



**REDUÇÃO DO TEMPO DE *SETUP* DO PROCESSO DE AQUECIMENTO DE
MOLDES DE FUNDIÇÃO DE BAIXA PRESSÃO COM UTILIZAÇÃO DE
RESISTÊNCIA TUBULAR**

Elton de Jesus Thomaz

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Processos – Mestrado Profissionalizante, PPGEP/ITEC, da Universidade Federal do Pará, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Engenharia de Processos.

Orientador: Tirso Lorenzo Reyes Carvajal

Belém

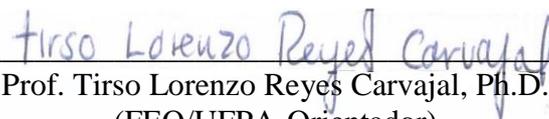
Dezembro de 2016

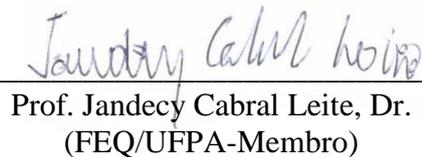
**REDUÇÃO DO TEMPO DE *SETUP* DO PROCESSO DE AQUECIMENTO DE
MOLDES DE FUNDIÇÃO DE BAIXA PRESSÃO COM UTILIZAÇÃO DE
RESISTÊNCIA TUBULAR**

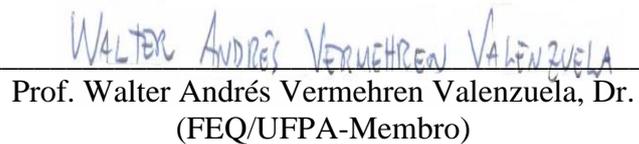
Elton de Jesus Thomaz

DISSERTAÇÃO SUBMETIDA AO CORPO DOCENTE DO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA PROCESSOS – MESTRADO PROFISSIONALIZANTE (PPGEP/ITEC) DA UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ COMO PARTE DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE MESTRE EM ENGENHARIA DE PROCESSOS.

Examinada por:


Prof. Tirso Lorenzo Reyes Carvajal, Ph.D.
(FEQ/UFPA-Orientador)


Prof. Jandecy Cabral Leite, Dr.
(FEQ/UFPA-Membro)


Prof. Walter Andrés Vermehren Valenzuela, Dr.
(FEQ/UFPA-Membro)

BLÉM, PA - BRASIL

DEZEMBRO DE 2016

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

Thomaz, Elton de Jesus, 1982-

Redução do tempo de setup do processo de aquecimento de moldes de fundição de baixa pressão com utilização de resistência tubular/ Elton de Jesus Thomaz - 2016.

Orientador: Tirso Lorenzo Reyes Carvajal

Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Pará. Instituto de Tecnologia. Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Processos, 2016

1. Troca Rápida de Ferramenta 2. Moldes 3. Aquecimento
I. Título

CDD 22.ed. 660.28

Este trabalho é dedicado aos amigos e colegas que sempre apoiaram, incentivaram e de alguma forma contribuíram para a elaboração do mesmo. Em particular a minha mãe, pelo incentivo e apoio de sempre.

AGRADECIMENTOS

Ao amigo Professor Tirso Lorenzo Reyes Carvajal pela orientação, incentivo e ajuda na elaboração e composição do trabalho.

À colega de profissão e amiga Déborah Pessoa pelo apoio, inspiração, incentivo e colaboração para o trabalho.

Aos colegas do PPGEF DA Universidade Federal do Pará (UFPA) pelo incentivo e colaboração.

Ao ITEGAM, por acreditar no potencial dos mestrandos deste curso.

Aos técnicos da Debyon da Amazônia Ltda. pela dedicação e ajuda nos experimentos.

Aos alunos de Trabalho de Conclusão de Mestrado Profissionalizante em Engenharia de Processos com área de concentração em Processos Industriais, que de alguma forma contribuíram com informações e dados para a elaboração do trabalho.

Resumo da Dissertação apresentada ao PPGEP/UFPA como parte dos requisitos necessários para a obtenção do grau de Mestre em Engenharia de Processos (M.Eng.)

**REDUÇÃO DO TEMPO DE *SETUP* DO PROCESSO DE AQUECIMENTO DE
MOLDES DE FUNDIÇÃO DE BAIXA PRESSÃO COM UTILIZAÇÃO DE
RESISTÊNCIA TUBULAR**

Elton de Jesus Thomaz

Dezembro/2016

Orientador: Tirso Lorenzo Reyes Carvajal

Área de Concentração: Engenharia de Processos

A necessidade de manter competitividade num mercado tão dinâmico e exigente tem obrigado muitos gestores a buscar ferramentas e métodos que possam agregar valor à marca e que elimine os desperdícios. O objetivo do dissertação é implementar conjunto de atividades que reduzam o tempo de setup do processo de aquecimento de moldes na fundição de baixa pressão de uma conceituada empresa do setor de duas rodas do Pólo Industrial de Manaus. Como metodologia para realização deste trabalho, utilizou o estudo de caso. Os resultados foram a redução do tempo de *setup*, a eliminação do risco de exposição do operador à alta chama de fogo, a melhoria da qualidade do produto, a redução do tempo de máquina parada em setup e a redução de custos operacionais na fração de milhões/ano. A relevância está pautada na implementação das mesmas atividades que este estudo elenca em outros processos fabris que envolvem o aquecimento de moldes para fundições em geral.

Abstract of Dissertation presented to PPGE/UFPA as a partial fulfillment of the requirements for the degree of Master in Process Engineering (M.Eng.)

**REDUCING THE SETUP TIME OF THE LOW PRESSURE MOLDING
HEATING PROCESS FOR THE USE OF TUBULAR RESISTANCE**

Elton de Jesus Thomaz

December/2016

Advisor: Tirso Lorenzo Reyes Carvajal

Research Area: Process Engineering

The need to remain competitive in such a dynamic and demanding market has forced many managers to seek tools and methods that can add value to the brand and eliminate waste. The objective of the dissertation is to implement a set of activities that reduce the setup time of the mold heating process in the low pressure casting of a well-known company of the two-wheeler sector of the Industrial Pole of Manaus. As a methodology for carrying out this work, the case study was used. The results were the reduction of *setup* time, the elimination of the risk of operator exposure to the high flame of fire, improvement of product quality, reduction of machine downtime in setup and reduction of operating costs in the fraction of millions/year. The relevance is based on the implementation of the same activities that this study covers in other manufacturing processes that involve the heating of molds for foundries in general.

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1 - INTRODUÇÃO.....	1
1.1 - JUSTIFICATIVA.....	2
1.2 - OBJETIVOS.....	3
1.2.1 - Geral.....	3
1.2.2 - Específicos.....	3
1.3 - ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO.....	3
CAPÍTULO 2 - REVISÃO DA LITERATURA.....	5
2.1 - SISTEMA TOYOTA DE PRODUÇÃO (STP).....	5
2.2 - KAIZEN.....	6
2.3 - SETUP.....	6
2.4 - O SISTEMA TROCA RÁPIDA DE FERRAMENTA (TRF).....	7
2.5 - O PROCESSO DE FUNDIÇÃO.....	8
2.6 - FLUXO DO PROCESSO DE FUNDIÇÃO POR BAIXA PRESSÃO.....	8
2.6.1 - Recebimento da Matéria Prima: Alumínio Líquido.....	9
2.6.2 - Fabricação do Cabeçote.....	10
2.6.3 - Serragem do Canal de Alimentação.....	11
2.6.4 - Desmoldagem de Macho de Areia.....	12
2.6.5 - Rebarbação.....	13
2.6.6 - Tratamento Térmico.....	13
2.6.7 - Jateamento.....	14
2.7 - PREPARAÇÃO PARA O PROCESSO DE FUNDIÇÃO.....	15
2.8 - PEÇAS DE PREPARO.....	16
2.8.1 - Produção de Peças de Preparo: A Segunda Fase do Aquecimento do Molde.....	16
CAPÍTULO 3 - MATERIAIS E MÉTODOS.....	20
3.1 - IDENTIFICAÇÃO DO PROBLEMA.....	20
3.2 - EXPLORAÇÃO PRELIMINAR DA SITUAÇÃO ATUAL.....	21
3.3 - PESQUISA DE TIPOS DE AQUECEDORES.....	23
3.4 - PROPOSTAS DE MELHORIAS AO PROCESSO DE AQUECIMENTO DE MOLDES.....	23
3.4.1 - As Etapas da Ferramenta QCDMSE.....	23
3.4.2 - Implementar resistência dentro de uma caixa metálica.....	24
3.4.3 - Instalação de manta térmica nas superfícies do molde.....	25
3.4.4 - Desenvolver aquecedor com a resistência elétrica em aço inox.....	25
3.5 - TESTES E AJUSTES ÀS ESPECIFICIDADES DO PROJETO.....	26

CAPÍTULO 4 - ESTUDO DE CASO.....	27
4.1 - ANÁLISE DA SITUAÇÃO ATUAL.....	29
4.2 - ANÁLISE DO AQUECIMENTO DO MOLDE.....	31
4.3 - ESTUDO DE AQUECEDORES.....	35
4.4 - IMPLEMENTAÇÃO.....	37
CAPÍTULO 5 - RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	40
5.1 - ENXUGAMENTO E MELHORIAS GERAIS AO PROCESSO.....	40
5.2 - COMPETÊNCIAS E EXPERIÊNCIAS COMPARTILHADAS.....	41
5.3 - INFLUÊNCIAS AO PROCESSO.....	42
5.4 - MELHORIA NO AQUECIMENTO DO MOLDE.....	43
5.5 - CONCLUSÃO DO CAPÍTULO.....	44
CAPÍTULO 6 - CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES.....	45
6.1 - CONCLUSÕES.....	45
6.2 - RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	46
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	47

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1	Recebimento de alumínio líquido.....	9
Figura 2.2	Fabricação de cabeçotes do motor	10
Figura 2.3	Serragem do canal de alimentação.	11
Figura 2.4	Desmoldagem de cabeçote.....	12
Figura 2.5	Processo de acabamento.....	13
Figura 2.6	Tratamento térmico.....	14
Figura 2.7	Jateamento do cabeçote.....	15
Figura 2.8	Preparação de fabricação de cabeçotes do motor.....	15
Figura 2.9	Aquecimento do molde.....	17
Figura 2.10	Injeção de peças de preparo.....	18
Figura 2.11	Molde com temperatura padrão.....	19
Figura 3.1	Maiores problemas de cabeçotes do motor.....	21
Figura 3.2	Preparação de processo para início de produção.....	22
Figura 3.3	Relação temperatura x tempo no processo de aquecimento de molde....	22
Figura 3.4	Proposta de resistência interna.....	24
Figura 3.5	Proposta de inserção de manta térmica.....	25
Figura 3.6	Proposta de desenvolver aquecedor com resistência elétrica.....	26
Figura 4.1	Componentes do motor de motocicleta.....	28
Figura 4.2	Cabeçote do motor de motocicletas.....	29
Figura 4.3	Máquina de fundição por baixa pressão.....	30
Figura 4.4	Aumento da temperatura em função do tempo.....	31
Figura 4.5	Aquecedor tipo maçarico.....	33
Figura 4.6	Ignição do aquecedor tipo maçarico.....	34
Figura 4.7	Molde em aquecimento via maçarico.....	34
Figura 4.8	Tipos e flexibilidade da resistência tubular.....	35
Figura 4.9	Configuração da resistência tubular.....	36
Figura 4.10	Aquecedor industrial via resistência tubular elétrica.....	36
Figura 4.11	Aquecedor tipo resistência tubular.....	37
Figura 4.12	Resistência tubular em operação.....	38
Figura 4.13	Progressão da temperatura utilizando resistência tubular.....	38

Figura 5.1	Tinta refratária danificada.....	40
Figura 5.2	Comparação de aquecimento dos dois dispositivos em função do tempo.....	42
Figura 5.3	Comparação do tempo de aquecimento do molde.....	43
Figura 5.4	Diferença de temperatura entre as cavidades do molde com maçarico...	43
Figura 5.5	Alcance da temperatura padrão entre as cavidades do molde com resistência tubular.....	44

LISTA DE TABELAS

Tabela 4.1	Temperatura no processo de aquecimento de molde com maçarico.....	32
Tabela 4.2	Temperatura no processo de aquecimento de molde com resistência tubular.....	39
Tabela 5.1	Atividades e responsabilidades para cada fase da implementação.....	41

CAPÍTULO 1

INTRODUÇÃO

Imbuídas em um mercado extremamente competitivo, as organizações tem buscado diversas alternativas para ascender ou manter seus negócios. Atualmente, esta competição não se limita somente em expandir seus negócios, mas em não perder força da marca perante a concorrência. Muitas empresas adotam abordagens e iniciativas estratégicas na tentativa de manter ou construir vantagem competitiva (YUSR *et al.*, 2012). De forma geral, é evidente o interesse na melhoria da qualidade em processos e produtos, eficiência na produção e na entrega sem aumentar os custos de fabricação. Para atender às solicitações dos clientes, as empresas investem em técnicas, métodos e ferramentas que visam à melhoria nos seus sistemas produtivos, possibilitando a melhoria de atividades e eliminando o que não agrega valor ao produto final.

