

UNIVERSIDADE FEEVALE

FÁBIO RICARDO NIEDZIATOVSKI

**INOVAÇÃO TECNOLÓGICA NA FABRICAÇÃO DE MOLDES PARA INJEÇÃO DE
SOLADOS**

Novo Hamburgo

2012

FÁBIO RICARDO NIEDZIATOVSKI

**INOVAÇÃO TECNOLÓGICA NA FABRICAÇÃO DE MOLDES PARA INJEÇÃO DE
SOLADOS**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado como requisito parcial à
obtenção do grau de Bacharel em
Engenharia Industrial Mecânica com
habilitação em Gerenciamento Industrial
pela Universidade Feevale.

Orientador: Prof. Me. Fabiano André Trein

Novo Hamburgo

2012

FÁBIO RICARDO NIEDZIATOVSKI

Trabalho de Conclusão do Curso de Engenharia Industrial Mecânica, com o título **Inovação Tecnológica na Fabricação de Moldes para Injeção de Solados**, submetido ao corpo docente da Universidade Feevale, como requisito necessário para a obtenção do Grau de Bacharel em Engenharia Industrial Mecânica – Habilitação em Gerenciamento Industrial.

Aprovado por:

Orientador: Prof. Me. Fabiano André Trein

B.el: Nairon Bernardy Lisboa

Prof. Paulo Bocassius

Prof. Me. Ramon Fernando Hans

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus por me abençoar e me dar força para encarar e vencer todos os medos e desafios encontrados ao longo da minha história, principalmente no período da faculdade, onde conciliei trabalho e estudo como prioridade e dediquei muitas horas para alcançar este objetivo.

Aos meus pais, que sempre me apoiaram e bateram palmas a cada vitória obtida por mim, que em nenhum momento me deixaram desistir dos meus objetivos e que, com certeza, sempre estarão ao meu lado.

Aos amigos, colegas e professores, que dedicaram tempo a fim de me ensinar e compreender inúmeras vezes minhas necessidades e fraquezas.

RESUMO

No atual ambiente competitivo, as empresas necessitam de processos eficazes que correspondam à qualidade exigida dentro dos tempos e custos predeterminados. Dentro deste contexto, as empresas atualizam-se constantemente, buscando melhoria contínua e inovação dos processos. Nesta perspectiva, o objetivo deste trabalho é analisar os custos e o tempo dos processos convencionais de produção de moldes para injeção de solados e propor a aplicação de uma inovação. Foi realizada uma pesquisa exploratória (através de pesquisa-ação), aplicada em uma matrizaria localizada no Vale do Rio dos Sinos. Antes de aplicar o estudo de caso, a empresa tinha dúvida se os processos utilizados para a fabricação dos moldes eram os mais adequados, e se havia a possibilidade de inová-los para diminuir os custos, aumentar a produção e melhorar a qualidade. As informações geradas pela pesquisa foram de fundamental importância para o novo posicionamento da empresa diante de qual processo aplicar em cada situação. Após a análise dos dados obtidos, observou-se que ambos os processos convencionais utilizados - fundição e usinagem - deviam ser mantidos para fabricação dos moldes, pois, algumas vezes, apresentavam bons resultados, porém a aplicação do novo processo é de extrema importância, já que possibilitou à empresa atingir alta qualidade em curto espaço de tempo e com custos aceitáveis, melhorando a sua produtividade.

Palavras-chave: Usinagem. Fundição. Moldes. Injeção. Inovação.

ABSTRACT

In the current competitive environment companies need efficient processes according to required quality, with time and costs established. Inside of this context companies keep updating, looking for improvements and process innovations. Following this idea, the objective of this work is to analyze costs and times of conventional processes to make injection sole molds and suggest and try-out a process innovation. The method used was an investigative research through an action-research, applied in a mold maker factory located in the Vale do Rio dos Sinos. Before applying this study of case the company had doubts if the conventional processes in use were the best ones and if have possibilities to improve the processes looking for better costs, higher production and quality. The information generated by the research gave the bases to the new position of the company to define which process should be applied to different situations. After analyzing the data base results were clearly that both conventional process, casting and milling, should be kept in use, because sometimes they show good results, but the biggest gain was the process innovation, because helps the company achieve higher quality, in short time and acceptable costs, improving productivity.

Keywords: Milling. Casting. Molds. Injection. Innovation.

LISTA DE ABREVIações

- CAD - Desenho Assistido por Computador (*Computer Aided Design*)
- CAM - Manufatura Assistida por Computador (*Computer Aided Manufacturing*)
- CLP - Controle Lógico Programado
- CNC - Controle Numérico Computadorizado (*Computer Numerical Control*)
- DIN - Instituto Alemão para Normatização
- EUA - Estados Unidos da América
- MDF - Placa de Fibra de Média Densidade (*Medium Density Fiberboard*)
- NC - Controle Numérico (*Numeric Control*)
- STL - Extensão de Arquivo CAD de Superfícies Triangulares (*Stereolithography*)
- TCC - Trabalho de Conclusão de Curso
- TPU - Elastômero Termoplástico de PU (*Termoplastic PU*)
- 3D - Três Dimensões

