

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
ESCOLA DE ENGENHARIA DE SÃO CARLOS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

Redução de Tempo de *Changeover*:
Um estudo de caso em uma companhia automotiva

FERNANDA DE AZEVEDO SCHWARZSTEIN
Orientador: Prof. Dr. Marcelo Seido Nagano

São Carlos
2015

FERNANDA DE AZEVEDO SCHWARZSTEIN

**REDUÇÃO DE TEMPO DE *CHANGEOVER*:
UM ESTUDO DE CASO EM UMA COMPANHIA AUTOMOTIVA**

Trabalho de conclusão de curso apresentado à
Escola de Engenharia de São Carlos da
Universidade de São Paulo para obtenção do
título de Engenheira de Produção Mecânica.

Orientador: Prof. Dr. Marcelo Seido Nagano

São Carlos
2015

RESUMO

SCHWARZSTEIN, F. A. **Redução de Tempo de *Changeover*: Um estudo de caso em uma companhia automotiva.** Trabalho de Conclusão de Curso. Escola de Engenharia de São Carlos – Universidade de São Paulo, São Carlos, 2015.

O trabalho apresenta uma pesquisa a respeito dos conceitos de Produção Enxuta, Mapeamento de Fluxo de Valor, e Troca Rápida de Ferramenta. Esses conceitos são aplicados no estudo de caso, projeto para uma companhia automotiva no Reino Unido em parceria com a Swansea University. O projeto trata da redução do tempo de preparação de uma máquina (tempo de *changeover*) de injeção de plástico. Primeiramente foi feito o Mapeamento de Fluxo de Valor do estado atual. Com o propósito de reduzir os desperdícios com melhorias propostas baseadas nas metodologias de Produção Enxuta e Troca Rápida de Ferramenta. Por fim, o processo com as melhorias implementadas foi mapeado pelo Mapeamento de Fluxo de Valor do estado futuro e seus resultados foram mensurados. A partir do presente trabalho pode-se verificar o impacto da implementação dessas metodologias na indústria, que pode trazer grandes ganhos de produtividade e redução de desperdícios.

PALAVRAS CHAVE: *Lean Manufacturing*, Produção Enxuta; Value Stream Mapping, Mapeamento do Fluxo de Valor; *Single Minute Exchange of Dies*; Troca Rápida de Ferramenta

ABSTRACT

SCHWARZSTEIN, F. A. **Changeover Time Reduction: A case study in an automotive company**. Graduation Work. Engineering School of São Carlos – University of São Paulo, São Carlos, 2015.

This work presents a research about the concepts of Lean Manufacturing, Value Stream Mapping, and Single Minute Exchange of Dies. These concepts are applied to the case study, a project for an automotive company in the United Kingdom in partnership with Swansea University. The project aims to reduce changeover time of an injection mold machine. The current situation is evaluated by a Value Stream Map. Its wastes are meant to be reduced through improvements proposals developed with Lean Manufacturing and Single Minute Exchange of Dies concepts. And, finally, the proposals implementation is mapped through the future state Value Stream Map and measured. From the present study it is possible to verify the impact of the implementation of these methodologies in the industry, that can provide productivity increase and wastes reduction.

KEY WORDS: Lean Manufacturing; Value Stream Mapping; Single Minute Exchange of Dies

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Objetivo da Produção Enxuta.....	16
Figura 2: Casa da Produção Enxuta.....	17
Figura 3: Símbolos do Mapeamento de Fluxo de Valor	22
Figura 4: Sobreposição das Atividades.....	23
Figura 5: Resultado da Aplicação de SMED	28
Figura 6: Estágios SMED	29
Figura 7: Padronização de Moldes	32
Figura 8: Engate.....	34
Figura 9: Técnicas de SMED	35
Figura 10: Etapas do Estudo de Caso	39
Figura 11: Máquina de Injeção de Plástico	41
Figura 10: Layout da Máquina.....	42

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AV – Agrega Valor

FIFO – First In First Out

JIT – Just In Time

MFV – Mapeamento de Fluxo de Valor

NAV – Não Agrega Valor

SMED – *Single Minute Exchange of Dies*

TRF – Troca Rápida de Ferramenta

VAT – *Value Added Time*

VSM – *Value Stream Map*

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	11
1.1 Objetivo	11
1.2 Estrutura de Trabalho	12
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	13
2.1 Produção Enxuta	13
2.1.1 Contexto.....	13
2.1.2 Metodologia	14
2.1.3 A Casa da Produção Enxuta.....	16
2.1.4 Os Sete Desperdícios.....	18
2.1.5 Benefícios.....	19
2.2 Mapeamento do Fluxo de Valor	20
2.2.1 Contexto.....	20
2.2.2 Metodologia	21
2.2.3 Benefícios	25
2.3 Troca Rápida de Ferramenta	25
2.3.1 Contexto.....	25
2.3.2 Metodologia	27
2.3.2.1 Separar <i>setup</i> interno e <i>setup</i> externo	29
2.3.2.2 Converter <i>setup</i> interno em externo.....	30
2.3.2.3 Melhoria do <i>setup</i>	32
2.3.3 Benefícios.....	35
3 ESTUDO DE CASO.....	37
3.1 A Empresa	37
3.2 O Problema.....	37
3.3 Estrutura do Caso.....	38
3.4 Desenvolvimento.....	40
3.4.1 Alinhamento.....	40
3.4.2 Mapeamento da Situação Atual	42
3.4.3 Aplicação de Troca Rápida de Ferramenta.....	44

3.4.3.1 Identificação de atividades internas e externas.....	44
3.4.3.2 Conversão de atividades internas em externas.....	45
3.4.3.3 Melhorias Propostas.....	47
3.4.4 Mapeamento da Situação Futura.....	48
3.4.5 Resultado	49
4 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	50
5 BIBLIOGRAFIA.....	51

1 INTRODUÇÃO

O mundo está cada vez mais competitivo, com mudanças de demanda cada vez mais rápidas e busca de custos cada vez mais baixos. E isso não é diferente na indústria automobilística. Desde a revolução industrial a produção vem sendo estudada e alcançando melhores métricas, ou seja, produzindo mais com menos, para que a indústria se adapte e se mantenha competitiva.

Com a chegada agressiva de companhias asiáticas na cadeia automobilística essa competição vem se agravando ainda mais. Segundo Womack Jones e Ross (2004), o peso dessas companhias se deve ao *Lean Manufacturing*, ou Produção Enxuta, baseada no Sistema Toyota de Produção e Just in Time. Essas metodologias visam estruturar a manufatura de acordo com a demanda e foco no cliente, eliminando desperdícios e otimizando atividades de valor agregado.

Devido a essas mudanças, companhias tradicionais se viram obrigadas a tomar atitudes que as colocassem de volta ao mercado, com baixos custo e baixo *lead time*. Segundo Slack (1993), para retomar vantagem competitiva, as indústrias devem integrar a estratégia de manufatura à estratégia global. Esse contexto e integração refletem no alto investimento em iniciativas de *lean manufacturing* no setor. Muito já foi alcançado, mas como a própria metodologia já presume ao promover a melhoria contínua, as indústrias continuam apresentando muitas oportunidades de avanço.

1.1 Objetivo

O presente trabalho tem o objetivo de mostrar um estudo de caso para eliminar desperdício e otimizar o *changeover* dos moldes de uma máquina de injeção em um companhia automotiva. O caso foi embasado em conceitos de Produção Enxuta, Mapeamento do Fluxo de Valor, e Troca Rápida de Ferramenta.

Utilizando-se da filosofia *lean manufacturing* o trabalho vai:

- a) Realizar o Mapeamento de Fluxo de Valor da situação atual;
- b) Aplicar a metodologia de Troca Rápida de Ferramenta para diminuir o tempo de *changeover*;

- c) Propor melhorias a serem implementadas;
- d) Realizar o Mapeamento de Fluxo de Valor do estado futuro de acordo com as melhorias propostas.

1.2 Estrutura de Trabalho

O trabalho está estruturado em cinco capítulos: Introdução, Revisão Bibliográfica, Estudo de Caso, Considerações Finais, e Bibliografia.

A Introdução tem o objetivo de contextualizar o leitor e mostrar como o trabalho é estruturado.

A Revisão Bibliográfica trata dos conceitos utilizados no trabalho. Se inicia pelos conceitos de Produção Enxuta, detalhando a Casa da Produção Enxuta e os Sete Desperdícios. A seguir apresenta conceitos do Mapeamento de Fluxo de Valor. E, por fim, desenvolve conceitos de Troca Rápida de Ferramenta.

O Estudo de Caso apresenta a empresa, o caso, seu desenvolvimento e resultados.

Considerações Finais discute a aplicação dos conceitos, e considerações do estudo de caso.

Por fim, a Bibliografia apresenta as fontes utilizados no presente trabalho.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Produção Enxuta

2.1.1 Contexto

Enquanto a indústria automotiva após a Segunda Guerra Mundial era dominada por companhias americanas, as japonesas lutavam para defender a entrada dos grandes produtores ocidentais em seu país.

As indústrias americanas prezavam pela produção em massa, que refletia em altos volumes e baixo custo dos veículos. Por outro lado, resultava também em baixa variedade e eficiência dos produtos.

Já o setor japonês enfrentava alguns obstáculos: o mercado era muito segmentado; o volume de demanda não era tão alto quanto o dos concorrentes americanos; e o país tinha que se reconstruir após a guerra. A produtividade dos americanos era dez vezes maior do que a dos japoneses. Os japoneses tinham então, muito o que desenvolver. Teriam que se adaptar ao novo cenário do país em reconstrução e com recursos escassos.

Taiichi Ohno, o principal engenheiro de produção da Toyota, iniciou estudos de melhores práticas para a fabricação de produtos e começou a desenvolver conceitos divergentes da produção em massa. Assim começou a implementar o princípio básico da produção enxuta, ou *lean manufacturing*: produzir mais com menos recursos. (WOMACK, JONES E ROSS, 2004)

Tal princípio não era totalmente novo, a otimização dos recursos já vinha sendo trabalhada. Mas, como afirmam James-Moore e Gibbons (1997), todo o potencial desta metodologia só foi totalmente compreendido depois dos estudos de Ohno e da indústria automobilística japonesa.

A produção enxuta foi se consolidando aos poucos, iniciando pela publicação do “Toyota Production System” por Ohno em 1949. O sistema começou a chamar atenção quando a Toyota permaneceu com bom desempenho mesmo após a crise de 1973. Na década de 80 o termo *lean* foi utilizado pelo Massachusetts Institute of Technology. E com o livro “A Máquina que Mudou o Mundo”, de Womack, Jones e Ross, publicado pela primeira vez em 1992, o conceito realmente se popularizou. A metodologia também teve sucesso por

satisfazer os desejos dos consumidores da época, que vinham se transformando: queriam poder escolher dentre maior variedade e produtos de melhor qualidade.

Os princípios de *lean* foram utilizados não só no aproveitamento de maquinário e força física dos trabalhadores, mas também no aproveitamento das qualificações, conhecimentos, e experiências deles. Enquanto Ford dependia de tarefas repetitivas dos operadores para alcançar os objetivos de sua produção em massa, a Toyota esperava que os trabalhadores tivessem tarefas variadas e se envolvessem com propostas contínuas de melhorias. Sempre que uma não conformidade era identificada, os envolvidos paravam a produção para solucionar o problema e identificar sua causa raiz por meio de repetitivos “por quês”. (WOMACK, JONES E ROSS, 2004)

Ohno prezava pela adoção da produção enxuta não só na linha de produção, mas também na cadeia de fornecedores e desenvolvimento de produto.

