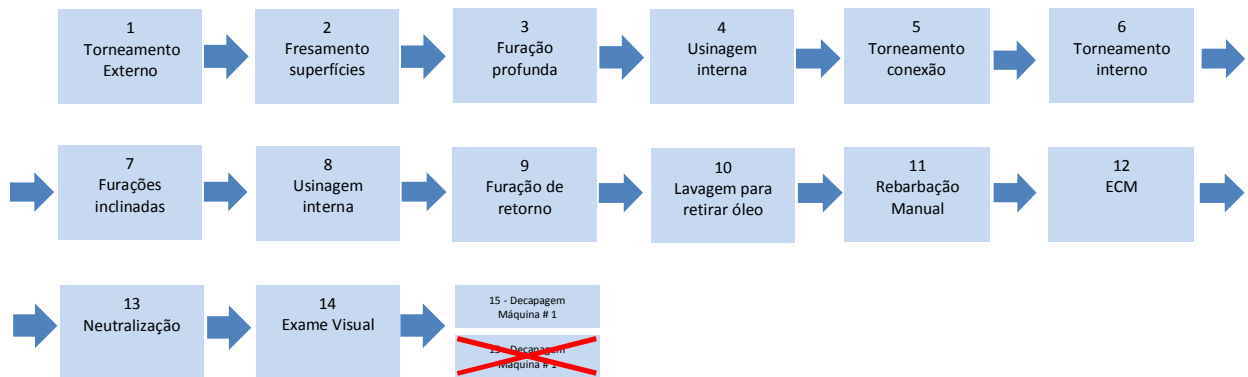


Figura 4.24 – Fluxo da usinagem com a eliminação de 1 máquina na etapa 17.

Fonte: Autor

Resultados após implementação da otimização dos processos de lavagem:

- Produtividade da linha aumentada em 6%, com menos mão de obra foi possível manter a mesma capacidade produtiva;
- Ganho de área de Layout: 39m², as máquinas de lavagem citadas foram eliminadas dos processos.
- Redução do Leadtime em 17%, de forma análoga aos casos 4.2 e 4.3;

- Redução do WIP em 17%, de forma análoga aos casos 4.2 e 4.3;
- Redução dos custos da operação como: produtos químicos, manutenção, energia elétrica, depreciação dos equipamentos, etc;
- Redução da movimentação das peças na fábrica (melhoria de ergonomia).

4.5 Lean Line Design

A metodologia LLD ou Lean Line Design busca a estruturação de um layout, otimizando o fluxo de operações, materiais, colaboradores e informação. Este método compreende:

- Mapear a capacidade produtiva necessária, analisar o estado futuro do produto seguindo os conceitos do ciclo de vida do produto, estudo do comportamento da demanda dos clientes, estudo de atividades que agregam valor, definição do melhor conceito de fabricação teórico, realização do estudo de mão-de-obra, balanceamento de linha, definição de conceitos de layout, escolha da melhor alternativa de layout através de simulações práticas, definição do conceito final de layout e finalmente execução do mesmo.

O processo de usinagem citado anteriormente, recebeu diversas otimizações do tipo Kaizen, conforme já apresentado nos capítulos 4.2, 4.3 e 4.4, o layout deste processo era dividido da seguinte maneira:

- 3 linhas de usinagem, contemplando 15 operações, divididas em 4 células de manufatura, conforme ilustrado na figura 4.25.