Devido ao avanço tecnológico, globalização e políticas nacionais protecionistas, o mercado se torna cada vez mais exigente frente às organizações que se lançam às operações fabris ou comerciais. Diante disso, surge a necessidade da busca constante de melhores práticas para solucionar os problemas e se obter vantagens competitivas, com baixo custo gerando resultados satisfatórios para a empresa (IMAI, 1994).

A necessidade de racionalização da gestão de recursos produtivos há tempos vem se destacando como tônica à competitividade corporativa, possibilitando resultados mais eficientes às necessidades e demandas do mercado. São realizados exaustivos estudos sobre o processo produtivo a fim de elencar as atividades que o tornem ineficiente ou inviável economicamente.

Esse enxugamento de processo tem sido largamente difundido no Sistema Toyota de Produção, em que, devido às novas exigências do mercado, a produção tem sido caracterizada em fabricar bens de consumo de acordo com a demanda e não mais em massa. Baseado no tempo inoperante de máquina parada que se torna um prejuízo às operações fabris de determinadas empresas, este conceito é o de produção puxada ou produção sem prejuízo.

Frente ao ensejo de organizações em alcançar processos mais eficientes, a relevância deste estudo está no atendimento ao preceito de Mentalidade Enxuta, que de acordo com CHENG e CHANG (2012), o uso conjunto do Lean Manufacturing com o Seis Sigma pode melhorar a qualidade, reduzir a variância e eliminar os desperdícios.

Este estudo prova sua relevância quando denota a sua contribuição em processos mais efetivos que para VALLE (2010), a efetividade está atrelada ao conceito de efetivar, de tornar real, pois mensura a capacidade de produzir soluções para os problemas identificados com possibilidade de gerar resultados concretos para a organização.

Discorrendo este estudo, verifica-se a necessidade de desenvolvimento de novo ferramental ou de inovação tecnológica que pode ser definida por diferentes perspectivas, como a criação de novas ideias, a adoção de um novo produto, serviço, processo, tecnologia, política, estrutura ou sistema administrativo (ELFRING e HULSING, 2007).

1.1 - JUSTIFICATIVA

Em meio a mudanças tão dinâmicas no atual mercado de trabalho, as empresas de todos os ramos devem se condicionar a tornar os processos menos complexos, aperfeiçoar o conhecimento técnico da força de trabalho e buscar insumos mais eficientes (melhor custo benefício) a alimentar aos mais diversos tipos de atividades empresariais. Trata-se de tornar os processos mais efetivos, ou seja, primando a qualidade (eficácia) e a forma correta de fazer as coisas (eficiência).

Eficácia é uma medida normativa do alcance dos resultados, enquanto eficiência é uma medida normativa da utilização dos recursos nesse processo. (...) A eficiência é uma relação entre custos e benefícios. Assim, a eficiência está voltada para a melhor maneira pela qual as coisas devem ser feitas ou executadas (métodos), a fim de que os recursos sejam aplicados da forma mais racional possível (...) (CHIAVENATO, 1994).

Avaliando o fluxo do processo de fundição de cabeçotes do motor de motocicletas, constatou-se que apesar de todo aparato tecnológico e frente as mais diversas metodologias aplicadas a este processo, ainda se verifica que alguns sub-processos requerem estudos mais minuciosos como é o caso do aquecimento de molde de cabeçotes do motor. Trata-se de um processo com técnicas ainda rudimentares e passíveis de aplicação de ferramentas modernas a fim de melhorar o processo como um todo e assim reduzir o tempo de troca de molde.

Sabe-se que num processo produtivo em que certas organizações têm um quantitativo de produtos diversificados no intuito de atender as mais variadas demandas, estas organizações investem em tecnologias e metodologias de programação e

planejamento de produção (técnicas de PCP) visando sempre aumentar a eficiência do atendimento ao plano de produção e diminuindo o tempo de inoperância do processo, inclusive quando a máquina paralisa sua atividade para a realização de troca de molde.

Por isso, o presente estudo justifica-se pela necessidade de reduzir do tempo de setup do processo de aquecimento de moldes utilizados em fundição de baixa pressão podendo levar à melhoria do processo como um todo.

1.2 - OBJETIVOS

1.2.1 - Geral

Melhorar processo de troca de moldes da fundição de baixa pressão com utilização de ferramenta mais eficiente no processo de aquecimento de molde.

1.2.2 - Específicos

- Reduzir tempo utilizado para o aquecimento de moldes;
- Controlar o risco de condição insegura para o processo de aquecimento de moldes;
- Elevar índice de qualidade das peças produzidas no processo de fundição de baixa pressão;
- Aumentar a vida útil do molde de cabeçotes do motor de motocicletas;
- Diminuir custos do processo de fabricação de cabeçotes do motor de motocicletas.

1.3 - ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO

No presente capítulo buscou-se enfatizar as motivações e objetivos que levaram ao estudo da melhoria no processo de aquecimento de moldes, bem como os objetivos pretendidos no presente trabalho.

O Capítulo 2 apresenta uma revisão da literatura e o estudo acerca do Sistema Toyota de Produção, Kaizen, setup e Troca Rápida de Ferramentas. Também é apresentada uma abordagem do processo e fundição e seu fluxo de processo para o

modelo de baixa pressão. Enfatiza-se ainda, uma abordagem sobre especificações de preparação de máquinas de fundição de baixa pressão e toda a sua complexidade.

O Capítulo 3 trata dos materiais e das metodologias experimentais utilizadas para a consecução e implementação de resistência tubular no processo de aquecimento de moldes metálicos.

No Capítulo 4 foi explanada a análise da situação atual em que se detectou o gargalo do processo estudado, suas especificidades e causas dos atrasos logísticos nos processos.

As análises dos resultados e suas discussões são apresentadas no Capítulo 5 no que diz respeito a elencar a influência da implementação da resistência tubular no processo de aquecimento de molde ao estado em que se encontrava anteriormente e assim mensurar as melhorias alcançadas.

Finalmente, no Capítulo 6 são apresentadas as principais conclusões e sugestões para a continuação do trabalho em etapas posteriores.

CAPÍTULO 2

REVISÃO DA LITERATURA

2.1 - SISTEMA TOYOTA DE PRODUÇÃO (STP)

A ideia de Produção Enxuta tem permeado as reuniões de negócios organizacionais. Análises sobre perdas de produção têm sido bastante acaloradas no sentido de racionalizar os processos. O STP dispõe de uma abordagem contemporânea, almejando a melhoria de processos. A filosofia do STP foi desenvolvida nas fábricas da Toyota e hoje permeiam os conceitos da produção enxuta nas indústrias (PERGHER *et al.*, 2011). O STP identifica sete tipos de perdas principais, como seguem: perdas por superprodução, perdas por transporte, perdas por processamento em si, perdas por fabricar produtos defeituosos, perdas por espera, perdas no movimento e perdas por estoque (PERGHER *et al.*, 2011).

Atualmente, as organizações visam não somente expandir suas operações, mas mantê-las. Dentre as diversas ações tomadas para tal objetivo, figura as tratativas a fim de evitar os desperdícios e assim, manter a filosofia de Mentalidade Enxuta.

Para ANTUNES *et al.* (2008) o objetivo mais importante do Sistema Toyota de Produção é aumentar a eficiência da produção pela eliminação consistente e completa dos desperdícios.

Sendo assim, o STP busca a potencial eliminação do desperdício produzindo vários produtos em pequenas quantidades. Em meio às constantes mudanças no mercado e exigência por competitividade, as organizações buscam, dentre outras tratativas, a inovação tecnológica como meio de se manter.

Um produto simples pode ser aprimorado em termos de melhor desempenho ou menor custo através de componentes ou materiais, a inovação tecnológica de processo é a adoção de métodos de produção, novos ou significativamente melhorados, tais métodos podem envolver mudanças no equipamento ou na organização da produção, ou uma combinação dessas mudanças, que podem derivar do uso de um novo equipamento (CORAL *et al.*, 2013).

Nesse ínterim, o desenvolvimento de novas ferramentas ganhou atenção especial por parte dos detentores da competência estratégica de muitas organizações.

2.2 - KAIZEN

Além do uso da metodologia STP, se faz necessário o envolvimento/comprometimento de todos. Neste sentido, o *Kaizen* figura como atividades desempenhadas a fim de alcançar a melhoria contínua nos diversos processos da organização apesar de não ser unanimidade em alguns lugares, como no Japão (SUÁREZ-BARRAZA e MIGUEL-DÁVILA, 2011). Assim, se faz necessário a utilização de metodologia complementar como a utilização da ferramenta PDCA.

O giro do ciclo PDCA envolve a identificação de necessidades de melhoria, a análise coletiva dos problemas, soluções de testes no local de trabalho em conjunto com os operadores, padronização do processo melhorado, e continuamente verificar o novo padrão para propor novas oportunidades de melhoria (WATANABE, 2011; AUDENINO, 2012).

Empresas do mundo todo têm usado este modelo de gestão em seus processos, na busca pela melhoria na qualidade de seus produtos e serviços, visando atender às necessidades dos clientes, reduzindo o tempo e os custos das operações, e, desta forma, obtendo o lucro almejado (ASSUNÇÃO, MOURARIA, *et al.*, 2012).

KAIZEN significa melhoria contínua envolvendo todas as pessoas da empresa, dos diretores aos operários (IMAI, 1992). Assim, deve-se investir no capital humano, não só em equipamentos, o que demanda esforço e compromisso contínuos, gerando comprometimento com a aprendizagem (SCHÜNZEN JUNIOR, 2003).

2.3 - SETUP

Todo processo produtivo necessita de tempo de preparação para sua realização, seja em processos simplórios como é o caso de uma simples troca de lâmpada, em que devemos verificar questões como a que altura a lâmpada deverá ser trocada, que tipo de escada seria mais apropriada, qual a especificação técnica da lâmpada a ser trocada (amperagem, potência, voltagem), todas as condições de segurança, equipamentos de proteção individual, em que sequência lógica estas atividades devem ser executadas, bem como em processos ainda os mais complexos dos mais variados ramos globais.

Setup é tudo que antecede a uma operação, seja para sua preparação, regulagem, troca de ferramenta, dispositivos e outros (SHINGO, 2000).

Para KANNENBERG (1994), *setup* é o intervalo de tempo compreendido entre a fabricação da última peça boa do lote anterior e a primeira peça boa do próximo lote, ou seja, é o tempo necessário para preparar os operadores e os equipamentos para a fabricação de outro produto pertencente à lista total de produção (FOGLIATO e FAGUNDES, 2003).

O *setup* não agrega valor ao produto, por isso seu tempo ideal de execução deve tender a zero.

Nesse ínterim, os setores de planejamento de produção buscavam programar o menor número de troca de ferramentas (matrizes ou moldes) na cadeia produtiva para evitar os desperdícios, no entanto, a diversidade da demanda do cliente levou à programação de fabricação de vários lotes de pequenas quantidades de itens diversificados.

Na ideologia de fabricar produtos diversos para atendimento de pedidos futuros, gerou - se a problemática do alto custo de estocagem de produtos.

SANTOS (2006) afirma que a estratégia baseada em grandes lotes dita que quanto maior o tamanho do lote, menor será o impacto do tempo do setup no custo unitário de produção.

2.4 - O SISTEMA TROCA RÁPIDA DE FERRAMENTA (TRF)

O vislumbre de produção enxuta proposta pelo STP tem exigido bastante atenção por parte das organizações. Produzir mais com o recurso suficiente evitando os desperdícios desnecessários, reduzido os custos tem sido a tônica no STP.

Em se falando de STP, uma das ferramentas que renovou o assunto sobre os processos fabris e que figura como destaque na busca da competitividade é a Troca Rápida de Ferramentas (TRF) ou *Single Minute Exchange of Die* (SMED) (KARASU *et al.*,2014). Apresentado como um dos principais elementos na implementação da produção enxuta, o sistema TRF (desenvolvido por Shigeo Shingo) considera que todo o processo de *setup* deve ser o mais célere possível. O conceito de TRF levou 19 anos para ser desenvolvido baseado na redução do tempo de setup, podendo ser aplicado em qualquer fábrica e em qualquer máquina (SHINGO, 1996; ULUTAS, 2011).