Com essas iniciativas o rendimento da Toyota aumentou significativamente, o número de reparos diminuiu drasticamente, e os veículos Toyota até hoje são uns dos que apresentam menor número de defeitos. Ohno passou a diminuir *muda*, japonês para “desperdício”, de esforço, material e tempo. As cadeias de fornecedores se desenvolveram, e processos se integraram, desde o design do produto até o relacionamento com consumidores.

Assim a metodologia *lean* foi se difundindo cada vez mais pelas indústrias, e hoje tem diversas aplicações além da manufatura, como *lean office*.

2.1.2 Metodologia

Hoje a mentalidade *lean* consiste em proporcionar maior satisfação do cliente com a melhor utilização de recursos. O Lean Institute Brasil descreve os cinco princípios seguidos:

- a) Definir o que é valor: determinar qual é a real necessidade do cliente e procurar satisfazê-la por determinado custo, qualidade e melhoria contínua dos processos.

- b) Identificar o fluxo de valor: as empresas devem ter uma visão ampla a longo prazo para tomar as decisões mais consistentes. A empresa deve identificar as atividades que:
 - i) Agregam Valor (AV): Efetivamente geram valor aos olhos do cliente;
 - ii) Atividades que não agregam valor ao olhos do cliente, porém são necessárias;
 - iii) Atividades que Não Agregam Valor (NAV): aquelas que não geram valor e não são necessários, devendo ser eliminados o mais rápido possível.
- c) Constituir fluxo contínuo: o processo deve ser integrado, ao invés de fragmentado por departamentos ou qualquer divisão de processos isolados. Só assim a empresa consegue manter um fluxo contínuo do processo, possibilitando acompanhar variações internas e externas, e tirando melhor proveito dos recursos.
- d) Produção puxada: a partir do momento em que o consumidor é quem “puxa” a produção, a empresa consegue reduzir estoques e valorizar seu produto de acordo com a necessidade do cliente.
- e) Perfeição: os membros da cadeia devem ser integrados e devem estar sempre preocupados em aperfeiçoar os processos, praticando o *kaizen* (melhoria contínua), e diminuindo *mudas* (japonês para desperdício) progressivamente.

Uma exemplificação ilustrada do objetivo da produção enxuta é o esquema da Figura 1, adaptado de Hines e Taylor (2000). Uma típica companhia gasta grande parte do tempo com atividades que não agregam valor. Ao implementar melhorias, as companhias diminuem o tempo de atividades AV, mas não reduzem o de atividades NAV. Muitas vezes essas companhias nem ao menos “enxergam” o gasto e processos de atividades que não agregam valor. Sendo assim, o enfoque da produção enxuta não é reduzir o tempo de atividades que agregam valor, mas sim reduzir os desperdícios com atividades que não agregam valor e não são necessárias.

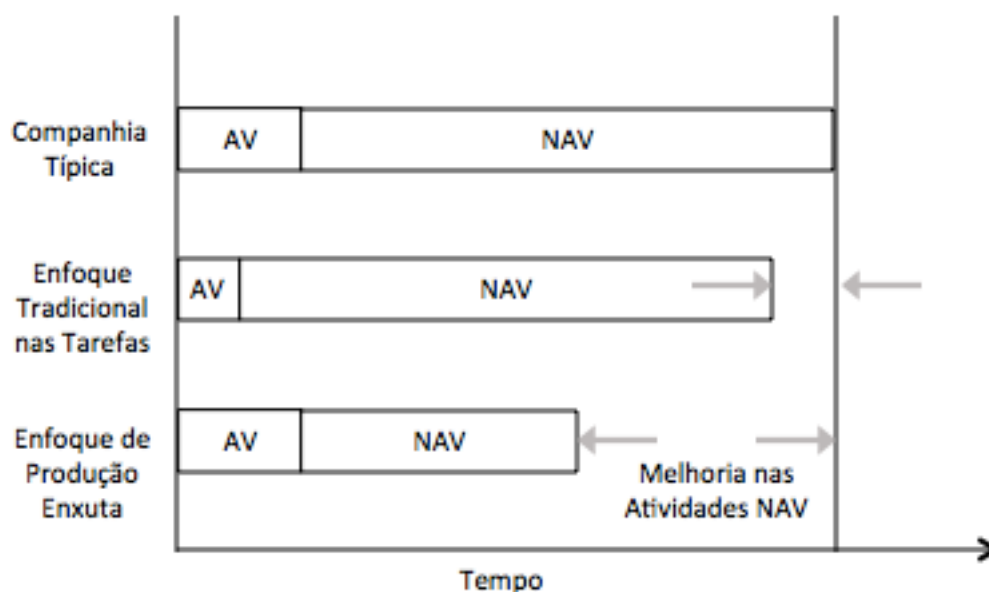


Figura 1: Objetivo da Produção Enxuta. Fonte: HINES, P.; TAYLOR, D. Going Lean: a guide to implementation. Cardiff Lean Enterprise Research Center, 2000.

2.1.3 A Casa da Produção Enxuta

Os princípios da produção enxuta podem ser associados à Casa da Produção Enxuta de Dennis (2007) na Figura 2. O objetivo é ter foco no consumidor, baseado na padronização e estabilidade, e manter os conceitos de Just In Time (JIT) e Jidoka.

As bases de estabilidade e padronização prezam por processos estáveis e que facilitam a produção. Além disso, a padronização é importante para que os processos sejam replicados igualmente, facilitando o controle, análise, e melhorias do próprio.

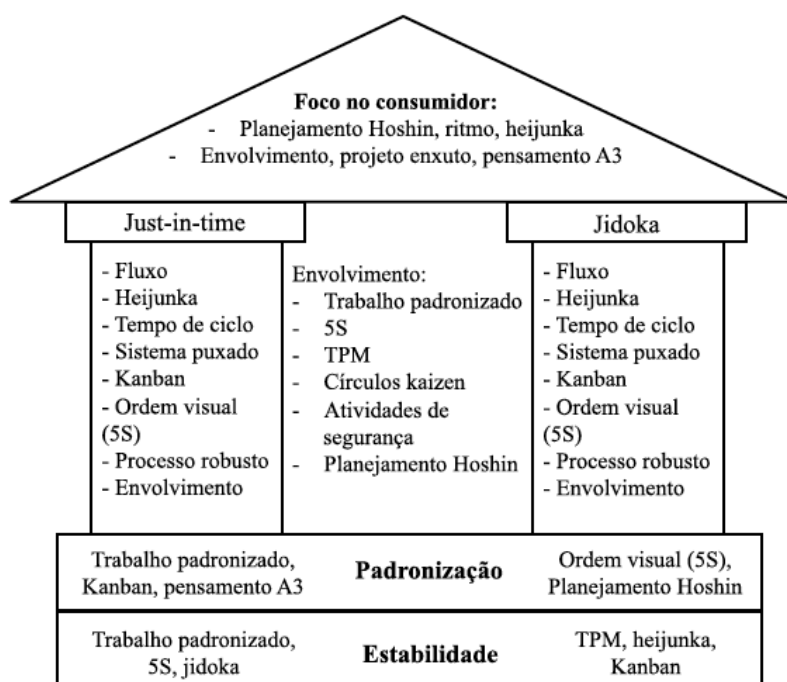


Figura 2: Casa da Produção Enxuta. Fonte: DENNIS, P. Lean Production Simplified. Productivity Press: New York, 2007.

O pilar do JIT, se perfeitamente aplicado, garante um sistema JIT que entrega somente o necessário, quando necessário e na quantidade necessária (SLACK, CHAMBER e JOHNSTON 1997). Assim não apresenta desperdício e nem inconformidades.

Já o pilar Jidoka é um meio de obter um sistema sem erros, com o objetivo de produzir certo na primeira vez e evitar desperdícios de retrabalho. Ele utiliza ferramentas para rapidamente detectar e solucionar problemas. (MOREIRA, 2004).

Por fim, o pilar do Envolvimento integra os princípios e faz com que os conceitos da produção enxuta funcionem para maximizar a satisfação do cliente e minimizar desperdícios.

2.1.4 Os Sete Desperdícios

Como parte do Sistema Toyota de Produção, Shingo (1985) identifica sete tipos de *muda*. Esses desperdícios são atividades que não agregam valor e devem ser eliminados.

a) Superprodução: tradicionalmente as indústrias produzem em grandes lotes para diminuir os custos devido à escala, e produzem antecipadamente para se precaverem da variabilidade da produção. A metodologia *lean*, contrariando essa prática, considera a superprodução o pior dos desperdícios. Isso se explica por esse desperdício refletir na não adesão de muitos outros princípios da produção enxuta. Podemos concluir que na maioria dos casos de indústrias com superprodução:

- i) A produção é empurrada, não é a demanda do consumidor que “puxa” a produção;
- ii) A indústria produz com muita antecedência, o que gera gasto com inventário e depreciação;
- iii) A indústria pode vir a produzir variações de produtos que não serão vendidos no futuro;
- iv) A indústria pode demorar mais para responder à ajustes do produto demandados devido à necessidade de liquidar primeiro o estoque de produtos mais antigos;
- v) Provavelmente a produção não segue um fluxo contínuo;
- vi) Se a indústria não pode confiar em seus processos, ela tem oportunidades de melhoria pela frente até que apresente processos estáveis e padronizados.

Para evitar esses e outros desperdícios uma indústria enxuta deve produzir somente de acordo com a demanda, na quantidade, tempo e qualidade demandados;

b) Estoque: é um desperdício ligado diretamente à superprodução. Também é fruto da produção empurrada e gera maiores custos com gerenciamento do estoque, área física, movimentação, e depreciação. A implementação de produção puxada pode sanar esses gastos adicionais;

- c) Defeitos: produtos com defeito geram desperdício de tempo e recursos, pois o produto vai demorar mais para ser entregue, e os recursos serão alocados novamente para o processo de retrabalho. O ideal é que o produto seja feito sem defeitos logo na primeira vez. Isso é possível com ferramentas do pilar Jidoka, da Casa da Produção Enxuta de Dennis (2007), ou tantas outras, como *Poka Yoke*, Cinco Por Quês, e Diagrama de Ishikawa;
- d) Processamento inadequado: é reflexo da utilização de técnicas mais avançadas ou inadequadas para alcançar o produto demandado pelo cliente. Esse desperdício mostra a falta de integração de uma indústria e falta de foco no cliente, por não integrar a área de design com a de *marketing*, por exemplo. E, ainda por cima, o processamento inadequado pode trazer custos desnecessários;
- e) Espera ou Atraso: pode ser causado por motivos de qualidade, planejamento ou produtividade. Seja qual for o motivo, a espera desperdiça os recursos alocados e aumenta o *lead time* do produto.
- f) Transporte excessivo: pode ser o transporte excessivo de material, pessoas, informação ou bens, que resulta em desperdício de tempo, esforço e dinheiro;
- g) Movimentação excessiva: é o desperdício relacionado à movimentação desnecessária, seja de pessoas, devido a processos não ergonômicos, ou máquinas mal projetadas ou alocadas.

Pode-se concluir que os sete desperdícios resultam em recursos mal utilizados, tempo e dinheiro mal gastos. Esses desperdícios podem ser eliminados utilizando princípios da Produção Enxuta.