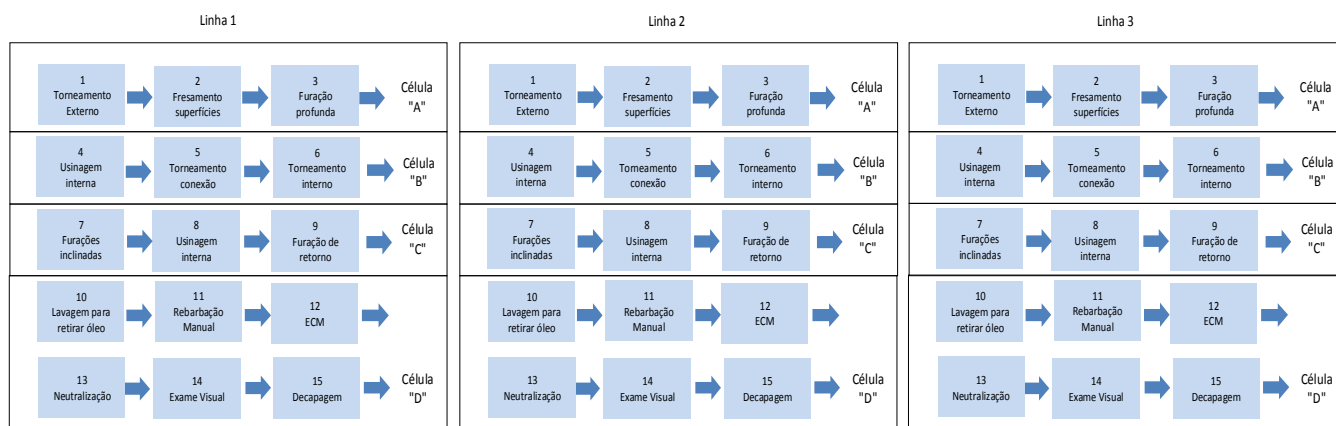


Figura 4.25 – Estrutura dos processos da usinagem.

Fonte: Autor

O mapeamento do fluxo de valor da linha de usinagem 1, antes da aplicação do Lean Line Design, está representado na figura 4.26.

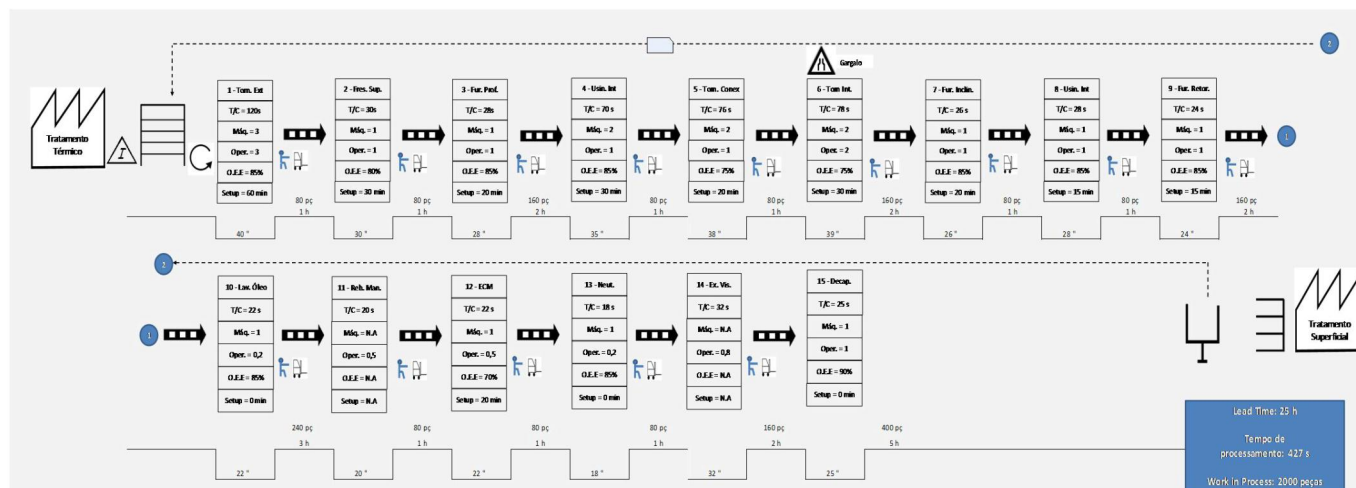


Figura 4.26 – MFV da linha 1 de usinagem antes da aplicação do LLD.