O sistema TRF possibilita a eficiência da realização de *setup* (redução do tempo de preparação), viabilizando a produção de pequenos lotes permitindo maior flexibilidade à introdução de alterações na estrutura dos produtos e respostas mais

rápidas às dinâmicas mudanças do mercado (SINGH e KHANDUJA, 2010; SAURIN e FERREIRA, 2009; CONCEIÇÃO *et al.*, 2009).

O sistema TRF flexibiliza o processo produtivo, diminuindo custos para pequenos lotes e padronizando operações (ULUTAS, 2011).

2.5 - O PROCESSO DE FUNDIÇÃO

Os processos de fundição consistem em fabricar moldes, preparar e fundir metais, vaziar o metal dentro do molde, limpar as peças fundidas e recuperar a areia para reutilização. O produto da fundição é uma peça que pode variar consideravelmente em peso, como também em composição, isto é, diferentes metais devem ser fundidos (RESENDE, 1992). O processo por pressão consiste em preencher o molde e solidificar a peça a se produzir com a utilização de equipamento onde se utiliza sua força para comprimir a matéria prima no interior do molde.

O molde é o negativo da peça a ser produzida. Normalmente é metálico e fabricado em aço para trabalhos a altas temperaturas, porém deve possuir toda a estrutura para as trocas de calor com o meio externo a fim de evitar os fenômenos de má qualidade na peça. Geralmente o produto sai do molde a uma temperatura mais alta que o molde. A troca de calor ocorre entre o molde e o material fundido, causando constante aumento da temperatura até sua estabilização (SACCHELLI; CARDOSO, 2013).

2.6 - FLUXO DO PROCESSO DE FUNDIÇÃO POR BAIXA PRESSÃO

Conforme mencionado Item 2.5, o processo de fundição segue um fluxo de etapas que devem ser realizadas sequencialmente onde cada fase depende da anterior. A depender do tipo de fundição (por pressão, gravidade, etc.), a complexidade das etapas se perfaz as características peculiares de cada processo.

Para o processo em questão (o de baixa pressão), deve se elencar os seguintes insumos para a fabricação de cabeçotes do motor de motocicletas:

- Máquina de fundição de baixa pressão;
- Liga de alumínio;
- Molde;
- Macho de areia;

- Ferramentas auxiliares (alicate, serras e equipamentos de proteção individual);
- Operador qualificado;
- Equipe de troca de molde.

O fluxo do processo segue seu fluxo conforme será demonstrado nos próximos tópicos.

2.6.1 - Recebimento da Matéria-Prima: Alumínio Líquido

Para a fabricação de cabeçotes do motor, a matéria prima utilizada é a liga de alumínio líquido por sua característica de alta resistência mecânica pelo fato de a estrutura atômica dos metais ser mais rígida.

Esta liga é utilizada em estado líquido pois só assim haverá o preenchimento das cavidades do molde.

Este insumo também pode ser adquirido em estado sólido (em lingotes) onde os mesmos sofrem processo de fusão via forno fusor nas organizações fabris. A Figura 2.1 ilustra o recebimento da liga de alumínio líquido no forno fusor da empresa objeto do estudo.



Figura 2.1 - Recebimento de alumínio líquido.
Fonte: ELTON THOMAZ (2006).

A Figura 2.1 ilustra o recebimento da liga de alumínio líquido, onde tal insumo vem acondicionado em um recipiente hermeticamente fechado garantindo as

propriedades físico-químicas da liga. Ao chegar na organização fabril, este material é transferido a um forno fusor onde manterá as propriedades da liga para início de produção.

Em se tratando da liga utilizada, para fabricação de cabeçotes do motor deve conter, além do alumínio (cerca de 85% da liga); magnésio, ferro e manganês, para aumento da resistência mecânica; cobre, para atenuar a usinabilidade da peça; e silício, para aumentar a resistência à corrosão. Esta liga de alumínio fundido é adquirida por fornecedor externo à empresa objeto deste estudo. Todos os componentes químicos, bem como temperatura padrão são garantidos pelo fornecedor (por volta de 600 °C). Ao chegar na empresa fabril, passa por teste de análise química e térmica. Caso seja rejeitada, o lote é devolvido ao fornecedor da matéria prima.

2.6.2 - Fabricação do Cabeçote

O complexo processo de fabricação do cabeçote do motor se utiliza de equipamentos tais como bancos hidráulicos (ou LPDC's), serras, desmoldadores, politrizes, tanques de tratamento térmico, etc. O banco hidráulico é uma máquina elétrico-pneumático responsável por transformar a matéria prima em compósitos metálicos de geometria pré-estabelecida por um molde instalado em seu interior. A Figura 2.2 ilustra este processo.



Figura 2.2 - Fabricação de cabeçotes do motor.
Fonte: ELTON THOMAZ (2006).

Conforme mencionado no Item 2.6.2, o processo de fundição de cabeçotes do motor utiliza um equipamento formador da peça (o banco hidráulico), e ainda:

- Macho de areia: são insertos alocados no interior do molde a fim de moldar paredes internas do cabeçote do motor. Para o processo em questão, este inserto é o macho de areia;
- Liga de alumínio: é a matéria prima vazada ao interior do molde a fim de preencher este e modelar o cabeçote do motor;
- Operador qualificado: o profissional deste equipamento deve dominar todos os comandos do mesmo, bem como de todos os eventos que acontecem paralelamente ao processo fabril (regulagem, alimentação de insumos, anotação de produção, garantir a qualidade do produto, da máquina e do processo).

2.6.3 - Serragem do Canal de Alimentação

O canal de alimentação é uma parte da estrutura do projeto da peça somente para fins de fabricação, mas que é descartada (serrada) pois não desempenha funcionalidade no conjunto do motor. É a última parte de preenchimento com o alumínio líquido. Este volume de material (alumínio) serve de local em que o operador tira a peça de dentro do molde quando o cabeçote se solidifica. Este volume de material não faz parte do cabeçote (não tem função ao cabeçote), portanto este é serrado nesta fase do fluxo.



Figura 2.3 - Serragem do canal de alimentação.
Fonte: ELTON THOMAZ, (2006).

A Figura 2.3 demonstra o equipamento que procede a serra do canal de alimentação (ou massalote), via fita de serra retirando o excesso de material que não faz parte da geometria da peça.

Este excesso de material se faz necessário somente para deslocar rechupes, emendas frias, falhas de enchimento e outras não conformidades para fora da parte funcional dos cabeçotes do motor.

2.6.4 - Desmoldagem de Macho de Areia

Analogamente ao que acontece com o canal de alimentação, o macho de areia é eliminado, pois sua função é de somente moldar as paredes internas (canais de admissão, escapamento e câmara de combustão) do cabeçote.



Figura 2.4 - Desmoldagem de cabeçote.
Fonte: ELTON THOMAZ (2006).

A Figura 2.4 ilustra o equipamento desmoldador de macho de areia, onde a peça (já sem o canal de alimentação) é fixada no gabarito interno do equipamento e recebe a penetração de punção vibratório nos canais de admissão e escapamento do cabeçote do motor com o intuito de retirar o macho de areia do interior da peça.

Ao sair do equipamento, o operador retira os restos de areia ainda presente no cabeçote do motor, via pincéis, espátulas bem como é dado um jato de ar comprimido a fim de enviar peças com o mínimo de detritos de areia possível ao próximo processo.

2.6.5 - Rebarbação

Processo em que os cabeçotes passam por processos de lixamento, escareamento, rebarbação e polimento a fim de eliminar deformações estéticas e excessos de materiais.



Figura 2.5: Processo de acabamento.
Fonte: ELTON THOMAZ (2006).

O processo ilustrado na Figura 2.5 denota que esta atividade é toda manual e requer a atenção de todos os postos no intuito de segregar as peças defeituosas.

É um processo que utiliza martelotes, lixadeiras, escareadeiras, politrizes, limas, etc. a fim de eliminar imperfeições como rebarbas, marchas, excesso de materiais, material impregnado, bem como processo de emassamento de falhas de materiais, caso aja.

Garantindo que a peças está isenta de não conformidades grosseiras, os cabeçotes seguem para o tratamento térmico dando continuidade ao fluxo do processo.

2.6.6 - Tratamento térmico

Nesta fase o cabeçote passa por processo de aquecimento e resfriamento a fim de atenuar suas características mecânicas (dureza e usinabilidade).



Figura 2.6 - Tratamento térmico.
Fonte: ELTON THOMAZ (2006).

Conforme ilustra a Figura 2.6, o cabeçote passa pelo processo de solubilização, onde a alta temperatura permite que as partículas sólidas fiquem ainda mais agregadas, aumentando assim a resistência mecânica. Nota-se ainda que após a solubilização, passa-se direto ao processo de resfriamento em tanque com solução líquida (água), onde as características atenuadas na solubilização se mantenham constantes.

Este processo conta com a análise de um profissional que executa ensaios de dureza a fim de garantir as propriedades do conjunto motor.

2.6.7 - Jateamento

Este processo tem o objetivo de implementar a tonalidade padrão de processo bem como atenuar as características mecânicas.



Figura 2.7 - Jateamento do cabeçote.
Fonte: ELTON THOMAZ (2006).

Conforme ilustra a Figura 2.7, o processo de jateamento é realizado com a inserção de cabeçotes em uma estrutura suspensa que é alocada em uma câmara que jateia granalha de alumínio nos cabeçotes do motor. Esta atividade elimina as manchas das peças, atribui tonalidade metálica e atenua a propriedade mecânica. O operador deste equipamento realiza inspeção amostral nas peças jateadas a fim de evitar que passem produtos defeituosos ao processo de usinagem.

2.7 - PREPARAÇÃO PARA O PROCESSO DE FUNDIÇÃO

Para que todo processo descrito anteriormente tenha curso (desde a fabricação do cabeçote até o seu jateamento), se faz necessária a realização de eventos prévios de forma a dar condição ao início de produção.

Esses eventos formam a fase de preparação e segue o fluxo ilustrado na Figura 2.8.

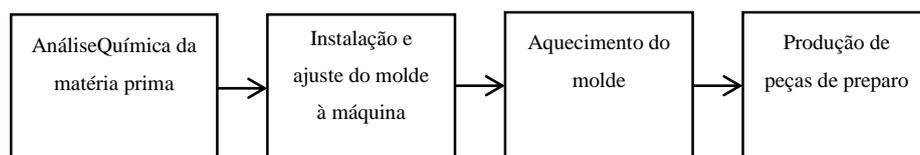


Figura 2.8 - Preparação de fabricação de cabeçotes do motor.
Fonte: ELTON THOMAZ (2006).

Todas as atividades para início de produção são realizadas na preparação, que se inicia com a análise química da matéria prima, onde é realizada para garantir que a liga de alumínio esteja em condições físico-químicas aptas; a inserção do molde na máquina, onde são realizados todos os ajustes e configurações necessárias ao processo fabril; o aquecimento do molde via maçarico, realizado a fim de elevar a temperatura do molde ao nível padrão de início de produção; a fabricação de peças de preparo, onde são vazadas algumas peças para que a temperatura padrão de produção seja atendida em todas as cavidades do molde.

2.8 - PEÇAS DE PREPARO

A fabricação de peças de preparo é inerente ao processo e há de se ressaltar que, apesar de haver um aquecedor tipo maçarico, a temperatura das áreas mais remotas (locais onde a chama do queimador não alcança) não atinge o nível para início de produção, por isso as primeiras peças vazadas sempre apresentam falha de formação e necessitam ser descartadas.

As peças de preparo são as primeiras fabricadas até que o molde comece a produzir unidades isentas de não conformidades, uma vez que estas não adquirem o dimensionamento de projeto devido à diferença de temperatura existente entre o molde e a liga de alumínio no início da produção.

2.8.1 - Produção de Peças de Preparo: A Segunda Fase do Aquecimento do Molde

Após a troca de molde ou inoperância da máquina, o molde perde temperatura sendo necessário aquecê-lo com um aquecedor tipo maçarico a gás (Figura 2.9) e depois injetar as primeiras peças de preparo (Figura 2.10) para homogeneizar a temperatura do molde e assim iniciar produção peças boas (Figura 2.11).