2.1.5 Benefícios

Ao comparar a mentalidade enxuta à produção tradicional (em massa), pode-se concluir que a metodologia *lean* traz diferentes efeitos e benefícios. Pode-se destacar:

- a) Foco no cliente, trazendo maior satisfação dele;

- b) Maior envolvimento dos colaboradores. A empresa espera que eles se desenvolvam e proponham melhorias. A informação e solução pode vir tanto de “cima para baixo” quanto ao contrário;
- c) Melhor controle de qualidade, resultando em menos defeitos e menos retrabalho;
- d) Inventário reduzido;
- e) Maior giro de estoque;
- f) Menor espaço requerido;
- g) Maior eficiência, conseguindo produzir mais com menos recursos;
- h) Desenvolvimento mais acelerado;
- i) Cadeia de suprimentos mais integrada;
- j) Melhor performance de entrega

Esses efeitos são resultados dos principais objetivos do *lean*, segundo Dennis (2007) e Womack, Jones e Ross (2004): foco na satisfação do consumidor, e produzir mais com menos recursos.

2.2 Mapeamento do Fluxo de Valor

2.2.1 Contexto

O método de mapeamento já era rotineiramente usado na Toyota para retratar o estado atual e futuro no desenvolvimento e implementação de sistemas enxutos. Rother e Shook perceberam seu potencial e formalizaram a ferramenta.

O *Value Stream Map* (VSM), ou Mapeamento de Fluxo de Valor (MFV), segue o princípio da produção enxuta de tratar processos de forma integrada, e não isoladamente. Ele deve apresentar a visão de todo o processo - seja da demanda do consumidor até a matéria prima, ou da concepção do produto até o lançamento.

Essa observação do processo como um todo e a relação do fluxo de materiais com o de informação retratadas de forma visual resultam na eficácia da ferramenta. Ela serve para comunicar, planejar, e gerenciar processos de mudança. E é frequentemente aplicada como auxílio em projetos de eliminação de desperdícios e otimização da produção.

2.2.2 Metodologia do MFV

A primeira etapa para o mapeamento é a escolha da família de produtos. Tendo a família selecionada, o próximo passo é o mapeamento do fluxo de valor atual. O fluxo é apresentado juntamente com os dados de *cycle time* (tempo de ciclo), *changeover time* (tempo de troca) disponibilidade real da máquina, tamanhos dos lotes de produção, número de operadores, número de variações do produto, tamanho da embalagem, tempo de trabalho menos intervalos, e taxa de refugo.

Com esses dados, é possível analisar métricas da mentalidade enxuta: o *cycle time*, ou seja, a frequência com que uma operação é realmente completada no processo; *value added time* (VAT), ou tempo de agregação de valor, que é o tempo utilizado para tarefas que resultam em valor agregado para o cliente; e *lead time*, que é o tempo total que a peça leva do início ao fim do processo.

Segundo Jones e Wolmack (2004), 90% das ações da cadeia do fluxo de valor e 99,99% do tempo gasto no estado atual não criam valor. Muitas vezes esse desperdício só é enxergado e mensurado depois dos envolvidos analisarem o MFV.

Os símbolos na Figura 3 são alguns dos comumente utilizados no mapeamento do fluxo de valor.

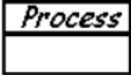

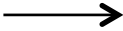



	Processo, operação, máquina, ou departamento com um fluxo interno contínuo
	Caixa abaixo de outros processos com dados importantes para a análise e observação do sistema.
	Fluxo geral de informação
	Fluxo de informação verbal ou pessoal
	Número de operadores necessário para determinado processo.
	Linha do tempo utilizada para o cálculo do <i>lead time</i> e <i>cycle time</i> total. Representa o tempo de valor agregado (VA) e de valor não agregado (NVA) de cada processo.

Figura 3: Símbolos do Mapeamento de Fluxo de Valor. Fonte: ROTHER, M.; SHOOK, J. Aprendendo a Enxergar: Mapeando o fluxo de valor para agregar valor e eliminar desperdícios. Lean Enterprise Institute, 2003.

Ao compilar as métricas *lean*, os envolvidos geralmente concluem que o *lead time* é muito maior do que o *cycle time*, que por sua vez é maior que o tempo de agregação de valor. Ou seja, há fontes de desperdício que precisam ser identificadas e solucionadas para a melhoria do processo e mapeamento do fluxo de valor futuro.

Na prática o mapeamento do estado futuro acaba se sobrepondo ao mapeamento do estado atual, pois a medida que o fluxo atual é sendo retratado, os envolvidos já começam a enxergar desperdícios e pensar em soluções. Como mostrado na Figura 4, o desenho do estado atual e futuro são superpostos.

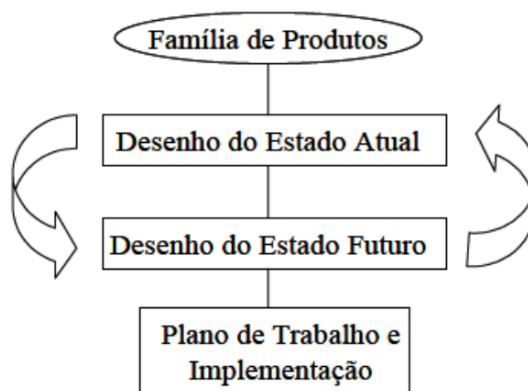


Figura 4: Sobreposição das Atividades. Fonte: ROTHER, M.; SHOOK, J.

Aprendendo a Enxergar: Mapeando o fluxo de valor para agregar valor e eliminar desperdícios. Lean Enterprise Institute, 2003.

Para que o estado futuro seja mais enxuto, o primeiro passo é não tentar eliminar desperdícios pontuais, e sim as causas raiz dos problemas. Se apenas os desperdícios pontuais fossem solucionados, os mesmos desperdícios continuariam de outras formas e o fluxo não avançaria de verdade. Não teria uma redução tão significativa do *lead time*.

Para conseguir diminuir razoavelmente o *lead time* e desfrutar dos benefícios de um processo enxuto, as empresas devem se atentar a alguns requisitos (ROTHER E SHOOK, 2003):

- a) Produzir de acordo com o *takt time*: ao produzir de acordo com a demanda, ou seja, a quantidade, prazo de entrega e qualidade demandados, o fabricante consegue exercer um processo puxado. Ao sincronizar o ritmo de produção com o ritmo de vendas, a empresa consegue ter repostas rápidas a problemas, eliminar causas raiz e tempos de troca.
- b) Desenvolver fluxo contínuo sempre que possível: ao produzir uma peça de cada vez sem esperas ou paradas entre processos, o tempo de atividades que não agregam valor reduz drasticamente.
- c) Utilizar supermercados onde não for possível desenvolver o fluxo contínuo: na vida real de uma empresa nem sempre é possível aplicar fluxo contínuo para todos os processos. Quando esse for o caso, o sistema

com supermercado é uma solução que garante que o processo cliente puxe a produção do processo anterior. Geralmente um *kanban* de retirada instrui o operador a retirar e transportar as peças para o processo cliente, e um *kanban* de produção informa os pedidos de produção ao processo fornecedor. Esse sistema permite que a produção seja controlada quando realmente o fluxo contínuo não é possível. Outros sistemas também podem ser explorados, como linhas FIFO (*first in first out*), ou puxado sequenciado, em que o processo fornecedor produz quantidades pré estabelecidas pelo processo cliente.

- d) Enviar a programação do cliente para somente um processo de produção: os princípios de *lean* já justificam a iniciativa, pois o fluxo deve ser integrado. Se o processo “puxador” for o último do fluxo contínuo, ele já transmitirá a programação do cliente para todos os outros processos relacionados.
- e) Nivelar o *mix* de produtos: como citado anteriormente, um diferencial da metodologia *lean* em relação à produção em massa ocidental é a produção em pequenos lotes econômicos e rápidos *changeovers*. Isso possibilita a nivelção do *mix* de produtos, resultando em menores estoques, resposta rápida às solicitações dos clientes, e, portanto, *lead time* mais baixo.
- f) Nivelar o volume de produção: equilibrar a produção e liberar pequenas ordens de produção frequentemente é a melhor maneira de orientar e controlar os processos. Sobrecargas e depressões de trabalho exigem recursos com maior capacidade e menor aproveitamento. Além de volumes desnivelados trazerem confusos fluxos de informação e longo tempo de resposta. Podemos dizer que a metodologia *lean* sempre preza por pequenos lote, seja lotes de matéria prima, produto acabado, ou informação.
- g) Fazer ao menos “uma peça todo dia” nos processos de fabricação anteriores ao processo puxador: “toda peça todo...” (TPT) define o intervalo de tempo que o processo leva para produzir todas as variações de uma peça. Quanto menor for o TPT, menor será o lote e o tempo de resposta. A empresa deve estar sempre melhorando, passar de toda peça

todo dia, para toda peça todo turno, toda hora, todo *pitch*, e assim por diante.

A empresa deve considerar essas características do processo enxuto para desenvolver o MFV do estado futuro. Espera-se que o mapa apresente soluções para antigos desperdícios e lide com o processo de forma integrada. Além do mapa, os envolvidos devem listar melhorias que devem ser implementadas para alcançar a situação futura, e um possível planejamento para a implementação.

2.2.2 Benefícios

O MFV se mostra essencial para enxergar o fluxo, identificar as fontes de desperdício, fornecer uma linguagem comum, facilitar decisões por possibilitar a discussão, juntar conceitos e técnicas enxutas, e relacionar o fluxo de informação e de materiais. (ROTHER E SHOOK, 2003).

Vale lembrar que o MFV é uma das ferramentas para a implementação da produção enxuta. Existem outros fatores que impactam no sucesso da metodologia. Ressalta-se o envolvimento da gerência, que é de extrema importância para proliferar uma cultura dentro de toda a empresa. O ideal é que as técnicas de *lean* sejam trabalhadas continuamente e que o *kaizen* seja aderido. Muitas das empresas que aderiram à essas técnicas alcançaram resultados satisfatórios a longo prazo devido à contínua aplicação de melhorias. Assim a empresa pode ir além de um projeto isolado.

2.3 Troca Rápida de Ferramenta

2.3.1 Contexto

Single Minute Exchange of Dies (SMED), ou Troca Rápida de Ferramenta (TRF) foi desenvolvida por Shingo em 1969, após 19 anos de estudos teóricos e práticos.

Com a proliferação da produção enxuta, muitas indústrias tentavam aderir ao sistema *lean*, porém muitas tinham dificuldade na implementação. Segundo

Shingo, em suas visitas às indústrias, as dificuldades ressaltadas eram sempre as mesmas: produção de baixo volume e alta variabilidade. Para evitar tal problema, indústrias optavam por produzir apenas alguns tipos de produtos e estimular demanda para eles. Um exemplo foi a Volkswagen, que, por muito tempo, fabricou apenas um tipo de carro. Mas para Shingo, isso não deveria ser um problema. O problema real eram as operações de *setup*, requeridas para atender a produção.

Tradicionalmente o *setup* era considerado apenas um pequeno aspecto da produção. Pelo fato de as indústrias não considerarem a redução drástica de tempo de *setup* possível, utilizavam da estratégia de lote econômico para minimizar os maus efeitos de longos *setups*. A produção em grandes lotes apresentava a desvantagem de ter baixo giro de capital, desperdício de espaço físico de inventário que não agrega valor, horas de trabalho devido à transporte e estoque, longos *lead times*, e depreciação dos produtos em estoque.

Levando em consideração os aspectos de que operadores devem se envolver na melhoria da manufatura e não devem ficar ociosos, e o questionamento para entender o “por quê” de algo ser feito e desenvolver o “como”, Shingo provou que o SMED é um elemento chave para a aplicação do Sistema Toyota de Produção. Ao tornar *set ups* rápidos possíveis, a indústria não precisava mais se guiar por grandes lotes econômicos.