Fonte: Autor

A base para o case de aplicação de LLD apresentado neste capítulo foram as otimizações propostas nos capítulos 4.2 (Eliminação da TEM), 4.3 (Eliminação da detecção de trincas) e 4.4 (Otimização das Lavadoras), pois tais melhorias trouxeram:

- Redução no espaço ocupado pelos processos deste produto em 80m², com esta redução foi possível planejar um melhor conceito de layout, o fluxo do produto completo foi analisado e planejado, na versão anterior o fluxo dos processos intermediários foi priorizado (layout celular).

- Redução na necessidade de mão-de-obra, ou seja, as otimizações propostas reduziram atividades classificadas por SHINGO (2002) como folgas entre operações, como: alimentação de lavadoras, rebarbação TEM, máquinas de detecção de trincas, movimentação de peças. Por outro lado, a automação reduziu a necessidade de operações manuais, tais como controles de qualidade.

As melhorias 4.2, 4.3 e 4.4 geraram um ganho de produtividade substancial, porém o potencial de melhorias em determinados pontos não foi 100% aproveitado, principalmente por 2 motivos: as operações não estavam dispostas da melhor forma para o compartilhamento de mão de obra, pois estavam longe umas das outras e o

próprio layout não favorecia o fluxo da peça, pois estava disposto em 4 células de fabricação com administrações distintas e independentes.

Após implementação de 3 melhorias do tipo Kaizen, ficou evidenciada a necessidade de reestruturar os processos de forma mais abrangente, ou seja, fazer uma re-engenharia destes processos para maximizar os resultados. Neste âmbito a ferramenta LLD (Lean Line Design) foi aplicada.

Na figura 4.27 podemos ver as operações eliminadas do fluxo através das melhorias Kaizen apresentadas nos capítulos 4.2 e 4.3.

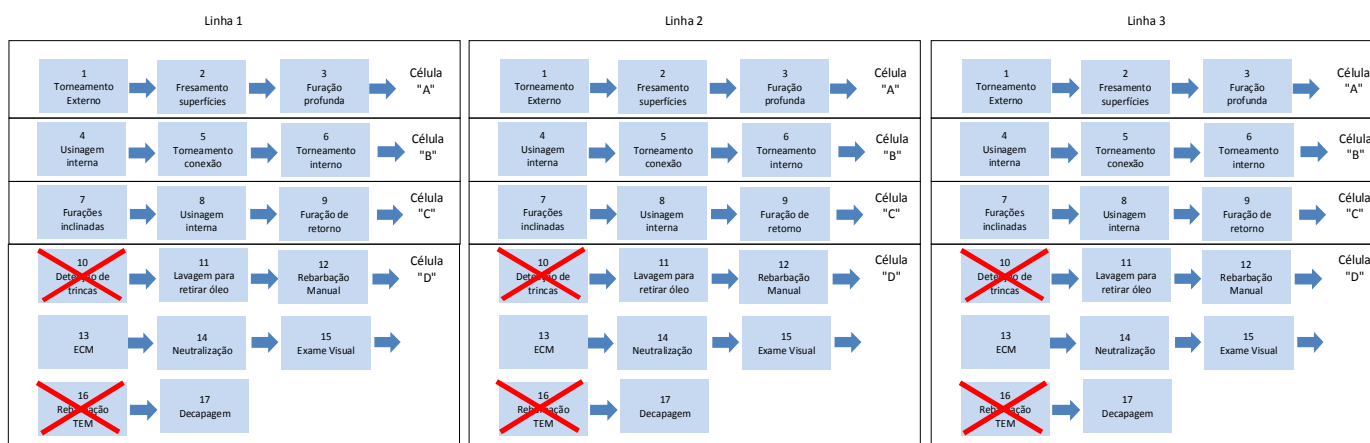


Figura 4.27 – Estrutura dos processos da usinagem antes das melhorias dos capítulos 4.2 e 4.3.