1°

PRÉ AQUECE O MOLDE COM
AQUECEDOR TIPO MAÇARICO A GÁS

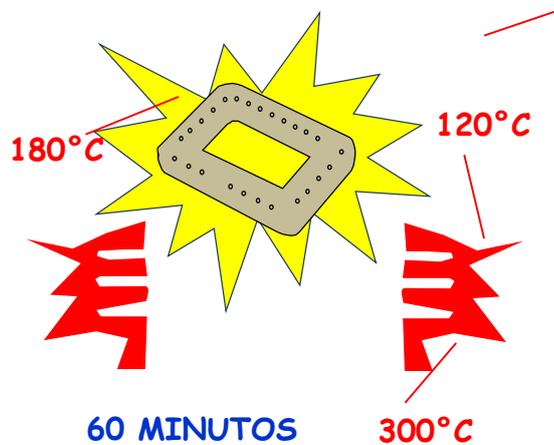


Figura 2.9 - Aquecimento do molde.
Fonte: ELTON THOMAZ (2006).

Conforme ilustra a Figura 2.9, o aquecedor tipo maçarico é um equipamento dissipador de chama de fogo através da combustão de gás GLP e direcionado diretamente à superfície do molde. Dada a complexidade da geometria da peça, existem áreas superaquecidas, áreas aquecidas corretamente e áreas com aquecimento deficitário, pois o aquecedor não conta com mecanismo que direcione a chama homogeneamente a todas as cavidades do molde. Este aquecimento alcança uma temperatura de 300°C na superfície do molde. O padrão para início de produção é entre 390 e 400°C.

Então, após o aquecimento do molde são injetadas as peças de preparo (Figura 2.10) para que o alumínio escoe pelas várias cavidades da arquitetura do molde e complemente o aquecimento nas áreas em que a chama não alcança.



Figura 2.10: Injeção de peças de preparo.
 Fonte: ELTON THOMAZ (2006).

A Figura 2.10 ilustra a fabricação de peças de preparo que nada mais é que o início de fabricação de peças (as primeiras peças produzidas), que, devido à diferença de temperatura inicial do processo, tende a fabricar peças com defeitos de qualidade. Até que as temperaturas se adequem, as peças vão ajustando a sua geometria até começar a produzir peças boas.

A depender do modelo de cabeçote a se produzir, a quantidade pode variar no que tange a número de vazamentos (ato de vazar peças fundidas, injetar, produzir) necessários para início da produção de peças boas.

Nota: Devido essa diferença de calor entre a liga de alumínio e a superfície do molde, a peça pode apresentar as seguintes não conformidades:

- Aderências;
- Trincas;
- Rechupes;
- Emendas frias;
- Falhas de enchimento;
- Alumínio grudado nas cavidades do molde.

Com relação do último tipo de não conformidade, a causa deste é devida ao fato de a área de aletas do cabeçote do motor não ter sido aquecida corretamente, pois esta área é a mais remota do molde e a última a ser preenchida no molde. Assim, a

propriedade de fluidez do alumínio fica comprometida e o alumínio solidifica nesta região e adere de tal forma que quando o molde se abre para retirar a peça, o alumínio impregna no molde e os cabeçotes saem sem aletas.

Uma vez que aconteça esse evento, o molde deve ser retirado imediatamente da máquina para que o ferramenteiro (profissional qualificado em manutenção de moldes) retire o material e o retorne para produção.

Conforme mencionado anteriormente, o padrão de temperatura da superfície do molde é de 390 a 400°C em todas as cavidades do molde e isso só é atingido após a produção de peças de preparo.



Figura 2.11: Molde com temperatura padrão.
Fonte: ELTON THOMAZ, (2006).

CAPÍTULO 3

MATERIAIS E MÉTODOS

Conforme os critérios que ZAMBERLAN *et. al* (2014) propõe, esta pesquisa em questão é de natureza aplicada, pois objetiva gerar conhecimento a ser implementado na solução de problemas específicos; abordagem qualitativa e quantitativa, por se tratar de itens mensuráveis objetiva e subjetivamente; e procedimentos via estudo de caso.

Explanando o assunto por natureza aplicada, o presente trabalho produz conhecimento de forma prática e imediata, onde a solução para os problemas se fazem no menor tempo possível, uma vez que o tempo de máquina parada para preparação inicial impactava negativamente ao fator logístico da referida empresa em questão. Segundo APPOLINÁRIO (2004), estas pesquisas buscam resolver questões concretas e imediatas.

Pela abordagem, a pesquisa se perfaz via quali-quantitativa, pois os resultados necessitaram de resultados eficientes, onde não se podia fugir das especificações padrões bem como resguardou a eficácia no aprimoramento do processo de aquecimento de moldes.

YIN (2010) define o estudo de caso como uma investigação empírica que verifica um acontecimento contemporâneo dentro do seu contexto.

Seguindo os preceitos elencados nos últimos parágrafos, o presente estudo foi alinhado conforme as etapas mostradas nos próximos tópicos.

3.1 - IDENTIFICAÇÃO DO PROBLEMA

Este estudo se iniciou durante o fechamento das atividades fabris de uma conceituada empresa que fabrica motocicletas. Foi constatado que o processo de aquecimento do molde para início de produção estava com tempo muito elevado e assim, impactando na questão logística do levantamento organizacional.

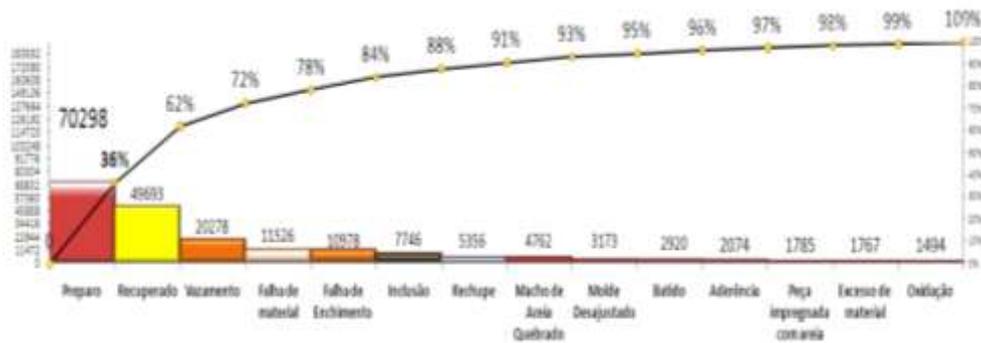


Figura 3.1 - Maiores problemas de cabeçotes do motor.

Fonte: ELTON THOMAZ (2006).

O gráfico da Figura 3.1 ilustra o levantamento da maior ocorrência de peças não conforme desta produção. Constatou-se que 78% dos problemas estão relacionados a quatro tipos de causas, ou 28%.

Para KOCH (2000), uma minoria de causas, inputs ou esforços normalmente conduzem a uma maioria dos resultados, produtos ou recompensas. Significa, por exemplo, que 80% daquilo que você realiza em seu trabalho vem de 20% do tempo gasto. Assim, para todas as finalidades práticas, quatro quintos do esforço – uma parcela dominante – são em grande parte irrelevantes. Isto é o contrário do que as pessoas normalmente esperam.

Observa-se que somente o Item peças de preparo equivale a 36% de todo inutilizado desta produção.

Explorando a causa do alto índice de inutilizado em peças de preparo, verifica-se que o aquecimento de molde também pode influenciar como causador de problema como falha de material (6%), falha de enchimento (6%) e aderência (1%).

Portanto, questões voltadas às condições térmicas do molde são de grande importância ao processo de fundição.

3.2 - EXPLORAÇÃO PRELIMINAR DA SITUAÇÃO ATUAL

Consistiu em acompanhar as operações de *setup* em conjunto com os preparadores de molde. Nesta etapa também foi realizado estudo do processo para melhor entendimento do mesmo para possíveis ajustes, testes pilotos, informações referentes aos parâmetros de máquina, estudo sobre as matrizes (moldes), ferramentas utilizadas etc. A Figura 3.2 ilustra o processo de preparação para início de produção.

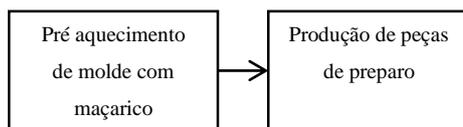


Figura 3.2 - Preparação de processo para início de produção.

Fonte: Elton Thomaz, (2006).

Explanando o processo de pré aquecimento do molde, constatou - se que todo processo dura 72 minutos, ou seja, neste momento a máquina fica parada aguardando a máquina atingir a temperatura normal de produção.

Nesse ínterim, a equipe de planejamento diário da produção deve considerar este período ocioso (sem produção).

Há de se considerar ainda que a cada *setup* a máquina deve contar com este período parado antes do início de produção de qualquer modelo.

Este tempo parado é impactante ao processo, pois existem alguns lotes de modelos que passam mais tempo de preparação do que em produção.

O gráfico da Figura 3.3 ilustra a variação da temperatura em relação ao tempo no processo de aquecimento do molde.

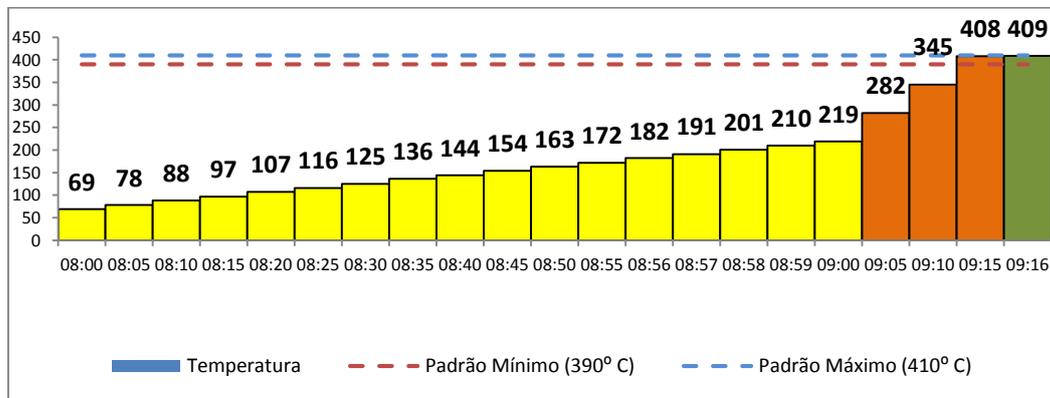


Figura 3.3 - Relação temperatura x tempo no processo de aquecimento de molde. Fonte: ELTON THOMAZ (2006).

O gráfico da Figura 3.3 ilustra o comportamento da elevação de temperatura do molde em relação à atividade externa de aquecimento do molde. Verifica- se a ação do maçarico nos 60 primeiros minutos (colunas amarelas) em que a temperatura se eleva em média 10°C e que após esse período (colunas alaranjadas) a mesma se eleva em torno de 60°C e mantém esta temperatura no decorrer de sua produção.

3.3 - PESQUISA DE TIPOS DE AQUECEDORES

Nesta fase houve a exploração do mercado de fornecedores de tecnologias que pudessem ser implementadas ao objetivo em questão. Foram pesquisas em *sites*, anúncios, contatos telefônicos, etc. em busca de empresas de refrigeração, exaustão e processos industriais diversos.

Foram constatados alguns tipos de aquecedores industriais com as características conforme o projeto para moldes, nas mais diversas configurações e especificações. Fornecedores locais e globais que elaboraram projetos a fim de arrolar ao processo de aquecimento de moldes.

No intuito de apresentar possíveis soluções ao exposto e mensurar os resultados, houveram vários ensaios com as sugestões de três empresas num concurso entre os melhores projetos através da equipe técnica da organização.

3.4 - PROPOSTAS DE MELHORIAS AO PROCESSO DE AQUECIMENTO DE MOLDES

3.4.1 - As Etapas da Ferramenta QCDMSE

É uma ferramenta de análise utilizada para justificar os mais variados temas e resultados de trabalhos profissionais ou acadêmicos, onde são verificados os seguintes quesitos:

Qualidade (*Quality*) – mensura os problemas de qualidade do processo bem como elenca a tratativa de resolução do referido problema;

Custo (*Cost*) – mensura saúde financeira dos processos (lucro ou prejuízo);

Logística (*Delivery*) – mensura a capacidade de entrega ao cliente;

Gerenciamento (*Management*) – mensura o atendimento satisfatório interna e externamente à organização;

Segurança (*Safety*) – mensura a exposição de acidentes (atos e condições inseguras) ao processo produtivo em geral;

Meio ambiente (*Environment*) – mensura fatores que sejam menos impactantes ao meio ambiente.