Single Minute Exchange of Dies se refere à teoria e técnicas para performar operações de *set up* em menos de dez minutos (SHINGO, 1983).

Essa técnica possibilita que a produção responda rapidamente à variações de demanda sem desperdício, e cria as condições necessárias para redução de *lead time*.

Desde então SMED é amplamente utilizado nas indústrias, e pode ser aplicado em qualquer contexto de produção.

2.3.2 Metodologia

Em operações de *setup* tradicionais, a distribuição do tempo é geralmente distribuída da seguinte maneira, segundo Shingo (1983):

- 30% com preparação, ajuste depois do processo, checagem de matéria prima, lâminas, moldes, gabaritos, etc: é a etapa que garante que todos as peças e ferramentas estão funcionando adequadamente. Também inclui o período de reorganizar esses itens depois que a operação é encerrada;
- 5% com montagem e remoção de peças: remoção das peças e ferramentas depois que o processamento é completado e a montagem das peças e ferramentas para o próximo lote;
- 15% com dimensionamento, centralização, e outras configurações: inclui todas as calibrações e dimensionamentos necessários;
- 50% com testes e ajustes: ajustes de acordo com os testes da primeira peça manufaturada. Quanto melhor for a calibração anterior, menos ajuste será necessário.

Pode-se concluir que ao melhorar a precisão das medidas e calibrações, menos tempo é requerido para testes e ajustes após o primeiro processamento, e então o tempo de *setup* é reduzido.

A metodologia de SMED segue o princípio que existem dois tipos de *setup*, internos e externo (IED e OED).

No estágio preliminar não há distinção entre *setup* interno e externo. Há desperdícios de transporte enquanto a máquina está parada, desperdício relacionado ao retrabalho do *setup* ou inconformidade de ferramental e peças, e desperdício decorrente da falta de material disponível na hora do *setup*.

A partir disso, há três passos para aplicar SMED: separar os dois tipos de *setup*, converter *setup* interno em *setup* externo, e melhorar todos os aspectos da operação de *setup*. Esses passos serão aprofundados adiante.

O resultado da aplicação de SMED na Figura 5 é similar à redução de tempos pela aplicação de princípios *lean*.

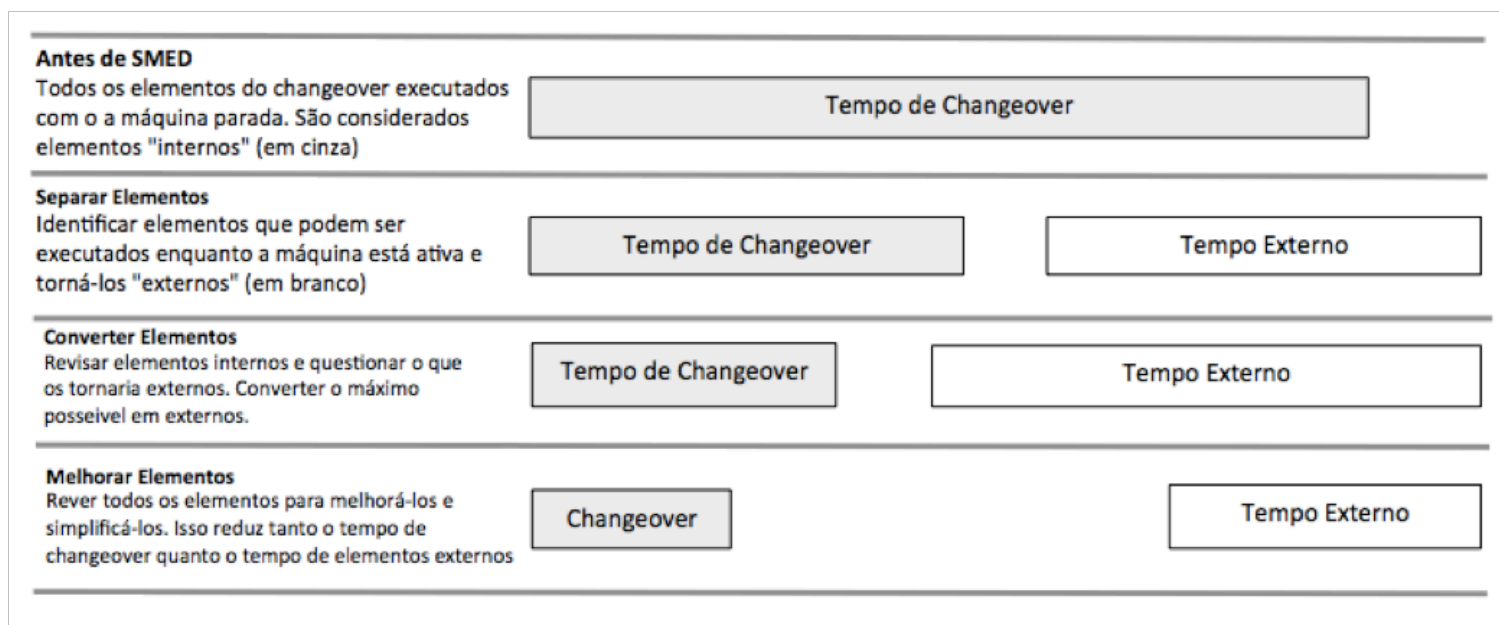


Figura 5: Resultado da Aplicação de SMED. Fonte: Lean Production

Veremos a metodologia detalhadamente, que pode ser exemplificada de acordo na Figura 6.

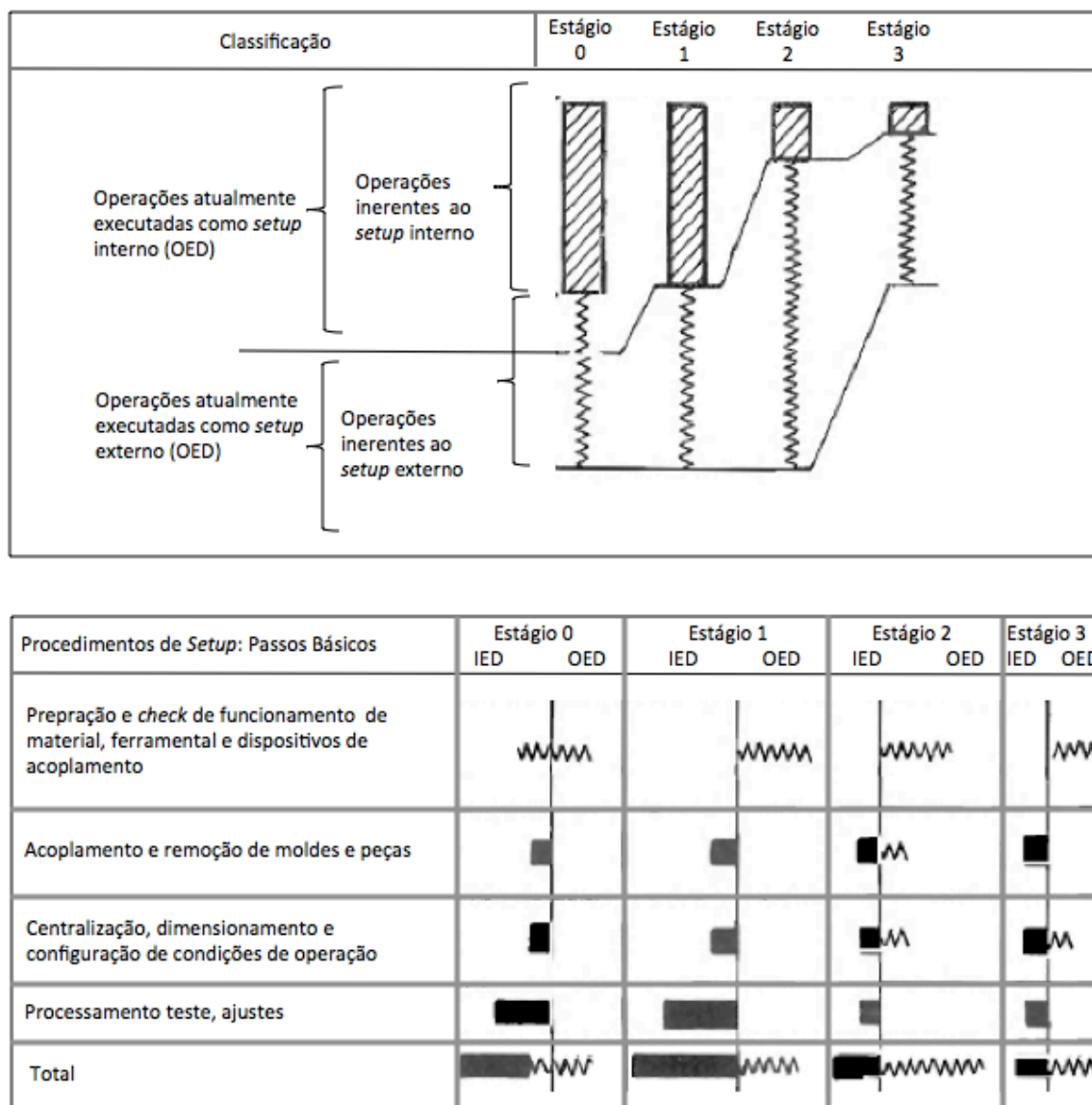


Figura 6: Estágios SMED. Fonte: SHINGO S. A Revolution in Manufacturing. 1st ed. Cambridge, Mass.: Productivity Press; 1985.

2.3.2.1 Separar *setup* interno e *setup* externo

Setup interno e externo podem ser separados da seguinte forma:

- Setup* interno (IED): atividades que só podem acontecer quando a máquina está parada

b) *Setup* externo (OED): atividades que podem ser conduzidas quando a máquina está em funcionamento

O primeiro passo é identificar quais são as atividades de *setup* interno e externo. O tempo que a máquina fica parado deve ser o mínimo possível. Portanto os envolvidos devem ter em mente quais são as atividades que podem ser executadas exclusivamente com a máquina parada, que são consideradas internas (IED), e as atividades externas, que podem ser executadas enquanto a máquina está operando, e portanto, não devem consumir o tempo de máquina parada. De acordo com Shingo, ao tratar o máximo de atividades possível como externas, o tempo de *setup* pode ser reduzido entre 30% e 50%.

Há algumas técnicas para garantir que atividades externas são executadas realmente só quando a máquina está operando.

Uma delas é a utilização de *checklist* para checar se os itens externos estão prontos como deveriam, evitando erros posteriores.

Outro aspecto necessário para evitar longos *setups* é a garantia de que todas as peças estão em boas condições. Portanto, é preciso checar e, se necessário, reparar todos os itens antes que a máquina pare de operar.

Por fim, o transporte dos moldes e outras peças devem ser feitos como um procedimento de *setup* externo. Seria um grande desperdício transportar qualquer molde ou peça da máquina até o almoxarifado, e vice versa, enquanto a máquina estiver parada. O ideal é que qualquer item que entre na máquina esteja a postos do lado da mesma antes do *setup* interno começar. E tudo o que tiver que ser retirado da máquina via *setup* interno, seja retirado e colocado ao lado da máquina até que ela volte a operar e os itens possam ser transferidos de volta para o almoxarifado.

2.3.2.2 Converter *setup* interno em externo

O primeiro passo já separa as atividades externas e internas. O segundo passo examina novamente as atividades executadas com o objetivo de transformar internas em externas. Isso se deve ao fato de que nem todas as atividades que atualmente são executadas com a máquina parada tem essa

necessidade. A real função de cada atividade deve ser analisada, para então converter o que for possível em atividades externas.