Fonte: Autor

O processo de usinagem estava dividido da seguinte maneira: 3 linhas com 4 células de fabricação cada, denominadas célula A, B, C e D. As células eram administradas individualmente e o produto deveria passar pelas 4 células obrigatoriamente antes de chegar às próximas etapas de processamento (Conforme ilustração 4.27).

O processo 16 (Rebarbação TEM) possuía apenas 2 máquinas, fato que trazia um contra-fluxo entre as linhas.

Após estudos e aplicação do método LLD (Lean Line Design) nestes processos, a proposta que surgiu foi a eliminação das células de fabricação e criação de 4 linhas de usinagem orientadas pelo fluxo de operações do produto, ou seja, um Layout por produto foi proposto, neste conceito o produto flui do início ao fim na mesma linha de fabricação.

Segundo Javier (2009, p.26) as principais vantagens do layout orientado pelo fluxo do produto são:

- “- Grandes lotes podem ser produzidos com baixo custo.
- O manuseio de materiais é mínimo.
- Materiais em processamento são minimizados.
- É fácil controlar esses sistemas;
- Automação mais fácil de obter. E mais justificável”

Com o balanceamento de linha, aplicado a todas as operações, houve ganho de 6% de produtividade, pois as máquinas ficaram mais próximas e possibilitaram maior compartilhamento de mão de obra, o fluxo dos operadores foi priorizado durante a concepção do layout.

A eliminação da operação TEM (Capítulo 4.2) eliminou o contra fluxo entre linhas, eliminando movimentação desnecessária do operador.

A quantidade de peças processadas em cada estágio foi reduzida, isto possibilitou uma redução de WIP, o nível de refugos foi reduzido, pois com menos peças processadas por estágio os problemas e desvios pequenos de processo passaram a ser mais evidentes e tratados com mais intensidade, o número de peças defeituosas foi reduzido, pois existiam menos peças por ciclo de usinagem.

O número de líderes de produção necessários para supervisionar a fabricação reduziu também, pois o layout por produto permitiu uma gestão facilitada das operações e atividades de manufatura.

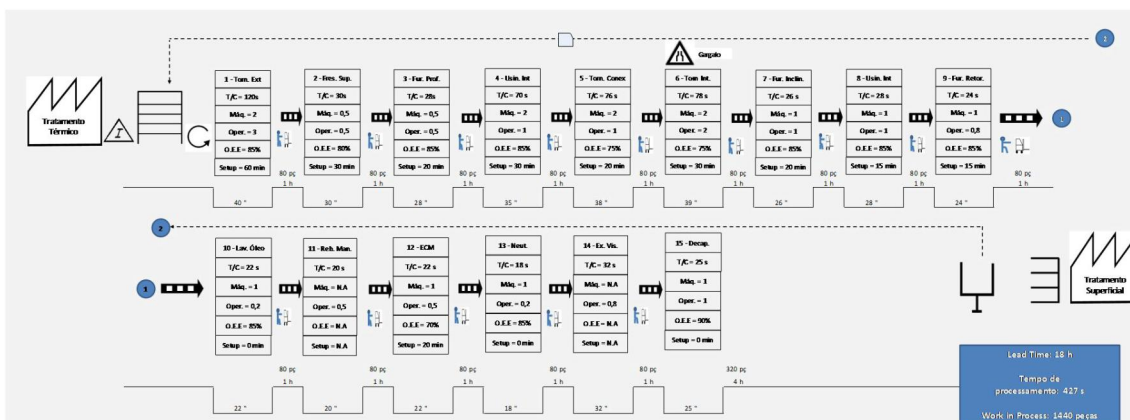


Figura 4.28 – MFV da linha 1 de usinagem após aplicação do LLD.