3.4.2 - Implementar Resistência Dentro de Uma Caixa Metálica

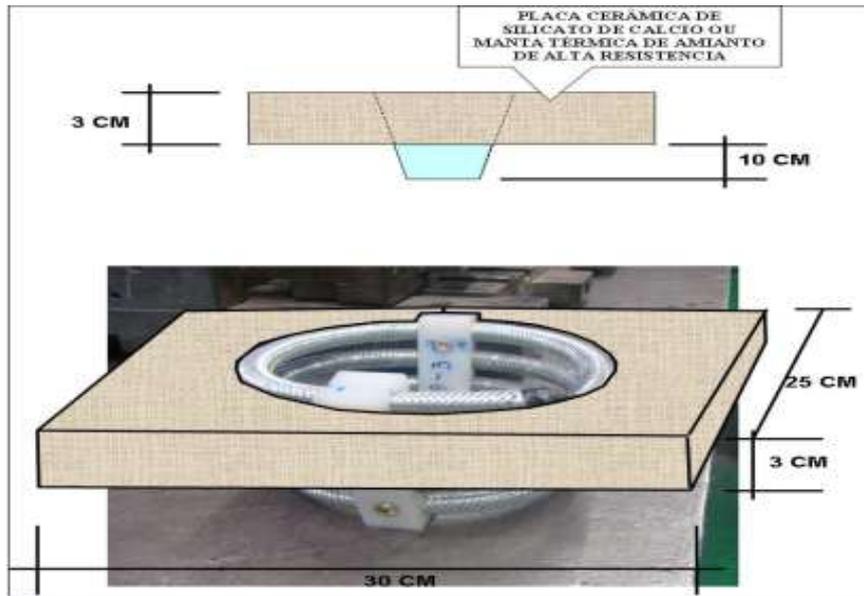


Figura 3.4 - Proposta de resistência interna.
Fonte: ELTON THOMAZ (2006).

A Figura 3.4 ilustra o projeto de implantação de uma caixa metálica com resistência interna e tinha o intuito de homogeneizar a temperatura em todas as cavidades do molde e eis que atingiu o objetivo.

No quesito custo e qualidade, evidenciou – se elevado valor de manutenção, pois alterações em sua arquitetura geométrica e no mecanismo de abertura e fechamento do molde acarretaria no risco de travamento mecânico durante o processo, então a funcionalidade ficou comprometida.

No quesito logístico, o dispositivo alcançou o aquecimento após 120 min, ou seja, 33% mais demorado que o antigo processo.

Devido não conformidade nos quesitos qualidade, custo e logística, a proposta foi reprovada.

3.4.3 - Instalação de Manta Térmica nas Superfícies do Molde

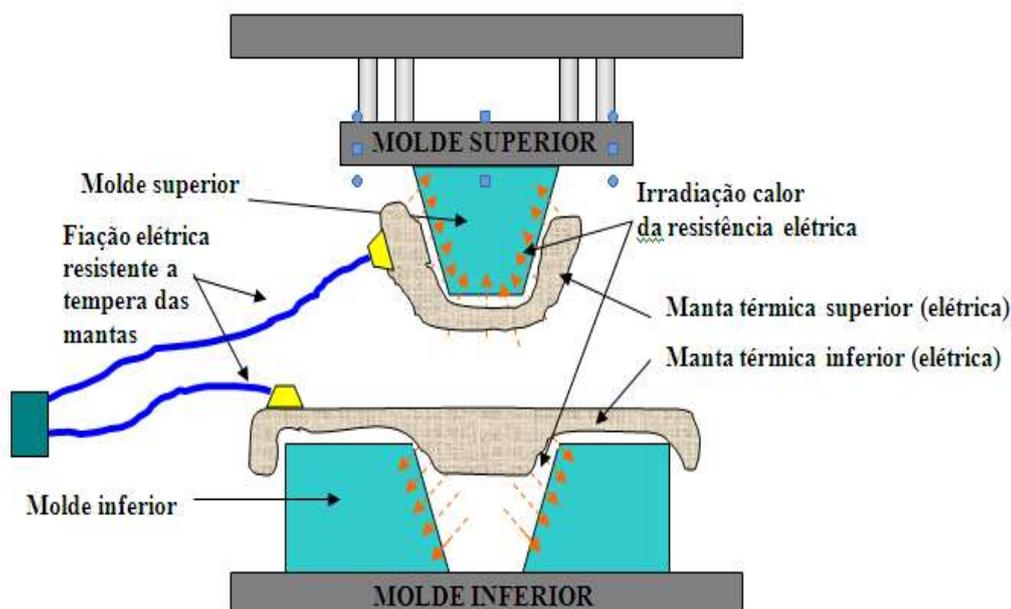


Figura 3.5 - Proposta de inserção de manta térmica.

Fonte: ELTON THOMAZ (2006).

Conforme ilustra a Figura 3.5, o projeto baseou-se em sobrepor uma manta térmica diretamente às superfícies superior e inferior do molde. Seria um aparato de alimentação elétrica, que se adequava à geometria do molde, eliminava o risco de exposição à chama alta gerada pelo aquecedor tipo maçarico e homogeneizou a temperatura em 400°C.

No entanto, verificou-se custo elevado com aquisição de equipamento bem como com as constantes manutenções, pois evidenciou-se que a manta da parte superior do molde requeria a mobilização de equipe para manuseá-la. Por isso o lado econômico obteve laudo não conforme.

No quesito segurança, possibilitou condição insegura aos operadores (o desprendimento da manta superior superaquecida e o risco de queimadura para retirar a manta). Portanto, este item também obteve laudo não conforme.

3.4.4 - Desenvolver Aquecedor com a Resistência Elétrica em Aço Inox

Após frustradas as tentativas com dispositivos automáticos e não manuais, a equipe técnica repensou a possibilidade de implantação de dispositivo manual, mas

desta vez aliando a experiência adquirida com as propostas anteriores e elaborou o projeto utilizando um aquecedor com resistência tubular elétrica.



Figura 3.6 - Proposta de desenvolver aquecedor com resistência elétrica.
 Fonte: ELTON THOMAZ (2006).

A Figura 3.6 denota um aquecedor que dispõe de terminal quente utilizando resistência elétrica. As resistências elétricas têm como características marcantes o atingimento de altas temperaturas em pouco tempo, sem contar que sua flexibilidade favorece que o dispositivo adentre as áreas mais complexas do molde.

Avaliando os quesitos qualidade, custo, logística, gerenciamento, segurança e meio ambiente ao referido trabalho, não se constatou não conformidade ao exposto.

3.5 TESTES E AJUSTES ÀS ESPECIFICIDADES DO PROJETO

Definido o projeto que melhor atendeu ao exposto, houveram vários testes simulando a implementação da melhoria ao processo de aquecimento de molde. Todo o corpo estratégico, tático e operacional, bem como o grupo técnico da organização participou desta atividade a fim de alcançar o melhor resultado.

Toda a implementação passou por processo de formalização de melhoria do processo e seus resultados foram tabulados. O novo fluxo de processo já conta com esta mudança na preparação do molde para produção. O planejamento de produção passa a adotar este novo tempo de *setup*. Os resultados serão explanados no último capítulo.

CAPÍTULO 4

ESTUDO DE CASO

A organização alvo do estudo é uma multinacional de origem japonesa e que está localizada no Pólo Industrial de Manaus (PIM), produz motocicletas aos entes industrial, comercial e público em geral. Possui significativa participação no mercado nacional e global sendo conhecida como a líder deste seguimento. Seus produtos são distribuídos por vários pontos de vendas em todo território nacional e países do mundo inteiro. Seus processos abrangem toda a cadeia produtiva do processo fabril de motocicletas, entre os principais estão os setores de fundição, usinagem, pintura, montagem do motor, montagem das motocicletas, estamparia, inspeção final, todas as atividades voltadas à implementação de componentes e tecnologia de automotores.

A referida empresa conta ainda com uma vasta carta de fornecedores locais e globais que totalizam 122 empresas ao todo. É referência mundial de qualidade em seus processos e investe bastante recurso nesse nicho.

O referido trabalho se desenvolveu no setor de fundição que é responsável pela fabricação de tampas, carcaças, cilindros e cabeçotes do motor em alumínio de motocicletas. Para a fabricação destas peças são necessários, além da liga de alumínio líquido, o banco hidráulico (ou injetoras, para o caso de tampas, carcaças e cilindros), o molde, os insertos necessários (a depender do modelo) e ferramentas manuais diversas. Este setor abriga ainda toda a área de acabamento destas peças produzidas, setor de engenharia e controle de qualidade, processo este que fora explanado no capítulo 2.

A próxima Figura mostra um motor de motocicletas e seus componentes motocicletas e seus componentes.



Figura 4.1 - Componentes do motor de motocicleta.
Fonte: *site* Debyon Ltda ME (2006).

Ilustrado na Figura 4.1, o motor de motocicletas se compõe pelos componentes:

- Tampas do motor (direita e esquerda);
- Carcaças do motor (direita e esquerda);
- Cabeçote do motor;
- Cilindro do motor e
- tampa do cilindro do motor.

Estes componentes ainda contêm mecanismos mecânicos internos que dão funcionalidade ao motor (árvore de manivela, pistões, biela, etc.).

Dentre os componentes listados acima, um dos principais itens é o cabeçote do motor, que prova sua importância garantindo a funcionalidade do conjunto como um todo. Segue abaixo a Figura de um cabeçote do motor de motocicletas.



Figura 4.2 - Cabeçote do motor de motocicletas.
Fonte: site THD Moto Preparações (2006).

A Figura 4.2 ilustra um cabeçote do motor. Este componente em conjunto com o cilindro do motor, é o responsável em proceder a combustão e trocas gasosas entre canais de alimentação e escapamento (câmara de combustão). Sua estrutura física deve dispor de boa resistência mecânica, resistência a altas temperaturas, resistência à corrosão bem como deve contar com mecanismo de dissipação deste calor interno.

4.1 - ANÁLISE DA SITUAÇÃO ATUAL

A área da fundição por pressão dispõe bancos hidráulicos tipo L.P.D.C.'s (*Low Pressure Die Casting Machine*) que é um equipamento com finalidade de injetar alumínio líquido por baixa pressão em um molde, para fabricação de cabeçotes do motor de motocicletas. A Figura 4.3 ilustra a máquina L.P.D.C.



Figura 4.3 - Máquina de fundição por baixa pressão.
Fonte: *site Sawyer and Smith (2005)*.

A Fundição de baixa pressão é um sistema de injeção multifase para a regulação exata do processo de fundição. Com Fundição de baixa pressão, pode – se alcançar uma peça fundida de alta definição.

Fundição de alumínio pelo método de baixa pressão tem sido utilizado na Europa há muitos anos. Para oferecer uma solução completa para o processo Fundição de baixa pressão, as empresas também podem contar com os fornos necessários para a aplicação.

A realização do *setup* neste processo segue os passos:

- 1 Definição do que será produzido conforme a lista das necessidades prioritárias;
- 2 Inserção do molde na máquina;
- 3 Configuração da máquina / molde;
- 4 Aquecimento do molde;
- 5 Vazamento de peças de preparo (ou teste);
- 6 Quando a máquina está preparada, inicia-se a produção.

Quando todos estes eventos forem realizados e estiverem de acordo com a Folha de Checagem de Qualidade do Processo, o processo tem aval técnico para início de produção.

4.2 - ANÁLISE DO AQUECIMENTO DO MOLDE

As peças de preparo são as primeiras fabricadas até que o molde comece a produzir unidades isentas de não conformidades, uma vez que estas não adquirem o dimensionamento do projeto da peça (cabeçote) devido à diferença de temperatura existente entre o molde e a liga de alumínio no início da produção. Na medida em que o molde vai aquecendo, o alumínio adquire melhor fluidez para escoar com mais facilidade às cavidades mais complexas do molde, preenchendo assim todas as paredes internas. O processo de aquecimento não se completa sem a fabricação de peças de preparo.

O gráfico da Figura 4.4 ilustra o aumento da temperatura do molde em relação ao tempo de exposição deste ao aquecedor, onde se verifica a ação do maçarico nos primeiros 60 minutos do processo, onde a temperatura do molde varia em torno de 10°C a cada 5 minutos. O padrão da temperatura está entre 390°C e 410°C.