O primeiro passo para converter atividades em *setup* externo é garantir as condições de *setup* com antecedência.

Algumas técnicas utilizadas para converter *setup* interno em externo são:

- a) Preaquecimento dos moldes: Para que moldes de injeção produzam peças conformes, eles precisam estar aquecidos. Tradicionalmente as indústrias executavam o *setup* com o novo molde em temperatura ambiente, produziam a primeira leva, que era descartada por ser defeituosa, e só produziam peças conformes quando o molde esquentava. Ao transformar o preaquecimento dos moldes em *setup* externo, a indústria elimina os desperdícios relacionados à primeira leva defeituosa e o tempo utilizado para aquecer os moldes enquanto a máquina está parada.
- b) Utilizar molde de injeção a vácuo: esse sistema tem a vantagem de não precisar retirar o ar durante o *setup* interno, e o ar pode ser expelido do tanque de vácuo como *setup* externo.
- c) Utilizar guia para centralizar moldes: tradicionalmente, uma parte significativa do *setup* de moldes de injeção era utilizado para a centralização dos moldes. Se o centro dos moldes estiverem marcados visualmente este tempo pode ser reduzido.
- d) Padronização das funções: existe um “ponto ótimo” na padronização das atividades. Se todas as peças de máquinas e ferramental fossem padronizados, os moldes ficariam muito grandes e o custo aumentaria desnecessariamente. Por outro lado, se todos os itens forem diferentes, a dificuldade da operação aumenta, o inventário de ferramental engloba mais itens, e o *setup* fica mais lento e caro. O ideal é que as funções necessárias na operação de *setup* sejam padronizadas. Deve-se analisar cada função e suas “micro funções”, quebradas em elementos básicos. Uma vez analisadas, deve-se identificar funções a serem padronizadas e funções a serem reconfiguradas. O objetivo é padronizar apenas a menor parte que deve ser reconfigurada de

acordo com o molde ou máquina, e manter as demais partes. Exemplos de padronização de funções são parafusos de tamanhos padronizados; troca somente do orifício por onde o material injetado é inserido na máquina; barras centralizadoras padronizadas; e utilização de gabaritos padronizados e duplicados para que um gabarito ser utilizado na execução e outro no *setup* externo.

O exemplo de parafusos padronizados pode ser conferido na Figura 7, adaptada de Shingo (1983). Os moldes A e B tem alturas diferentes (320 milímetros e 270 milímetros, respectivamente). Blocos de ajuste de altura de 50 milímetros são colocados abaixo de B para nivelar a altura. E blocos de ajuste de 50 milímetros de altura são colocados acima da base de A. Assim ambos os moldes terão a mesma altura e poderão utilizar os mesmos parafusos para serem anexados na máquina de injeção.

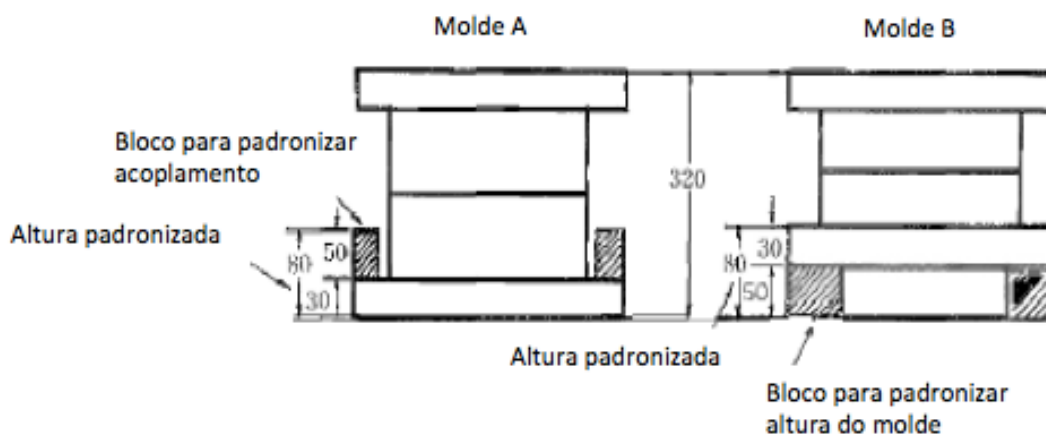


Figura 7: Padronização de Molde. Fonte: SHINGO S. A Revolution in Manufacturing. 1st ed. Cambridge, Mass.: Productivity Press; 1985.

2.3.2.3 Melhorar todos os aspectos da operação de *setup*

Uma vez que o máximo de atividades já foi convertido em atividades externas, resta melhorar todas as atividades do *setup*.

Vale ressaltar que na prática os três passos acabam se sobrepondo. Enquanto os envolvidos estão separando atividades internas e externas, já podem pensar em atividades que podem ser convertidas em externas e melhorias para as atividades.

2.3.2.4 Melhoria do *setup*

Algumas técnicas são comumente utilizadas em projetos de SMED e podem ser conferidas a seguir.

- a) Operações em paralelo: deve-se analisar atividades que podem ser executadas paralelamente e a possibilidade de alocar dois trabalhadores. Isso pode reduzir o tempo de *setup* com a condição de garantir segurança para os dois envolvidos e não deixar nenhum dos trabalhadores em espera ou ocioso.
- b) Utilização de parafusos funcionais: em muitos casos na indústria se utiliza parafuso de muitas roscas. E cada rosca do parafuso requer uma volta para ser apertada. Porém, na realidade, o que conta para a anexação do parafuso é a última volta, e para a remoção é a primeira. Sendo assim, todas as outras voltas resultam em desperdício de esforço e tempo do operador. Um parafuso funcional é projetado para sua altura atender a necessidade de apenas uma volta.
- c) Método de engate: Uma outra opção para anexar as peças é o método de engate. O parafuso é pressionado no molde por um engate, mostrado na Figura 8. Ele só é útil se todos os itens tiverem a mesma espessura.

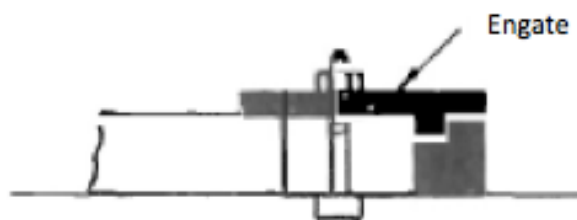


Figura 8: Engate. Fonte: SHINGO S. A Revolution in Manufacturing. 1st ed. Cambridge, Mass.: Productivity Press; 1985.

- d) Eliminação de Ajustes: Ajustes e testes demandam grande tempo de *setup*. E ajustes por intuição requerem ainda mais testes. Por isso é necessário deixar de depender da intuição e eliminar ajustes. Isso pode ser alcançado por calibração para ajustes numéricos, e planos de referencia para ajustes visuais.
- e) Automação: A automação só deve ser considerada depois de todas as outras melhorias serem implementadas. Se a automação for considerada logo no início, ela pode reduzir o tempo de *setup*, porém as causas raízes dos problemas não serão resolvidas e o sistema da manufatura pode vir a ser mal estruturado. Alguns exemplos de métodos de automação são a utilização de empilhadeira para inserção de moldes na máquina, transporte de prensas ou outros maquinários por esteira, mecanização para apertar e remover prensas, entre outros.

Tendo passado pelas quatro etapas, o ciclo do SMED chega ao fim. Lembrando que a empresa deve adotar a melhoria contínua, pois sempre terão novas melhorias a serem aplicadas em novos ciclos de SMED ou práticas de *lean*. Na Figura 9 segue um esquema adaptado de Shingo que exemplifica como as técnicas podem ser utilizadas na aplicação de SMED.

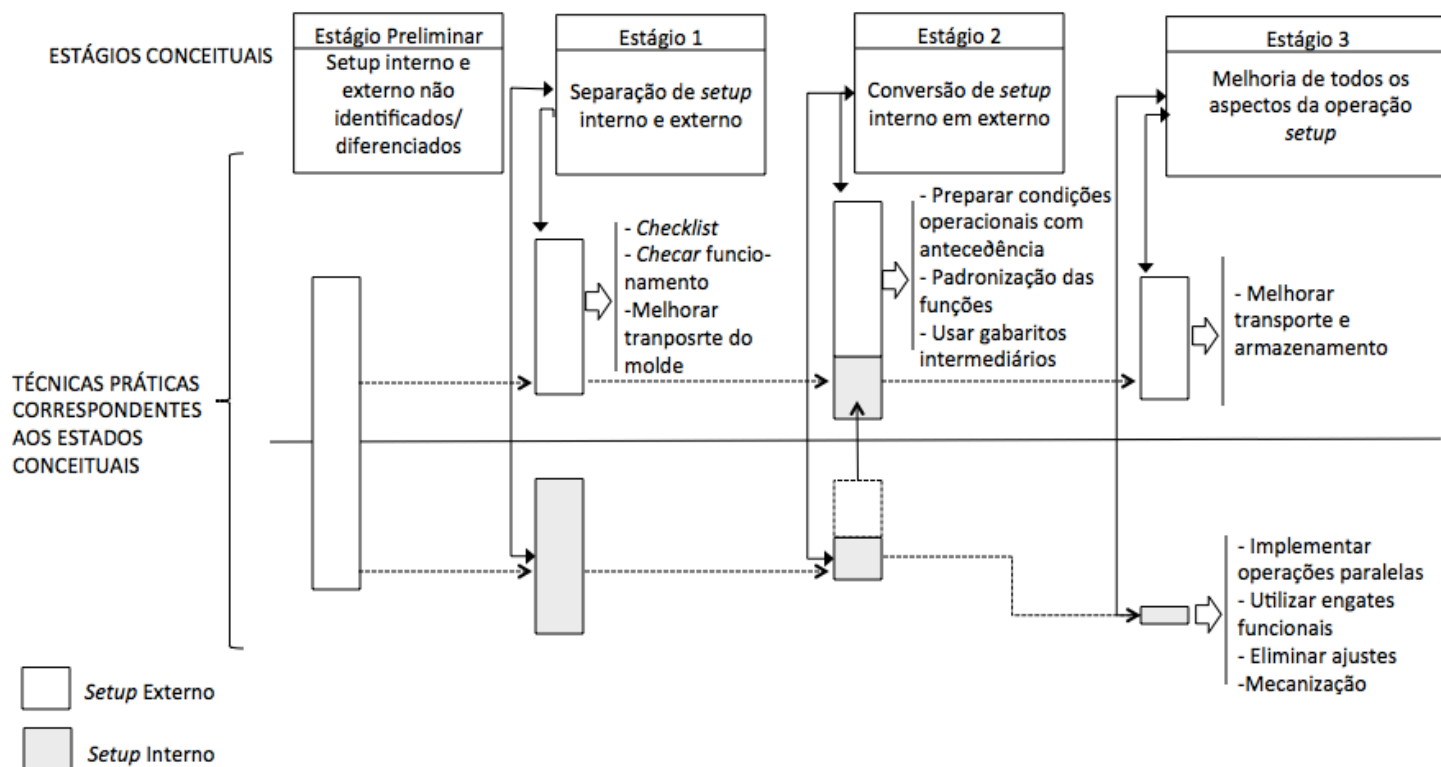


Figura 9: Técnicas de SMED. Fonte: SHINGO S. A Revolution in Manufacturing. 1st ed. Cambridge, Mass.: Productivity Press; 1985.