Fonte: Autor

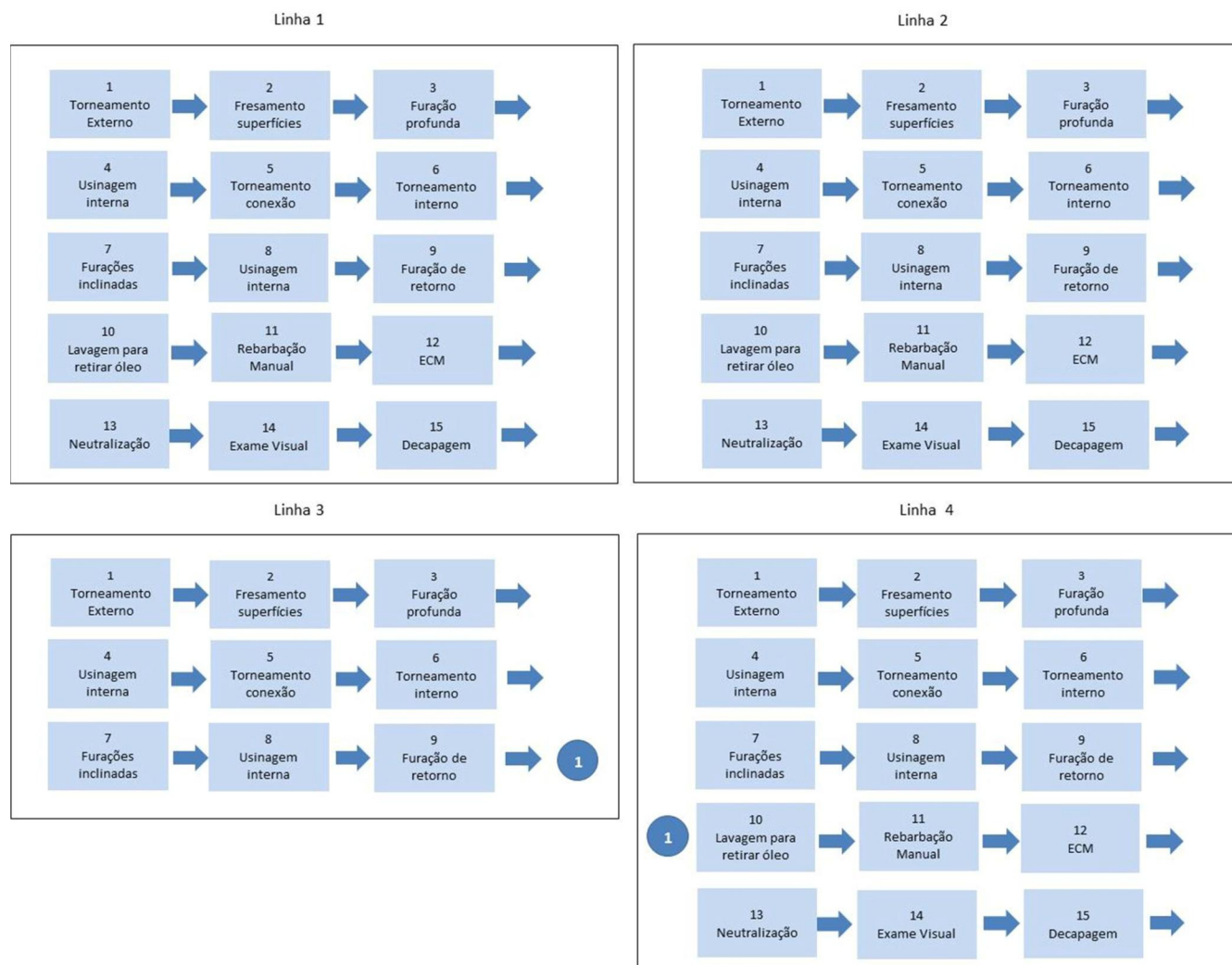


Figura 4.29 – Fluxo da usinagem após aplicação do LLD.