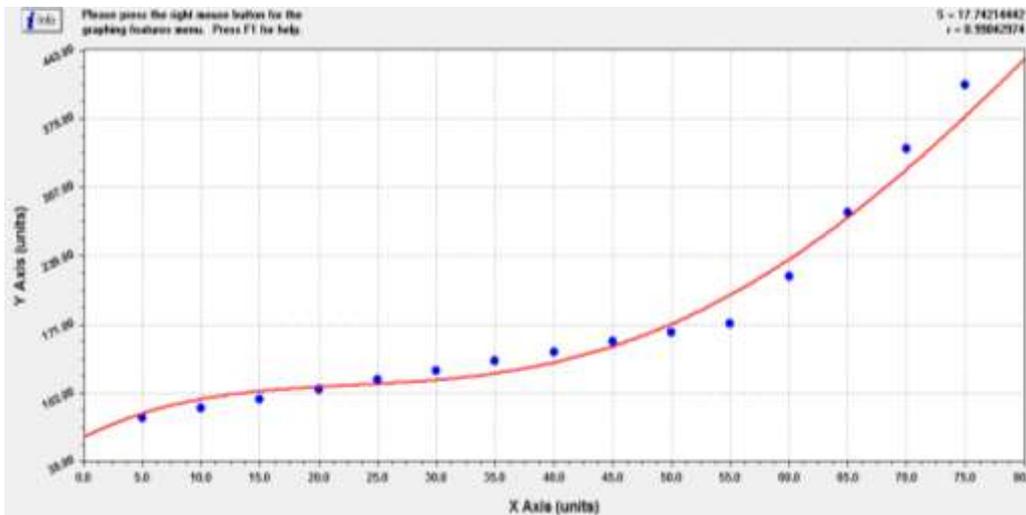


Figura 4.4 - Aumento da temperatura em função do tempo.
Fonte: ELTON THOMAZ via 4th Degree Polynomial (2006).

Após o vazamento de peças de preparo, a temperatura aumenta em torno de 60°C no mesmo intervalo de tempo. Na Figura anterior (4.4), estas peças de preparo começam a ser vazadas a partir de 65.0 do eixo das coordenadas.

Segue na Tabela 4.1, o acompanhamento de elevação de temperatura da superfície do molde no decorrer do tempo.

Tabela 4.1 - Temperatura no processo de aquecimento de molde com maçarico.

Tempo (min.)	Temperatura (°C)	Eventos	Aumenta
5	62,5	Atuação do maçarico	9,5 °C a cada 5 min
10	75		
15	100		
20	110		
25	117,5		
30	128		
35	135		
40	140		
45	160		
50	172		
55	185		
60	211	Fabricação de peças de preparo	60 °C a cada 5 min
65	290		
70	347		
75	375		
80	410		

Fonte: ELTON THOMAZ, (2006).

Nota-se que após o vazamento de peças de preparo, a temperatura tem considerável aumento nas superfícies das cavidades do molde. Depois de 60 minutos verifica-se eficiência sêxtupla quanto à ação do maçarico.

Vale ressaltar que o molde não pode vazar peças antes de atingir 220 °C (aproximadamente) devido à alta chance de que o molde sofra impregnação de alumínio em suas cavidades.

A importância do aquecimento do molde se dá para que o mesmo atinja temperatura de produção.

Quando um metal líquido é vazado em um molde que é mantido a temperatura ambiente ou a baixas temperaturas de aquecimento, ocorre a diminuição da fluidez

devido ao efeito de coquilhamento. Assim a fluidez é maior em moldes quentes do que em moldes frios. (RAVI, K.R. *et al*, 2007).

O fluxo de calor (q) através da interface metal/molde (1) é dado por:

$$q = h_i \cdot A_t(T_{\text{metal}} - T_{\text{molde}}) \quad (1)$$

onde:

A_t - área de troca térmica (m^2);

h_i - coeficiente de transferência de calor na interface metal/molde [$W/m^2.K$], variável durante o processo, necessitando de métodos particulares para sua determinação, como o método utilizado ao longo do trabalho.

A Resistência térmica (R_i) entre metal/molde [K/W], depende da análise do conjunto de resistências térmicas atuantes no sistema metal/molde (2), sendo determinada por:

$$R_i = \frac{1}{h_i \cdot A_t} \quad (2)$$

O aquecimento era realizado via utilização de um dispositivo tipo maçarico de aço inox com pequenos furos em uma de suas extremidades que gera a chama através da queima do gás GLP. A Figura 4.5 ilustra o aquecedor descrito acima.

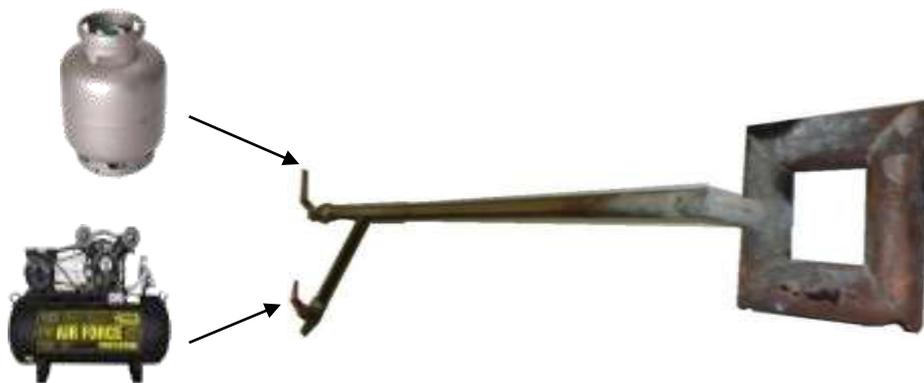


Figura 4.5 - Aquecedor tipo maçarico.
Fonte: ELTON THOMAZ (2006).

A Figura 4.5 ilustra uma ferramenta manual que tem em sua entrada um engate para entrada de gás GLP e outra para o compressor que bombeia o ar comprimido. Na sua extremidade, conforme já citado, possui pequenos furos sem direcionadores adequados para a chama, possibilitando um volume de flama descontrolado.

Abaixo pode ser visualizado o processo de ignição.



Figura 4.6 - Ignição do aquecedor tipo maçarico.
Fonte: ELTON THOMAZ (2006).

Conforme a Figura 4.6, a ignição é manual aplicando chama diretamente à extremidade do maçarico já com a aplicação do gás em baixo volume ao molde. Este processo é de grande pontuação em condição insegura à organização em questão e tem sua gravidade aumentada por se tratar de setor com vários pontos de fuga de gases e material inflamável. Sem contar que por vezes o operador tem respingos de óleos em sua farda que podem servir de comburente à chama.



Figura 4.7 - Molde em aquecimento via maçarico.
Fonte: ELTON THOMAZ, (2006).

4.3 - ESTUDO DE AQUECEDORES

Em estudo aos diversos tipos de aquecedores existentes no mercado, para o fim industrial e especificamente para o aquecimento do molde estudado, verificou-se a possibilidade de utilização de resistência tubular elétrica por sua aplicação em processos de aquecimento de gás, líquidos e outros usos industriais.

Existe uma gama de produtos de vários fornecedores aptos a comercializar resistências tubulares. Neste ínterim buscou-se desempenhar ferramenta que tenha características de aquecer moldes metálicos com temperaturas em torno de 400°C e que possam homogeneizar esta temperatura em todas as cavidades do molde.

As Figuras 4.8 e 4.9 ilustram as resistências tubulares.



Figura 4.8 - Tipos e flexibilidade da resistência tubular.
Fonte: site Anluz (2006).

Indicadas para uso doméstico e industrial, as resistências tubulares (Figura 4.8) são muito versáteis devido atingir várias faixas de temperaturas e pela sua flexibilidade. Este equipamento pode ser confeccionado em quase todos os formatos possibilitando a melhor configuração para abranger a todas as partes do molde (inclusive as mais remotas).

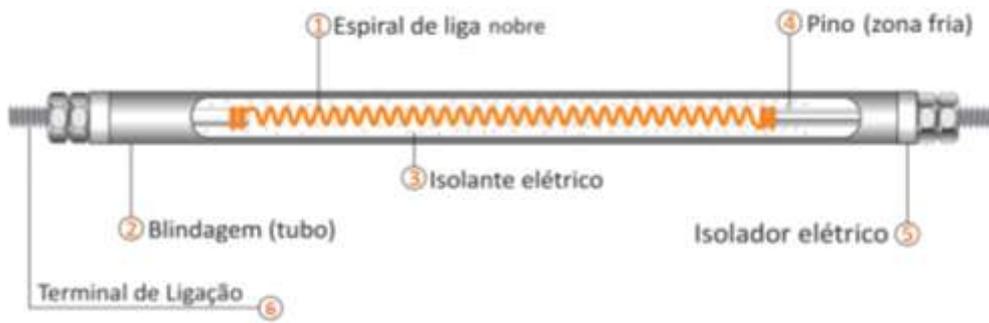


Figura 4.9 - Configuração da resistência tubular.
 Fonte: ANLUZ (2006).

A Figura 4.9 ilustra a configuração interna da resistência tubular evidenciando o mecanismo em espirais internas que possuem condução via energia elétrica da rede e que só conduz o calor na área que não tem isolador térmico, com isso o dispositivo só aquece na extremidade que fica alocada no molde. Na haste que o operador toca não há condução de calor, protegendo-o de acidentes diversos.

Para o estudo em questão, foi utilizado um aquecedor com resistência tubular em aço inox AISI 316 com a arquitetura ilustrada na Figura 4.10.

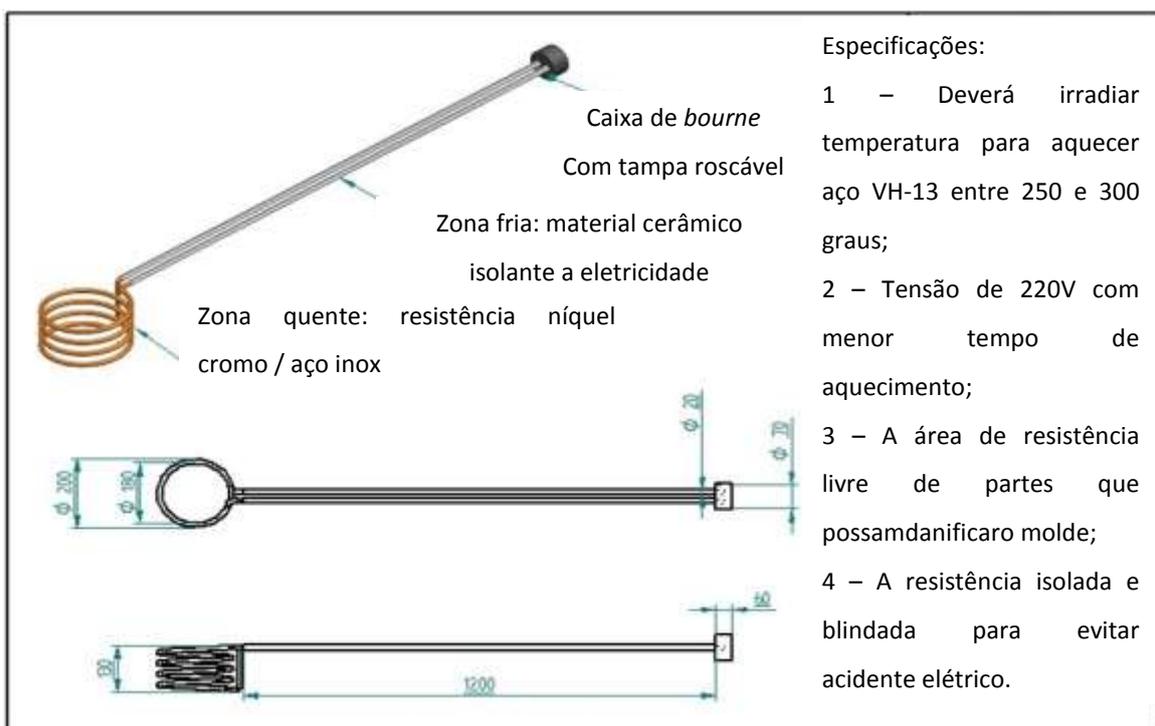


Figura 4.10 - Aquecedor industrial via resistência tubular elétrica.
 Fonte: ELTON THOMAZ (2006).

Conforme ilustra a Figura 4.10, o dispositivo possui uma extremidade de zona quente, que é a área que deverá estar em contato com o molde, nas dimensões

necessárias a levar calor às diversas regiões do molde, na outra extremidade deverá conter uma caixa de *bourne*, que terá contato com a alimentação elétrica do projeto e uma haste intermediária de zona fria com isolamento elétrico e térmico.

4.4 - IMPLEMENTAÇÃO

A implementação do aquecedor com resistência tubular em aço inox AISI 316 ao processo de aquecimento do molde substituiu o antigo aquecedor tipo maçarico.



Figura 4.11 - Aquecedor tipo resistência tubular.
Fonte: ELTON THOMAZ (2006).