2.3.3 Benefícios

Os efeitos de SMED vão além da redução de tempo de *setup* e redução de custos. Alguns dos benefícios são:

- Inventários pequenos ou inexistentes: a redução de inventário reflete em maior capital de giro, melhor aproveitamento da área da empresa, aumento da produtividade por eliminar tempo de produção gasto com gerenciamento e transporte de inventário, resposta rápida à oscilação de demanda, e depreciação total ou quase inexistente. Também impacta na satisfação de clientes ao possibilitar a produção de alta variabilidade com baixo volume.
- Maior aproveitamento das máquinas: depois da implementação do SMED as máquinas ficam menos tempo paradas, e portanto a produtividade aumenta.

- c) Qualidade: o trabalho dos envolvidos passa a ser estruturado e planejado, resultando em melhor qualidade.
- d) Segurança: pelos mesmos motivos da qualidade melhorar, a garantia da segurança também passa a ser melhor.
- e) Organização: com SMED e a padronização de ferramentas o número de itens utilizados na manufatura diminui e o sistema requer que eles fiquem organizados.
- f) Redução da necessidade de trabalhadores altamente qualificados: como os procedimentos deixam de ser guiados pela intuição e se tornam regulamentados, trabalhadores de baixa qualificação podem executar o *setup*.
- g) Produção puxada: com a redução de tempos a empresa pode começar a produzir apenas quando o pedido é efetuado.
- h) Envolvimento e melhor performance da equipe: ao aplicar SMED e princípios de produção enxuta os envolvidos passam a enxergar todo o processo. E ao perceberem o impacto de seu trabalho e das melhorias implementadas se engajam em futuras e contínuas melhorias.

3 ESTUDO DE CASO

São aplicadas no desenvolvimento do estudo de caso as metodologias de Produção Enxuta, Mapeamento do Fluxo de Valor e Troca Rápida de Ferramenta para reduzir o tempo de *changeover* de moldes em uma máquina de injeção de plástico em uma empresa automotiva.

O projeto foi uma parceria da Swansea University com a empresa.

3.1 A Empresa

A empresa em estudo é uma companhia automotiva global do grupo Nissan. A empresa fornece uma variedade de componentes automotivos para montadoras do mundo todo.

O caso se aplica em seu centro tecnológico localizado no Reino Unido. Ele é responsável pelo *design* e desenvolvimento de produtos para clientes europeus, que incluem radiadores, condensadores, resfriadores do ar de admissão e óleo, ventiladores de motor, e módulos de resfriamento.

3.2 O Problema

O caso tem o objetivo de solucionar um empecilho da empresa: longos tempos de *changeover* de moldes em uma máquina de injeção de plástico. A máquina havia sido instalada recentemente e não possuía processos completamente estruturados. São realizados na máquina quinze *changeovers* por semana e são fabricadas peças de plástico para radiadores.

Os engenheiros responsáveis pela linha se queixavam do tempo que o *changeover* levava, da alocação de duas pessoas para a operação, sendo uma melhor qualificada, o alto inventário de peças, e desperdício de recursos como um todo.

Vale ressaltar que o projeto tinha como condição o baixo investimento para a implementação da solução.

3.3 Estrutura do Caso

O primeiro passo para solucionar o problema da máquina de injeção foi desenvolver o mapeamento do fluxo de valor da situação inicial. Assim foi possível entender todas as atividades e analisar suas funções, e quantificar a redução de perdas devido ao projeto. O mapeamento do fluxo de valor foi feito de acordo com Rother e Shook (2003) e algumas adaptações.

Tendo a situação atual mapeada, os principais desperdícios foram levantados. Os principais desperdícios foram tratados como prioridade no próximo passo: a aplicação da metodologia de Troca Rápida de Ferramentas.

O desenvolvimento do processo de Troca Rápida de Ferramentas foi feito de acordo com Shingo (1983). Primeiramente as atividades externas e internas foram identificadas, depois atividades internas foram convertidas em externas, e, por fim, as atividades foram melhoradas.

A última etapa do estudo foi o mapeamento de processos da situação futura de acordo com as melhorias propostas. Deste modo foi possível simular o tempo que o novo *changeover* levaria antes de o caso ser apresentado para a empresa.

O caso pronto foi apresentado para a empresa e posteriormente implementado.

A estrutura do estudo de caso é apresentada na Figura 10. Embora a estrutura tenha sido seguida, na prática as etapas se sobrepõem, pelo mesmo motivo apresentado por Rother e Shook (2003) anteriormente.

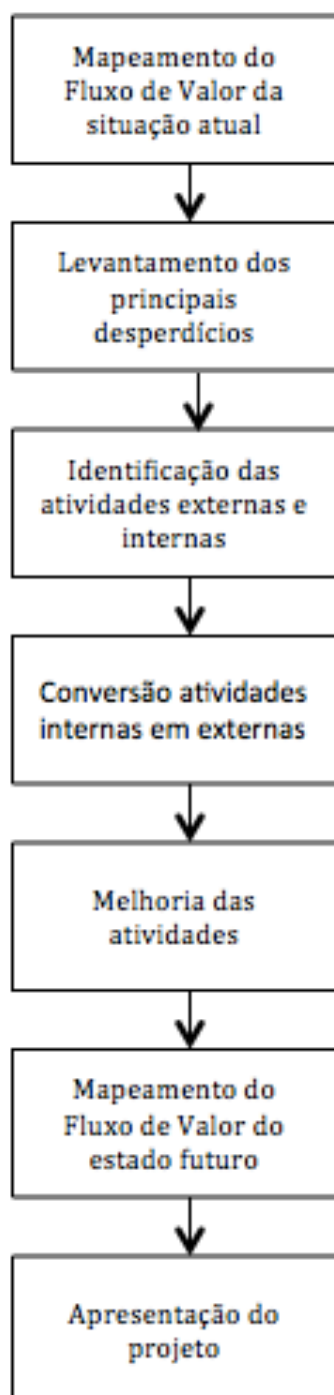


Figura 10: Etapas do Estudo de Caso.

3.4 Desenvolvimento

3.4.1 Alinhamento

Para a primeira etapa do projeto foi feita uma visita na empresa. Os responsáveis pelo *changeover* da máquina de injeção mostraram o processo de manufatura, contaram como o *changeover* era feito e relataram os obstáculos que enfrentavam. Depois disso os dois envolvidos no processo executaram um *changeover*, que foi filmado para posterior análise.

Já durante a visita foi possível identificar muitos desperdícios e processos mal estruturados, que resultavam em um *changeover* de 52 minutos, e grandes inventários.

Afim de contextualizar o leitor, é definido como o molde deve ser colocado na máquina. Primeiramente chamaremos o molde que acabou de ser utilizado na máquina injetora de “molde 1”, e o que entrará na máquina para produzir os próximos lotes de “molde 2”. O tempo de *changeover* é o tempo entre a finalização da última peça produzida com o molde 1 e a primeira nova peça conforme produzida com o molde 2. O operador de cargo mais alto é o “operador A” e o operador de cargo mais baixo, “operador B”. Os processos mostrados na parte superior do Mapa de Fluxo de Valor são referentes ao operador A, e os processos na parte inferior ao operador B.

A máquina de injeção de plástico é esquematizada na Figura 11. Ela é composta pela parte de injeção de material, do lado esquerdo, e a parte do molde, do lado direito. Cada metade do molde é fixada em uma placa de fixação. Entre os moldes há a cavidade, formato que vai moldar o material inserido. E no centro do molde à direita há uma barra ejetora. Um detalhe não mostrado no esquema é a porta de segurança de correr, nas laterais dos moldes. Qualquer movimentação ou operação dentro da máquina de injeção só funciona se ambas as portas estiverem fechadas.

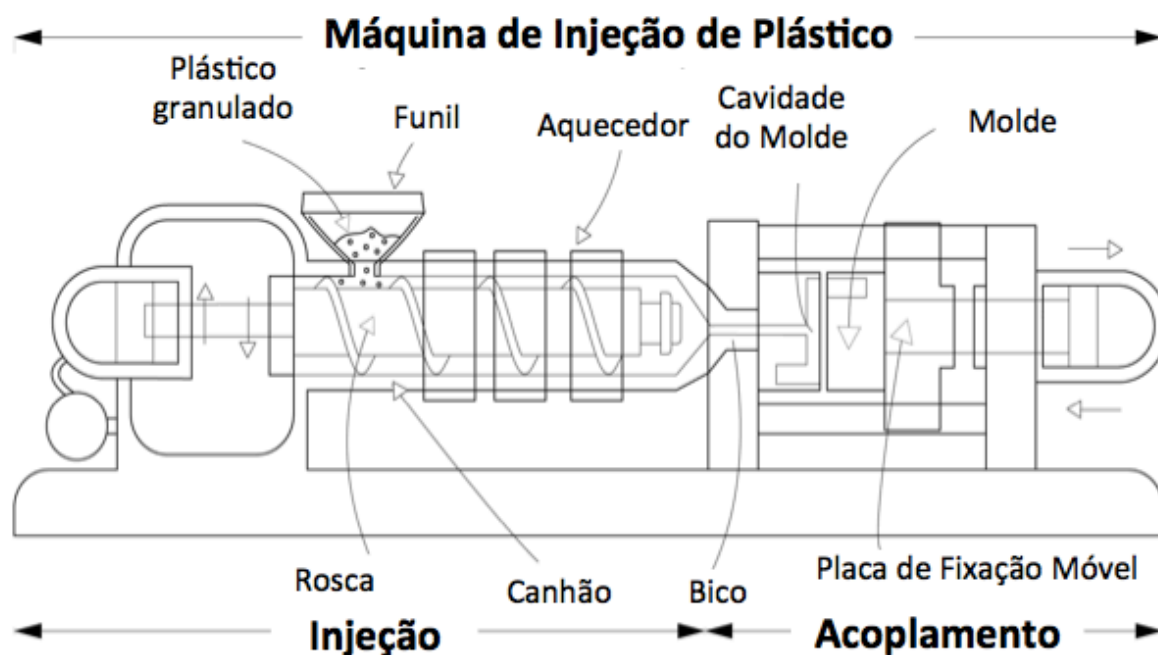


Figura 11: Máquina de Injeção de Plástico.

Ambas as metades do molde são acopladas na plataforma por meio de engates parafusados, mangueiras e, em uma delas, o conector de aquecimento e o parafuso de segurança.

Os moldes são transportados por ponte rolante por meio de anéis de içamento neles parafusados, onde o gancho é acoplado.

O robô é o elemento que retira as unidades acabadas de dentro da máquina e as transporta para a esteira na lateral da máquina.

A Figura 12 representa o *layout* da máquina e a localização dos operadores. Nota-se que cada operador fica a maior parte do tempo em uma lateral da máquina.

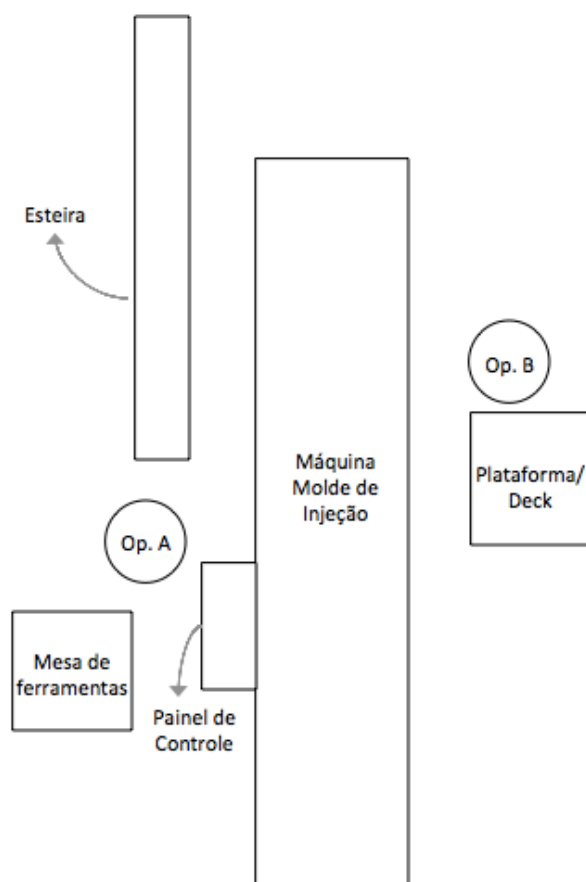


Figura 12: Layout da Máquina.