Fonte: Autor

Resultados após implementação do conceito LLD:

- Aumento de produtividade de 6%, a aproximação das máquinas e a redução da necessidade de mão de obra tornaram possível uma melhor aplicação do conceito das operações multiprocessos. Para otimizar ainda mais o trabalho e balancear as operações manuais, foi aplicado o conceito do balanceamento de linha. Através do balanceamento, foram reduzidos os deslocamentos do operador para a realização da sequência de trabalho, as cargas de trabalho entre os estágios do processo foram equalizadas, reduzindo desta forma a ociosidade de operação e melhorando assim o aproveitamento da mão de obra;

- Redução do Leadtime em 28%, a redução dos estoques intermediários trouxe também redução no Leadtime do processo;

- Redução do WIP em 28%, operações mais próximas e eliminação das áreas de entrada e saída das células possibilitaram a redução do número de peças em processamento;

- Melhoria de ergonomia através da redução da movimentação de peças na fábrica.

A síntese dos 4 casos apresentados no capítulo 4 é a seguinte: através da aplicação das ferramentas de manufatura enxuta, o time participante eliminou operações que não agregavam valor, reduziu desperdícios, e reduziu os custos de fabricação, o que contribuiu de forma direta com a melhoria da competitividade da empresa. As otimizações apresentadas nos 3 primeiros casos são classificadas com melhorias do tipo Kaizen. Durante a implementação dos 3 casos apresentados, o time participante criou maturidade na aplicação das ferramentas, o próximo passo foi iniciado em seguida. Em novos estudos, auxiliados pelo Mapeamento do Fluxo de Valor, um passo importante tornou-se possível: A re-engenharia deste processo, para tal melhoria a metodologia escolhida foi a LLD (Lean Line Design), através desta ferramenta os resultados obtidos foram maximizados.

5 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

A competitividade do mercado atual impulsiona a busca pela eliminação dos desperdícios e conseqüentemente busca por menores custos de fabricação, melhores níveis de qualidade e maiores níveis de satisfação dos colaboradores e clientes.

O objetivo principal do trabalho foi atendido, pois foram avaliados os benefícios advindos da aplicação dos conceitos da manufatura enxuta. Foram atendidos também os objetivos específicos, uma vez que a aplicação de tais ferramentas proporcionou resultados concretos para a empresa em termos de indicadores de performance de processos. Adicionalmente a aplicação da metodologia da manufatura enxuta beneficiou os colaboradores envolvidos no processo, uma vez que foram evidenciadas melhorias nas condições de trabalho.

A reengenharia de um processo de fabricação tende a trazer resultados sólidos, porém o esforço e o custo para realizar tal mudança são geralmente maiores quando comparados às mudanças do tipo Kaizen.

Foram aplicadas melhorias do tipo Kaizen nos exemplos 4.2 (Eliminação da Rebarbação TEM), 4.3 (Eliminação da operação de detecção de trincas) e 4.4 (Otimização das Lavadoras). A utilização do MFV e também da separação das operações em perdas e operações essenciais, ou seja, definir as operações que realmente agregam valor ao produto evidenciaram grandes potenciais de melhoria nos processos.

Durante a implementação das melhorias surgiram barreiras como: quebra de paradigmas de operação, dificuldades para aprovação de modificações nos processos (devido a necessidade de validações de engenharia de produto tanto internas como externas), validação de clientes, redefinição de processos, etc. A partir da superação destes desafios, o time de trabalho passou a enxergar as perdas e desperdícios de forma mais clara, e novas melhorias foram propostas de forma mais natural, tal sequência pode ser notada na cronologia dos casos apresentados no capítulo 4:

- 1º: Uma etapa que não agregava valor ao produto foi eliminada (4.2 Eliminação da Rebarbação TEM);

- 2º: Uma segunda etapa que não agregava valor ao produto foi eliminada (4.3 Eliminação da operação de Detecção de Trincas);