A Figura 4.11 ilustra o novo aquecedor utilizando resistência tubular elétrica, um dispositivo ainda manual e metálico, com dimensões aproximadas ao antigo aquecedor, mas que tem eficiência melhorada frente ao antigo aquecedor via maçarico.

Quando em operação, o equipamento demonstra eficiência em quesitos de segurança, logística, qualidade, etc. uma vez que não obteve resultado não conforme durante os ensaios, garantindo, assim, que a proposta é viável de implantação.

A próxima Figura ilustra essa eficiência nos quesitos avaliados pela ferramenta QCDMSE.



Figura 4.12 - Resistência tubular em operação.
Fonte: ELTON THOMAZ (2006).

O novo dispositivo baseado em resistência tubular mantém a zona quente somente na extremidade que fica totalmente interna ao molde. Para o meio externo, o cabo não possui condução térmica, nem elétrica, intitulada no projeto como zona fria.

No comparativo energético, observou-se redução de 40% no consumo de energia elétrica em relação ao antigo dispositivo, pois o consumo do compressor utilizado no dispositivo antigo consumia mais do que a simples alimentação de resistência tubular elétrica.

Utilizando aquecedor tipo resistência tubular, o processo de aquecimento do molde foi mais eficiente, pois aumentou em torno de 66°C a cada 5 minutos, conforme ilustra a Figura 4.13.

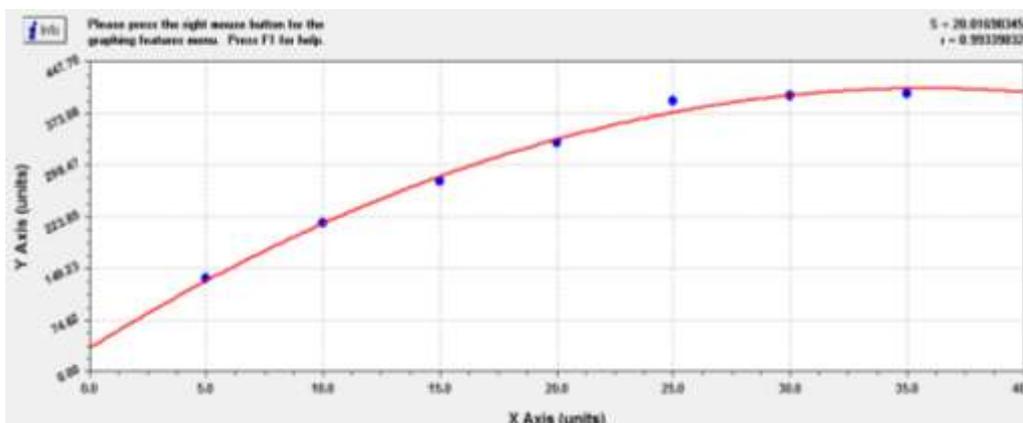


Figura 4.13 - Progressão da temperatura utilizando resistência tubular.
Fonte: ELTON THOMAZ (2006).

Avaliando a Figura 4.13, constatamos maior eficiência com a implantação do novo dispositivo via resistência tubular, pois os gradientes de temperatura são alcançados mais rapidamente e a produção se inicia num melhor tempo. Mesmo quando ocorre uma adversidade para ajuste do molde, o retorno à produção se torna mais eficiente.

Na Tabela 4.2, verifica - se o acompanhamento de elevação de temperatura da superfície do molde no decorrer do tempo com a aplicação do novo aquecedor do tipo resistência tubular.

Tabela 4.2 - Temperatura no processo de aquecimento de molde com resistência tubular.

Tempo (min.)	Temperatura (°C)	Eventos	Aumenta
5	135	Atuação do aquecedor de resistência tubular	66 °C a cada 5 min
10	220		
15	275		
20	335		
25	390		
30	405		
35	410		
40	410	Peças de preparo. Garantir o aquecimento das cavidades	

Fonte: ELTON THOMAZ, (2006).

CAPITULO 5

RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1 - ENXUGAMENTO E MELHORIAS GERAIS AO PROCESSO

Apesar do menor período para alcançar a temperatura padrão de produção (390 a 410°C), o processo não perdeu eficiência, pois a condição boa de fabricação de cabeçotes é igualmente atingida, só que em espaço de tempo mais curto.

A elaboração deste estudo possibilitou o aprofundamento do entendimento de todo processo fabril. Estimulou a integração de grupos de qualidade, produção, ferramentaria, manutenção e equipe técnica. Teve ainda primordial relevância na contribuição de nova alternativa a processos de aquecimento de moldes em escala global, uma vez que a organização estudada mesmo sendo líder de seu mercado ainda dispunha de tecnologia antiga para realizar esta atividade.

Logisticamente, o processo obteve respeitáveis ganhos e as metas organizacionais atenderam aos objetivos empresariais.

A melhoria do dispositivo aquecedor no processo de aquecimento de moldes eliminou o risco de acidentes com o operador, pois já não depende de instrumento que gere alta chama e risco ao operador.

Esta chama possibilitava a queima da tinta refratária do molde, o que gerava problemas de qualidade nos cabeçotes produzidos e ainda reduzia a vida útil do molde conforme verificamos na Figura 5.1.



Figura 5.1 - Tinta refratária danificada.
Fonte: ELTON THOMAZ (2006).

A Figura 5.1 ilustra uma das cavidades do molde com a tinta refratária, o que gerava muitos problemas de qualidade bem como o dano patrimonial no desgaste de moldes e isto foi eliminado com a implementação desta melhoria.

Considerando que todas as questões elencadas influenciam em custos operacionais (e há de se ressaltar que a antiga metodologia de aquecimento necessitava da aquisição de vários insumos), este item (o custo) foi reduzido em proporções de mais de R\$ 2.390.000,00 por ano.

5.2 - COMPETÊNCIAS E EXPERIÊNCIAS COMPARTILHADAS

Todas as fases deste estudo teve a participação direta de todas as áreas envolvidas no processo de fundição. Desde a alta gerência estratégica até o nível de operadores e trocadores de molde, passando pelo envolvimento dos fornecedores. Estas tratativas foram compartilhadas com todos os envolvidos conforme mostra a Tabela 5.1.

Tabela 5.1 - Atividades e responsabilidades para cada fase da implementação.

It.	Atividade	Responsável	Como?
1	Identificação do problema	Supervisão	Em reuniões sistêmicas
2	Exploração do problema	Todos	<i>Brainstorming.</i> Toda organização empreendeu esforços a fim de sanar o problema
3	Pesquisa de aquecedores industriais	Grupo Técnico	Pesquisas virtuais, telefones, visitas locais a empresas especializadas
4	Pesquisa a fornecedores	Supervisão Gerência Grupo Técnico	Receber visitas de empresas capazes de desenvolver dispositivo que melhor atenda às especificidades da sua organização
5	Ajustes e testes	Grupo Técnico Controle da Qualidade Produção	A implementação da resistência tubular foi assistida
6	Implementação	Todos	Implementada com o suporte de todos
7	Documentação e treinamento de toda companhia	Controle de Qualidade	Implementação da melhoria foi disseminada por toda a organização

Fonte: ELTON THOMAZ (2006).

O envolvimento de todos leva ao comprometimento em tornar qualquer atividade viável, gera um sentimento de pertencimento ao projeto e assim, manter a contínua melhoria do processo com o apoio de todos.

5.3 - INFLUÊNCIAS AO PROCESSO

No que tange à eficiência da implantação de novo dispositivo aquecedor de molde ao processo, constata – se substancial melhoria ao processo, uma vez que atinge ao objetivo e ainda tem consequência em outros quesitos desta produção.

O gráfico da Figura abaixo demonstra este ganho em eficiência.

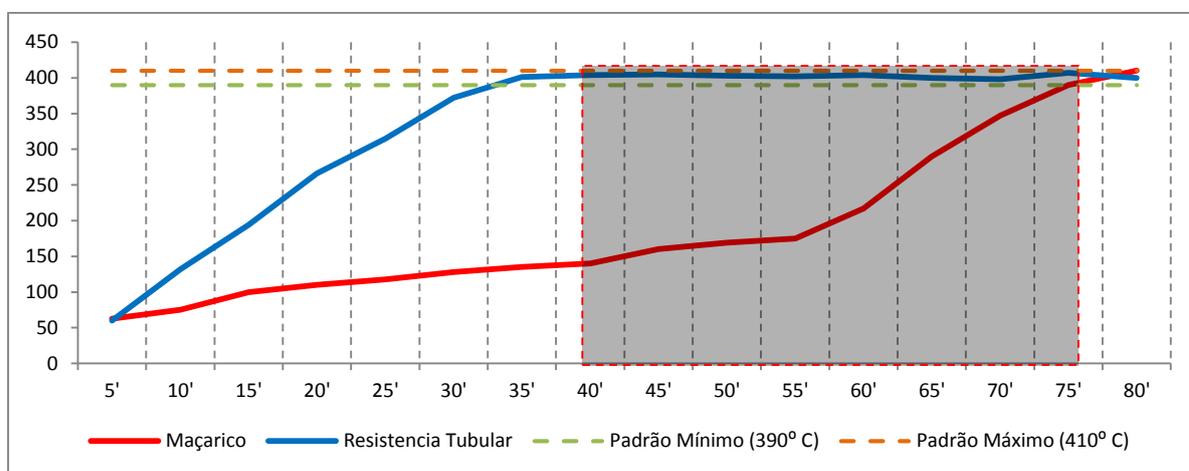


Figura 5.2 - Comparação de aquecimento dos dois dispositivos em função do tempo.

Fonte: ELTON THOMAZ (2006).

O gráfico da Figura 5.2 é bem emblemática em evidenciar que a área hachurada (em amarelo) que representa o tempo de processo ganho. Se em um processo de aquecimento antigo era necessário 72 minutos, no atual são necessários apenas 40 minutos.

A implantação do projeto de melhoria do processo de aquecimento resultou na diminuição do tempo para 40 minutos ou 44,45%, conforme ilustra o gráfico da Figura 5.3.

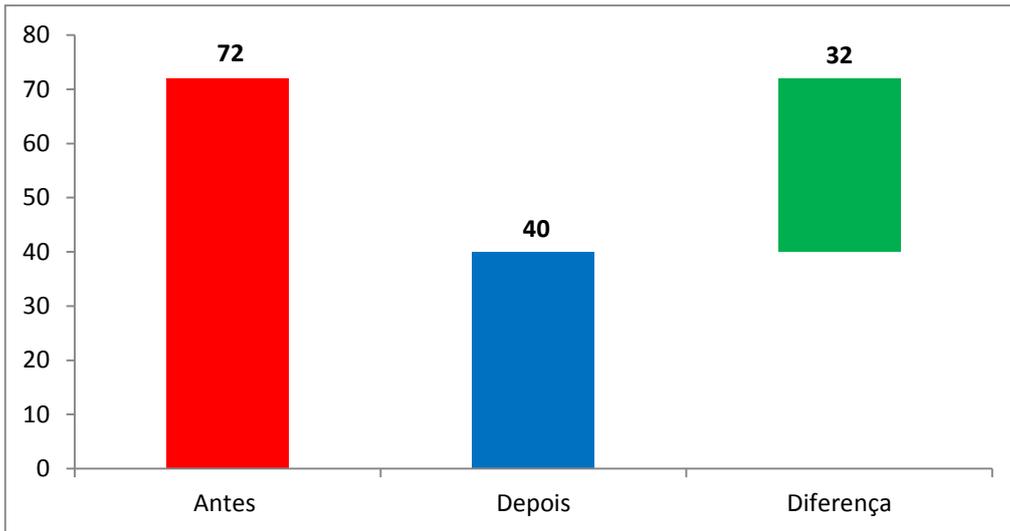


Figura 5.3 - Comparação do tempo de aquecimento do molde.
 Fonte: ELTON THOMAZ (2006).

O gráfico da Figura 5.3 reforça o entendimento do ganho de processo por cada evento de aquecimento de molde. São 32 minutos em cada *setup* a se realizar. Ganho real em eficiência.

5.4 - MELHORIA NO AQUECIMENTO DO MOLDE

A Figura abaixo ilustra o aquecimento das cavidades do molde.