A operação de *changeover* aborda, basicamente, o desacoplamento do molde 1 à máquina, a troca por um molde 2 e o acoplamento dele à máquina, e a purga do sistema de injeção. Veremos a seguir que na prática há muitas atividades e desperdícios relacionados à operação.

3.4.2 Mapeamento da Situação Atual

Para o Mapeamento do Fluxo de Valor da situação atual, a metodologia estabelecida pelo Lean Institute foi adaptada, utilizando-se seus primeiros dois passos: determinar o que é valor para o cliente e identificar o fluxo de valor. Assume-se que:

- a) Valor: no caso considera-se que o cliente é a gerência da empresa, que espera rápidas trocas de molde e o mínimo de desperdício. Sendo assim, considera-se valor todas as atividades que impactam no acoplamento e desacoplamento do molde e na purga do sistema. Além de atividades suporte que garantam o sucesso da troca de molde, como a limpeza do mesmo. Posteriormente esse valor será transferido para o cliente final, que demanda peças de qualidade e baixo custo.
- b) Identificação do fluxo de valor: o fluxo de valor pode ser conferido no mapa de fluxo de valor em anexo e na tabela de atividades. No fluxo foram consideradas as atividades relacionadas ao acoplamento e desacoplamento do molde e purga do sistema.

O mapa do fluxo de valor da situação atual pode ser analisado no Apêndice A.

À primeira vista já nota-se um *changeover* de 52 minutos, com apenas 33 minutos de atividades que agregam valor. Ou seja, apenas 64% do tempo da troca de moldes é gasto com atividades que agregam valor. Foram consideradas atividades que agregam valor aquelas que são diretamente relacionadas com a boa utilização do molde, acoplamento e desacoplamento do molde à máquina, e purga da máquina. Ainda assim, veremos posteriormente, que algumas dessas atividades que parecem que agregam valor na verdade podem ser simplificadas, diminuindo ainda mais o tempo de valor agregado.

Para auxiliar no desenvolvimento do mapa de fluxo de valor foi feita uma tabela com as “micro atividades”, o operador responsável, e o tempo de cada atividade, em segundos. Posteriormente a mesma tabela será utilizada na metodologia de Troca Rápida de Ferramenta.

Nota-se que há muitas atividades que parecem não fazer parte de um processo estruturado. Há muitos ajustes e complicações com a barra ejetora e

posicionamento do molde. Nota-se também que há diversos momentos em que apenas um operador está ativo e o operador B é o mais ocioso na operação.

Vale ressaltar algumas atividades e seus tempos, que geram desperdícios percebidos já na primeira etapa do projeto:

- a) Seis minutos para trocar barra ejetora de molde;
- b) Cinco minutos para procurar ferramenta pela fábrica;
- c) Quinze minutos para acoplar/desacoplar e parafusar moldes;
- d) Cinco minutos para purga do sistema.

O próximo tópico mostra a aplicação de SMED para eliminar esses e outros desperdícios.

3.4.3 Aplicação da Troca Rápida de Ferramenta

3.4.3.1 Identificação de atividades internas e externas

O primeiro passo da Troca Rápida de Ferramentas pode ser analisado no Apêndice B. As atividades foram separadas em internas, que só podem ser executadas com a máquina parada, e externas, que podem ser executadas enquanto a máquina opera.

Para essa análise levou-se em consideração a função de cada atividade. Portanto, a mesma ação com funções diferentes pode ter sido considerada uma vez interna e outra externa, a exemplo de “fechar molde”. Quando é relacionada à algo inerente ao *setup* interno, no caso ao acoplamento do molde 2, a ação é considerada interna. Mas quando a ação faz parte de uma função externa, no caso ajustar a distância dos moldes, ela é considerada externa.

Na situação atual, as únicas atividades executadas externamente são o transporte do molde 2 e do gancho para a lateral da máquina. Ambos já se encontram a postos antes da máquina parar.

As operações em relação à remoção da barra ejetora e do suporte do anel de içamento foram consideradas externas, pois cada molde pode ter sua própria barra ejetora e anel de içamento e, portanto, não precisam gastar tempo de máquina parada. Os ajustes da distância entre moldes e configurações da

máquina também foram considerados externos porque poderiam ser pré configurados na máquina.

As atividades de alinhamento e comunicação dos operadores e a busca por ferramenta também foram consideradas externas porque os operadores poderiam estar instruídos e alinhados, e as ferramentas necessárias poderiam estar a postos ao lado da máquina.

3.4.3.2 Conversão de atividades internas em externas

Seguindo a metodologia de Shingo, algumas atividades internas foram convertidas em externas. As melhorias propostas envolvendo a conversão são:

a) Padronização das funções:

As atividades relacionadas à barra ejetora e ao suporte do anel de içamento podem ser convertidas em externas por meio da padronização de funções. A empresa utiliza uma única barra ejetora para todos os moldes. Ela é retirada do molde 1 e recolocada no molde 2 toda vez que um molde é trocado. Essa troca foi responsável por seis minutos e quarenta e um segundos. Demorou ainda mais do que o necessário por conta de um problema para movê-la. Inclusive demandou que o operador B utilizasse um martelo para consertar o problema. Esse desperdício pode ser eliminado se cada molde possuir sua própria barra ejetora no centro dele, sem necessitar que seja removida.

Outra atividade interna que pode ser transformada em externa é o parafusamento do suporte do anel de içamento no molde. Na situação atual apenas um anel é utilizado. Ele é primeiramente acoplado no molde 1, transporta o molde 1 para fora da máquina, é desacoplado do molde 1, acoplado no molde 2, transporta o molde 2 para a máquina, para, por fim, ser desacoplado do molde 2. Para simplificar a operação, pode-se utilizar da mesma ideia em relação a barra ejetora. Cada molde pode ter o seu suporte acoplado nele. Então, para qualquer transporte por anel de

içamento, basta prender o gancho no anel e não é necessário nenhum parafusamento do suporte do anel de içamento, eliminando tempo e variedade de ferramental.

Embora essa solução envolva a compra de novas barras ejetoras e suportes de anel de içamento, não extrapola gastos previstos com o projeto.

b) Configurações da máquina:

O operador A atualiza muitas configurações na máquina de acordo com o molde. O sistema pode salvar pacotes de configuração para determinado molde. Assim o operador só precisa selecionar o molde utilizado e as configurações são atualizadas automaticamente na máquina.

c) Marcas de localização:

Não há nenhuma referência para o acoplamento do molde. Isso requer que um operador qualificado (e melhor pago) gaste tempo tentando centralizar e colocar o molde na posição adequada. O uso de marcas de localização podem incluir anel central da plataforma colorido, orifício do molde colorido e centro do molde indicado no teto. Essas referências possibilitam a execução por um operador menos qualificado e com menor tempo de execução.

d) Organização:

No *changeover* observado o operador B ficou cinco minutos fora do posto em busca de uma ferramenta. É essencial que todas as peças e ferramental utilizado no *changeover* estejam previamente organizadas e separadas. Para isso os envolvidos podem implementar 5S.

e) Movimentação dos moldes:

Há apenas uma plataforma ao lado da máquina para apoiar o molde. Isso resulta em movimentação desnecessária, porque o molde 1 é primeiro colocado no chão ao lado da máquina, e depois que o molde 2 é colocado na máquina, o molde 1 é movido para a plataforma. Para evitar esse desperdício com movimentação são necessárias duas plataformas. Além disso, as

plataformas devem ficar no mesmo lado que o operador A se encontra. Na situação atual a plataforma se encontra do outro lado da máquina o que resulta em movimentação do operador A para conseguir enxergar para onde está movendo o gancho na ponte rolante.

3.4.3.3 Melhorias Propostas

Com as propostas de conversão de atividades internas em externas, o próximo passo é a melhoria de todo o processo.

E para um processo com muitos desperdícios, também há muitas oportunidades de melhoria. De acordo com a restrição de o projeto ser de baixo custo, foram propostas as seguintes melhorias:

a) Padronização das Funções Existentes – moldes e parafusos:

O primeiro passo deve ser a padronização das funções. Atualmente os envolvidos utilizam diferentes tamanhos de moldes, e diferentes tamanhos de parafusos e conexões de mangueira. Só o parafusamento e acoplamento dos moldes foi responsável por quinze minutos e vinte e seis segundos do *changeover*, ou seja, trinta por cento do tempo. Além da economia de tempo, a padronização das funções exige menos variedade de ferramental. Na situação atual o operador B passou quatro minutos e quarenta e sete segundos fora do posto em busca de uma ferramenta específica. Portanto os envolvidos devem padronizar o tamanho de moldes utilizando blocos de ajuste, e os parafusos devem ter o mesmo tamanho. Além disso, os parafusos devem ser funcionais e serem projetados para que a sua altura atenda à necessidade de apenas uma volta, eliminando as oito ou quinze voltas que os operadores dão para apertar os parafusos atuais.

Outra futura solução é o acoplamento do molde na plataforma de forma magnética, mas ela não foi proposta devido seu alto custo de investimento.

b) Acoplamento do sistema hidráulico:

Na situação atual o operador B gastou 9 minutos para conectar e desconectar mangueiras. A empresa possui uma máquina pneumática disponível que pode ser utilizada para essas conexões, reduzindo drasticamente o tempo exigido para tais conexões.

c) Parafuso do conector de segurança:

O conector de segurança é acoplado por dois parafusos, mas apenas um é necessário. O segundo parafuso pode ser eliminado.

d) Localização dos cabos e conexões:

Algumas conexões, a exemplo da conexão de calor, estão localizadas no topo do molde. Isso requer que o operador A suba no degrau da máquina e na esteira para alcançar as conexões. Para evitar essa movimentação desnecessária, todas as conexões devem ser localizadas nas laterais do molde, onde foi conferido que há espaço e é possível fazer essa mudança.

e) Sistema de purga:

A purga do sistema leva mais de cinco minutos. No mercado há sistemas mais eficientes que podem ser instalados na máquina.

f) Armazenamento dos moldes:

Mesmo que o armazenamento dos moldes já seja uma atividade externa, é importante que ela seja melhorada. Cada molde deve ter uma identificação, sua localização deve ser escolhida de acordo com a frequência de uso, e a posição deve ser registrada. Assim é possível gastar menos tempo identificando e localizando os moldes.

g) Número de operadores:

Na situação atual são necessários dois operadores, sendo um com melhor qualificação. Com as melhorias propostas será necessário apenas um operador de baixa qualificação.

h) Instrução de Operadores:

Na situação atual os operadores não estavam alinhados e instruídos. O novo processo deve ser devidamente documentado para que o operador seja instruído e execute o *changeover* da mesma maneira.

É importante que a empresa tenha pessoas responsáveis pela implementação e manutenção do processo e promovam melhoria contínua para que futuras mudanças venham a ser implementadas para melhorar ainda mais o *changeover*.