- 3º: Etapas de lavagem do produto que também não agregavam valor foram eliminadas ou otimizadas (4.4 Otimização dos processos de lavagem);

- 4º: As máquinas eliminadas nos processos reduziram a área ocupada e reduziram a necessidade de mão-de-obra, através da melhoria de layout, guiada pela metodologia LLD (4.5 Lean Line Design). Foi possível melhorar ainda mais indicadores como: produtividade, Leadtime e Work in Process, além de melhorar também as condições de trabalho e aumentar a satisfação dos colaboradores.

A busca pela melhoria contínua pode ser potencializada através da transformação das iniciativas isoladas de melhoria em um sistema padronizado. Existem atitudes que contribuem para esta padronização, tais como: criar reuniões periódicas com participação de vários departamentos como: Engenharia de Manufatura, Engenharia de Produto, Qualidade, Logística, Controladoria, etc., a fim de trocar idéias, realizar “brainstormings” e traçar metas estratégicas comuns de curto, médio e longo prazo.

Para atingir níveis elevados de autonomia na melhoria contínua (Kaizen), esta cultura deve ser incentivada e as pessoas devem ser reconhecidas pela empresa por suas contribuições neste processo, desta forma é criada a motivação que move este ciclo.

REFERÊNCIAS

SHINGO, Shingeo. O Sistema Toyota de Produção do ponto de vista da Engenharia de Produção. 2. Ed. Porto Alegre, RS: Artes Médicas, 1996.

SANTOS, Javier. Otimizando a produção com a metodologia LEAN / Javier Santos, Richard A. Wysk, José Manuel Torres. São Paulo, SP: Leopardo, 2009.

ROTHER e SHOOK, Aprendendo a Enxergar mapeando o fluxo de valor para agregar valor e eliminar o desperdício / Mike Rother e John Shook. 1.3. Ed Massachusetts, EUA: Brookline, 2003.

THIOLLENT, Michel. Metodologia da pesquisa-ação. 18. Ed. São Paulo, SP: Cortez, 2011.

PORTER, Michael. Vantagem competitiva: criando e sustentando um desempenho superior. 12. Ed. Rio de Janeiro, RJ: Campus, 1989.

KIM, Jinsoo; DORNFELD, David. Development of an Analytical Model for Drilling Burr Formation in Ductile Materials. 2001. Disponível em <<http://escholarship.org/uc/item/1cq5k23b#page-1>>. Acesso em: 08 Nov. 2014

Industrial Management Services, disponível em: <<http://www.indmgt.com/value-stream-mapping.php>>. Acesso em: 08 Nov. 2014.

Kennametal, disponível em: <http://www.kennametal.com/content/dam/kennametal/kennametal/common/Resources/Catalogs-Literature/Precision%20Surface%20Solutions/B-11-02714_TEM_P350_data_sheet_EN.pdf>. Acesso em: 24 Out. 2014.

Rexroth Bosch Group, disponível em: <[http://www.micro-technica.de/Thermal_Deburring_2009-10](http://www.micro-technica.de/Thermal_Deburring_2009-10.pdf)>.pdf. Acesso em: 24 Out. 2014.

MLR máquinas, disponível em: <<http://mlrmaquinas.com.br/maquina-detectora-de-trincas.html>>. Acesso em: 24 Out. 2014.

Induflux Máquinas e equipamentos, disponível em: <<http://www.induflux.ind.br/pt/18/magnetic-particles.html>>. Acesso em: 24 Out. 2014.

Multiflux Máquinas, disponível em: <http://www.multiflux.com.br/pm_maquinas.asp>. Acesso em: 24 Out. 2014.

Site EMAG Manufacturing Systems for Precision Metal Components, disponível em: <<http://www.emag.com/machines/ecm-pecm-machines/pt-smart.html>> Acesso em 08 Nov. 2014.