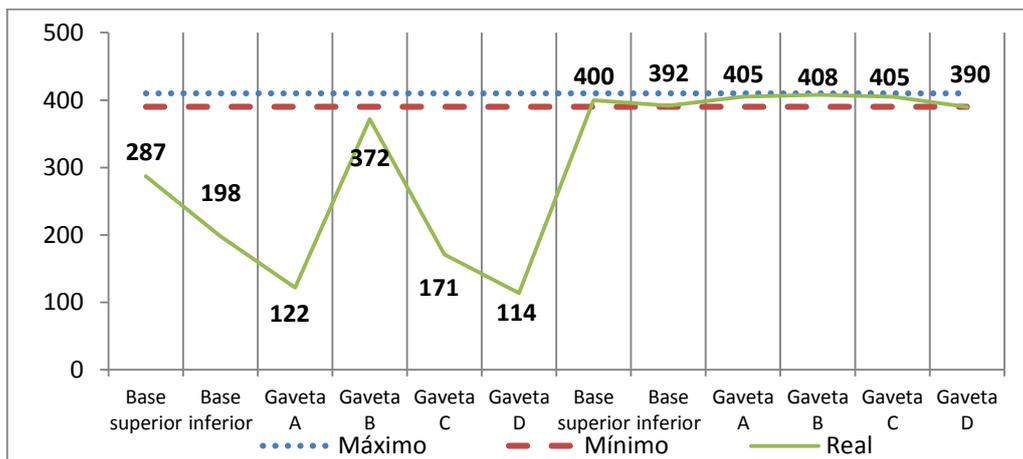


Figura 5.4 - Diferença de temperatura entre as cavidades do molde com maçarico.
 Fonte: ELTON THOMAZ (2006).

O gráfico da Figura 5.4 demonstra que anteriormente havia oscilação de temperaturas até o vazamento das peças de preparo, o que evidenciava a heterogeneidade de aquecimento das cavidades.

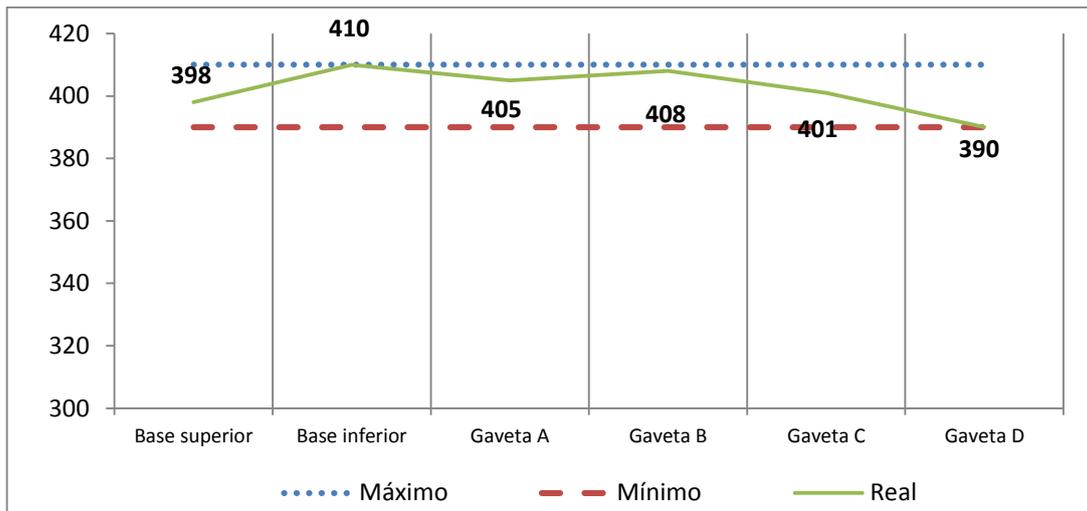


Figura 5.5 - Alcance da temperatura padrão entre as cavidades do molde com resistência tubular.

Fonte: ELTON THOMAZ (2006).

O gráfico da Figura 5.5 ilustra que, com a utilização da resistência tubular, a dispersão do calor foi mais homogênea e a temperatura acompanhou proporcionalmente, devido o alcance proporcionado pela flexibilidade do novo dispositivo.

5.5 - CONCLUSÃO DO CAPÍTULO

O presente capítulo revela a viabilidade de implantação do novo aquecedor via resistência tubular elétrica e o substancial ganho nos quesitos qualidade, custo, logística, gerenciamento, segurança e meio ambiente frente as demais propostas sugeridas.

Ressalta-se ainda, o efetivo comprometimento de todos os colaboradores desta organização em prol do resultado satisfatório.

CAPÍTULO 6

CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

6.1 - CONCLUSÕES

Com a finalização do estudo em questão, pode-se concluir que o objetivo proposto pelo mesmo é viável de implementação.

Constatou-se que a implementação da melhoria gerou uma redução de 44,45% ou 32 minutos do tempo de *setup* do processo estudado.

Esta viabilidade se confirmou por existirem vários fornecedores locais (e globais) aptos a atender ao exposto e mostrando vantagem econômica frente ao antigo dispositivo aquecedor (o tipo maçarico custava R\$ 650,00 e o atual custa R\$ 408,00).

Evidenciou ainda a sua eficiência nos quesitos segurança, onde o operador ficava exposto ao risco de queimaduras devido à atividade de ignição e a alta chama que o antigo processo gerava.

No campo ergonômico, constatou-se melhoria substancial pois o peso do aquecedor foi reduzido em 36% (de 5,5 para 3,6kg) e diminuiu a possibilidade de casos de lesões por esforço repetitivo e doenças ocupacionais por repetição de trabalho (LER e DORT).

No quesito qualidade, o antigo processo danificava a tinta refratária utilizada para proteção do molde e agora foi verificado que o índice de inutilizado foi reduzido em 3,1% só com a troca do aquecedor.

O quesito patrimonial também houve ganho, pois os moldes passaram a se desgastar mais lentamente pela melhoria do seu processo de aquecimento;

Em logística, o tempo de *setup* foi reduzido. A quantidade de peças de preparo foi reduzida em 49,06% (pois a temperatura é dissipada com melhor eficácia nas várias cavidades do molde);

Em resumo, o custo total, onde somados os insumos utilizados para utilização do antigo aquecedor (R\$ 303.289,00) e peças de preparo (R\$ 2.087.373,00) evidenciou o montante de R\$ 2.390.662,00 em economia anual do processo.

Comprovadamente, a viabilidade de implementação é positiva e superou o objetivo, uma vez que seu resultado obteve reflexo contundentemente expressivo em outras atividades estratégicas da organização, o que permeia os conceitos de Produção

Enxuta e fortalece a competitividade da empresa estudada. Este estudo servirá de contribuição para implementação em outros processos de que trata o exposto.

6.2 - RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Tendo alcançado aos objetivos traçados, buscar-se-á empreender esforços no sentido de realizar outras melhorias aos problemas que afetam ao processo de fabricação de cabeçotes tais como:

- 1 Estudar a causa raiz de peças que seguem para recuperação;
- 2 Aumentar índice de peças sem vazamento;
- 3 Reduzir índice de cabeçotes com problemas de falha de material e falha de enchimento.

E assim, atingir-se-á a diminuição de 78% os problemas de cabeçotes neste processo produtivo (Peça de preparo representava 36% deste montante conforme Figura

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANTUNES, J; ALVAREZ, A; KLIPPEL, M; BORTOLOTTI, P; PELLEGRIN, I. Sistemas de produção: Conceitos e práticas para projeto e gestão da produção enxuta. Editora Bookman, 2008.

APPOLINÁRIO, F. Dicionário de metodologia científica: um guia para a produção do conhecimento científico. São Paulo: Atlas, 2004.

ASSUNÇÃO, D. S. *et al.* Gestão da Qualidade - A ferramenta KAIZEN e sua aplicabilidade no setor logístico. 85f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Administração) – UNIP, Santos, 2012

CORAL, Eliza; ABREU, André; FRANÇA Aline. Gestão integrada da inovação: estratégia, organização e desenvolvimento de produtos. Organizadores 1ª ed. São Paulo: Atlas 2013.

CHEN, C. Y. CHANG, P. Y. Implementation of the Lean Six Sigma framework in non-profit organisations: A case study. Total Quality Management & Business Excellence, v. 23, n. 4, 2012

CHIAVENATO, Idalberto. Recursos humanos na Empresa: pessoas, organizações e sistemas. 3.ed. São Paulo: Atlas, 1994.

CONCEIÇÃO, S.V.; RODRIGUES, I.A.; AZEVEDO, A.A.; ALMEIDA, J.F.; FERREIRA, F.; MORAIS, A. Desenvolvimento e implementação de uma metodologia para traca rápida de ferramentas em ambientes de manufatura contratada. Gestão & Produção, vol.16, n.3, 2009.

ELFRING, T.; HULSINK, W. Networking by entrepreneurs: Patterns of tie-formation in emerging organizations. Organization Studies, v. 28, n. 12, 2007.

FOGLIATTO, F. S. & FAGUNDES, P. R. M. Troca rápida de ferramentas: proposta metodológica e estudo de caso. Gestão & Produção vol.10, n.2, 2003.

IMAI, Masaaki. Kaizen: a estratégia para o sucesso competitivo. 5. ed. São Paulo: IMAM, 1994.

IMAI, Masaaki. GembaKaizen: Uma Abordagem de Bom Senso à Estratégia de Melhoria Contínua. Bookman Editora, 2014.

IMAI, M. KAIZEN: A Estratégia para o Sucesso Competitivo. São Paulo: Imam, 1992.

KANNENBERG, G. Proposta de sistemática para implantação de troca rápida de ferramentas. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Programa de Pósgraduação em Engenharia de Produção, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. 1994.

KARASU, M. K.; CAKMAKCI, M.; CAKIROGLU, M. B.; AYYA, E.; DEMIREL-ORTABAS, N. D. Improvement of changeover times via Taguchi empowered SMED/case study on injection molding production. *Measurement*, v. 47, 2014.

KOCH, Richard. O Princípio 80/20: O segredo de se realizar mais com menos. 1 ed. Rio de Janeiro: Rocco, 2000.

MAGNIER-WATANABE, R. Getting ready for kaizen: Organizational and knowledge management enablers. *VINE*, v. 41, n. 4, p. 428-448, 2011.

MULLER, Roger Mário. Integração do método SMED ao método de custeio ABC no diagnóstico de propriedades de melhoria nas operações de setup. Curitiba, PR, 2007.

PERGHER, I RODRIGUES, L. H.; LACERDA, D. P. Discussão teórica sobre o conceito de perdas do Sistema Toyota de Produção: inserindo a lógica do ganho da teoria das restrições. *Revista Gestão & Produção*, São Carlos, v. 18, n. 4, 2011.

RESENDE, M. O.: "Princípios de processos de produção". Volume I, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, publicação 016/92, 1992.

SACCHELLI, C. M., CARDOSO, C. A. 2013. Análise da simulação de Refrigeração no processo de injeção de termoplásticos. Portal do Molde.

SANTOS, Javier, WYSK, Richard A.; TORRES, Jose M. Improving Production with Lean Thinking. New Jersey, EUA; John Willey & Sons, 2006.

SAURIN, T.A.; FERREIRA, C.F. The impacts of lean production on working conditions: a case study of a harvester assembly line in Brazil. *International Journal of Industrial Ergonomics*, vol.39, 2009.

SCHUNZEN JUNIOR, K. Aprendizagem, cultura e tecnologia. São Paulo: Editora UNESP, 2003

SHINGO, S. O Sistema Toyota de Produção: do ponto de vista da Engenharia de Produção. Porto Alegre: Bookman, 1996.

SHINGO, S. Sistema de Troca Rápida de Ferramentas: Uma Revolução dos Sistemas Produtivos. Porto Alegre: Bookman, 2000.

SINGH, B.J.; KHANDUJA, D. SMED: for quick changeovers in foundry SMEs. International Journal of Productivity and Performance Management, vol.59, n.1, 2010.

SUÁREZ-BARRAZA, M. F.; MIGUEL-DÁVILA, J. A. Implementation of Kaizen in Mexico: An exploratory study for a Japanese managerial approach in the Latin American context. Innovar-Revista De Ciencias Administrativas Y Sociales, v. 21, n. 41, 2011

ULUTAS, B. An application of SMED Methodology. International Scholarly and Scientific Research & Innovation, vol.5, n.7, 2011

VALLE, Deniz, “Eficiência, Eficácia e Efetividade do Grupo Especial de Segurança de Fronteira (GEFRON)”, RHM - Vol1 nº 5 - Jan/Jun 2010.

YIN, R. K. Estudo de caso: planejamento e métodos. 4. ed. Porto Alegre: Bookman, 2010.

YUSR, M.; OTHMAN, A. R.; MOKHTAR, S. S. M. Assessing the Relationship among Six Sigma, Absorptive Capacity and Innovation Performance. Procedia - Social and Behavioral Sciences, v. 65, 2012.

ZAMBERLAN, Luciano, Pesquisa em ciências aplicadas. Ijuí: Ed. Unijuí, 2014.