3.4.4 Mapeamento da Situação Futura

As melhorias propostas geraram um novo processo de *changeover* para a empresa. O mapeamento de fluxo de valor do estado futuro pode ser conferido no Apêndice C.

Os tempos do mapa foram estimados de acordo com experiências dos envolvidos e *benchmark* com outras empresas e trabalhos.

Nota-se que o mapa apresenta um fluxo mais simples e direto se comparado com o da situação atual.

No estado atual, o *changeover* demorou 52 minutos, sendo 19 de atividades que não agregam valor. Com a implementação das melhorias propostas a empresa pode executar o *changeover* em apenas 9'36 minutos. E o tempo de atividades que não agregam valor passa a ser noventa e nove segundos, ou seja, a proporção de tempo que não agrega valor em relação ao *lead time* passou de trinta e seis por cento para apenas dezessete por cento.

Espera-se que as melhorias sejam implementadas no próximo ano. O tempo de *changeover* pode ser cada vez mais reduzido e o processo aprimorado utilizando as técnicas propostas e maior investimento.

3.5 RESULTADOS

O projeto utilizou os conceitos de Produção Enxuta, Mapeamento do Fluxo de Valor, e Troca Rápida de Ferramenta trabalhados na Revisão Bibliográfica.

O desenvolvimento do projeto confirma o sucesso da utilização das metodologias propostas e a flexibilidade das mesmas, pois podem sofrer pequenas alterações.

Espera-se que o projeto seja implementado na empresa no próximo ano. Após a implementação, o *changeover* terá passado de cinquenta e dois minutos para apenas nove.

As melhorias propostas e a simulação apresentadas no mapa do estado futuro confirmam que o projeto alcançou seu objetivo inicial.

Espera-se que os envolvidos da empresa se engajem na implementação do projeto e futuramente promovam a mentalidade *lean* e conceitos utilizados no projeto para todas as áreas da empresa. Assim os colaboradores e a empresa poderão usufruir dos benefícios de uma empresa enxuta, da melhoria contínua e troca rápida de ferramentas.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente trabalho teve o objetivo geral de pesquisar sobre os temas de Produção Enxuta, Mapeamento do Fluxo de Valor, e Troca Rápida de Ferramentas. Esses conceitos foram aplicados em um projeto da Swansea University para uma empresa automotiva do grupo Nissan localizada no Reino Unido. O objetivo específico do projeto foi diminuir o tempo de *changeover* de uma máquina de injeção de plástico.

Como apresentado em Resultados, os objetivos do projeto foram alcançados. Porém cabe ressaltar que o projeto abordou um problema pontual com uma solução pontual. Para que a empresa desenvolva uma cultura de melhoria contínua, produção enxuta e troca rápida de ferramenta, é importante que sejam feitas mudanças estruturais na companhia. O estímulo teria que começar de “cima para baixo” e abranger todas as áreas da empresa. Assim as operações se alinhariam com a estratégia e todos se envolveriam na causa.

Pode-se concluir que, se implementado corretamente, o projeto pode ter sucesso. E para promover uma nova cultura na companhia é necessário tomar atitudes mais estratégicas e estruturais com o apoio da alta gerência.

5 BIBLIOGRAFIA

DENNIS, P. Lean Production Simplified. Productivity Press: New York, 2007.

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

JAMES-MOORE, S. M. & GIBBONS, A. (1997). Is Lean Manufacture Universally Relevant? An investigative methodology. International Journal of Operations and Production Management. V. 17, no9, p. 899-911.

KANNENBERG G. Proposta de Sistemática para Implantação de Troca Rápida de Ferramentas, 1994.

LEAN INSTITUTE BRASIL. Os Cinco Princípios. Disponível em <<http://www.lean.org.br/5-principios.aspx>> Acesso em: 10 out. 2015.

LEAN PRODUCTION. SMED – Single Minute Exchange of Dies. Disponível em <<http://www.leanproduction.com/smed.html>> Acesso em 15 out. 2015.

MOREIRA, M. P. Times de Trabalho em Ambientes de Manufatura Enxuta: Processo e Aprendizado. Dissertação (Mestrado) - Campinas, Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual de Campinas, 2004.

ROTHER, M.; SHOOK, J. Aprendendo a Enxergar: Mapeando o fluxo de valor para agregar valor e eliminar desperdícios. Lean Enterprise Institute, 2003.

SHINGO, S.A. A Revolution in Manufacturing, 1st ed. Cambridge, Mass.: Productivity Press; 1985.

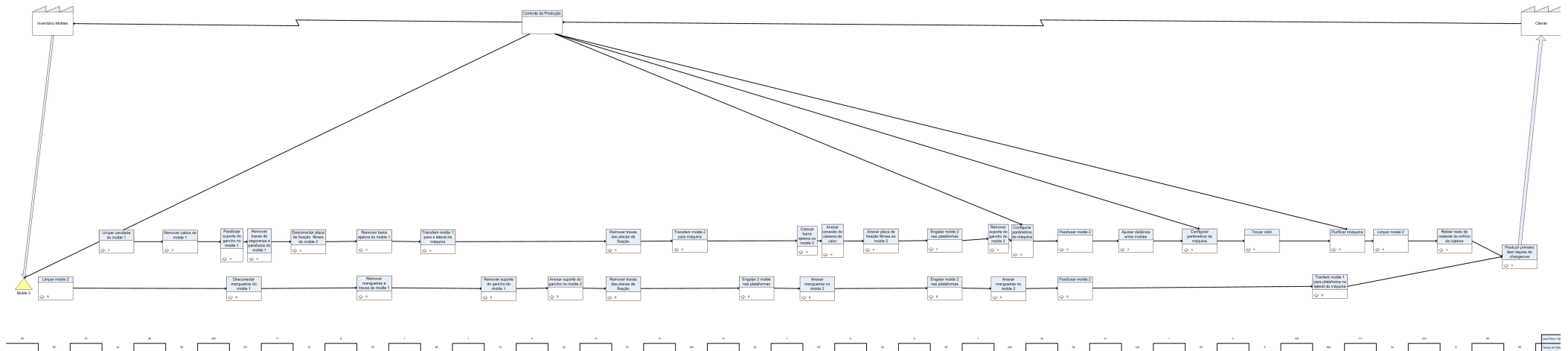
SLACK, N. Vantagem Competitiva em Manufatura: Atingindo competitividade nas operações industriais. São Paulo: Atlas, 1993.

SLACK, N.; CHAMBERS, S.; JOHNSTON, R. Administração da Produção 2a Edição. 7a Reimpressão: 2007. São Paulo: Atlas, 1997.

WOMACK, J. P.; JONES, D. T.; ROSS, D. A Máquina que Mudou o Mundo. Rio de Janeiro: Elsevier, 2004.

WOMACK, J.P.; JONES, D.T. Enxergando o Todo. Lean Institute Brasil. São Paulo, 2004.

APÊNDICE A



APÊNDICE B

Opera- ção	Tempo (seg)	Atividade Operador A	Interna/Externa	Atividade Operador B	Interna/Externa
1	13			Limpar molde 2	Interna
2	15	Posicionar robô na posição inicial	Externa		
3	10	Abrir molde 1	Interna		
4	3	Abrir porta	Interna	Abrir porta	Interna
5	24	Limpar molde 1	Interna	Desconectar mangueiras	Interna
6	10	Retirar última peça manualmente	Interna	Fechar porta	Externa
7	17	Fechar molde 1	Interna		
8	3	Abrir porta	Interna		
9	287			Buscar ferramenta para remover barra ejetora	Externa
10	35	Consertar problema com barra injetora no molde 1	Externa		
11	59	Remover cabos do molde 1	Interna	Consertar problema na barra ejetora	Externa
12	15	Trocar robô	Externa		
13	3	Fechar porta	Externa		
14	6	Abrir molde 1	Externa		
15	3	Abrir porta	Externa		
16	3	Fechar molde 1 até metade	Externa		
17	3			Abrir porta	Externa
18	46			Ajustar alinhamento do molde 1	Externa
19	3			Fechar porta	Externa
20	3	Abrir porta	Externa		

Opera- ção	Tempo (seg)	Atividade Operador A	Interna/Externa	Atividade Operador B	Interna/Externa
21	3	Fechar porta	Externa		
22	46	Configurar distância entre os moldes 1	Externa		
23	3				
24	3	Abrir porta	Externa		
25	3	Fechar porta	Externa		
26	30	Conversa para alinhamento	Externa	Conversa para alinhamento	Externa
27	3	Fechar molde	Interna		
28	3	Abrir porta	Interna	Abrir porta	Interna
29	20	Mover gancho até molde 1	Externa	Desconectar mangueiras	Interna
30	55	Anexar suporte do anel de içamento no molde 1	Externa		
31	30	Organizar ferramentas	Externa		
32	62	Remover parafusos de segurança e engates do molde 1	Interna		
33	3	Fechar porta	Interna	Fechar porta	Interna
34	16	Desconectar placa de fixação fêmea do molde 1	Interna		
35	3	Abrir porta	Interna	Abrir porta	Interna
36	167	Remover barra ejetora	Externa	Remover mangueiras e clutches	Interna
37		Remover engates	Interna		Interna
38	96	Mover molde 1 para fora da máquina	Interna		
39	15			Remover suporte do anel de içamento e gancho do molde 1	Externa

Opera- ção	Tempo (seg)	Atividade Operador A	Interna/Externa	Atividade Operador B	Interna/Externa
40	22			Prender suporte do anel de içamento e gancho no molde 2	Externa
41	67	Remover engates das plataformas	Interna	Remover engates das plataformas	Interna
42	100	Mover molde 2 para máquina	Interna	Ajudar a mover molde 2 para máquina	Interna
43	30	Ajustar posição do molde	Externa	Acoplar molde fixo na plataforma	Interna
44	168	Acoplar molde fixo na plataforma	Interna	Anexar mangueiras no molde 2	Interna
45		Colocar barra ejetora no molde 2	Externa		
46		Anexar heat plug ao molde 2	Interna		
47	3	Fechar porta	Interna	Fechar porta	Interna
48	26	Fechar plataforma e conectá-la ao molde 2	Interna		
49	3	Abrir porta	Interna	Abrir porta	Interna
50	95	Acoplar molde 2 na plataforma	Interna	Fixar molde 2 na plataforma	Interna
51	269	Retirar suporte do anel de içamento do molde 2	Externa	Anexar mangueiras no molde 2	Interna
52					
53		Configurar parâmetros de temperatura	Externa		
54					
55	3	Fechar porta	Interna	Fechar porta	Interna
56	4	Abrir molde 2	Interna		
57	3	Abrir porta	Interna	Abrir porta	Interna

Opera- ção	Tempo (seg)	Atividade Operador A	Interna/Externa	Atividade Operador B	Interna/Externa		
58	72	Parafusar e fixar	Interna	Parafusar e fixar	Interna		
59							
60	3	Fechar porta	Interna	Fechar porta	Interna		
61	142	Ajustar distância dos moldes 2	Externa				
62	55	Configurar parâmetros da máquina	Externa	Mover molde 1 para plataforma na lateral da máquina	Externa		
63	318	Purgar máquina/organizar ferramentas	Interna				
64							
65							
66	3	Abrir porta	Interna				
67	34	Limpar molde 2	Interna				
68	106	Ajustar distância dos moldes 2	Externa				
69	98	Queimar resto de material no orifício da injeção	Interna				
70	3	Fechar porta	Interna				
71	65	Produzir primeira peça	Interna				
72	3	Abrir porta	Interna				
73	4	Retirar primeira peça manualmente e colocá-la na esteira	Interna				

APÊNDICE C