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Simplificação injetora convencional	16
Figura 2 - Cálculo de correção do peso específico	19
Figura 3 - Componentes básicos do molde	25
Figura 4 - Exemplo de fixação por canais laterais	26
Figura 5 - Fluxograma do processo de fabricação por fundição.....	34
Figura 6 - Fluxograma do processo de fabricação por usinagem.....	38
Figura 7 - Testes finais dos produtos da empresa	51
Figura 8 - Fachada da empresa	51
Figura 9 - Projeto de molde bicolor	53
Figura 10 - Fluxograma genérico dos processos de fabricação	55
Figura 11 - Fluxograma do processo de fabricação por fundição.....	57
Figura 12 - Fórmula para o cálculo de contração	63
Figura 13 - Fluxograma do processo de fabricação por usinagem.....	64
Figura 14 - Fluxograma do processo de fabricação misto (teste 1).....	70
Figura 15 - Cama para alinhamento dos modelos.....	75
Figura 16 - Cama com modelos montados	76
Figura 17 - Fluxograma final do processo de fabricação misto	79

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Valores de contração de alguns polímeros	22
Tabela 2 - Tempo e custo produção molde bicolor processo fundição	61
Tabela 3 - Contração de fundição	63
Tabela 4 - Tempo e custo de produção do molde bicolor no processo usinagem.....	68
Tabela 5 - Tempo e custo produção molde bicolor processo misto (teste 1)	72
Tabela 6 - Tempo e custo produção molde bicolor processo misto aprovado.....	77
Tabela 7 - Comparação dos tempos e custos dos métodos de fabricação aplicados na empresa	81

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO	10
1 PROCESSO DE INJEÇÃO DE TERMOPLÁSTICOS	13
1.1 MÁQUINAS INJETORAS	15
2 MOLDES PARA INJEÇÃO DE TERMOPLÁSTICOS	24
2.1 TECNOLOGIAS PARA FABRICAÇÃO DOS MOLDES	30
2.1.1 Processo de fabricação de moldes por fundição	31
2.1.2 Processo de fabricação de moldes por usinagem	35
2.1.3 Usinagem por eletroerosão	40
2.1.4 Usinagem por remoção química	41
2.2 TECNOLOGIAS AUXILIARES PARA PROJETO DOS MOLDES	41
2.3 OPERAÇÕES NA MATRIZARIA	42
3 METODOLOGIA	44
3.1 TIPOS DE PESQUISA	45
3.2 TÉCNICA DE COLETA DE DADOS	47
3.3 ANÁLISE DOS DADOS	47
4 ESTUDO DE CASO	49
4.1 HISTÓRICO DA EMPRESA	49
4.2 APLICAÇÃO PRÁTICA	52
4.2.1 Situação Anterior	52
4.2.1.1 Fluxograma genérico dos processos	55
4.2.1.2 Dados do processo de fabricação por fundição	56
4.2.1.3 Dados do processo de fabricação por usinagem	64
4.2.2 Desenvolvimento do novo processo	69
4.2.3 Situação atual	80
CONSIDERAÇÕES FINAIS	84
REFERÊNCIAS	87

INTRODUÇÃO

A indústria de calçados cresceu muito no Brasil entre os anos 80 e 90. Neste período, a mão de obra barata e informal, os baixos impostos e o câmbio colaboravam para o crescimento do setor, e grandes empresas nacionais e internacionais produziam e exportavam amplos volumes de calçados, fazendo com que o Brasil fosse considerado o maior produtor mundial. Impulsionados pelas grandes quantidades de produção, a indústria de injetados e moldes para injeção também cresceu exponencialmente, porém a qualidade exigida era mínima e o setor pouco se desenvolveu tecnologicamente.

Com o aumento dos custos internos do país e a globalização, houve mudança na cultura das empresas e o setor se voltou para a produção de produtos exclusivos e tecnológicos.

Para atender a necessidade da alta qualidade exigida atualmente, a indústria de moldes também teve que se desenvolver e criar métodos alternativos e mais avançados tecnologicamente para a produção dos moldes, porém as técnicas utilizadas, algumas vezes, comprometem a qualidade ou elevam muito os custos de produção, o que justifica a criação de um método alternativo que gere produtos que satisfaçam o cliente, mas dentro dos custos exigidos pelo setor.

Muitas são as tecnologias existentes para a produção dos moldes e, dependendo da escolha, o projeto pode cumprir ou não às exigências. Por isso, ao desenvolver um novo projeto, surge a dúvida de qual técnica utilizar. A partir desta observação, se define a situação problema deste Trabalho de Conclusão de Curso (TCC): Qual o processo ideal para a fabricação dos moldes para injeção de solados?

Dentre os diversos processos existentes, citam-se os dois de maior aceitação: processo de fundição e processo de usinagem *Computer Numeric Control* (CNC). Ambos são utilizados em grande escala, mas caminham em sentidos opostos. Enquanto a fundição, no segmento de moldes para injeção de solados, se caracteriza por ser basicamente manual, utilizar maior número de mão de obra e possuir baixo custo de maquinários, a usinagem envolve projeto computadorizado, com usinagem CNC, pouca mão de obra, porém, alto investimento em máquinas, gerando custos de produção elevados.

Estes fatores influenciam no momento da escolha entre qual processo aplicar, pois em mercados globais como os de hoje, nos quais a qualidade é o ponto básico e crucial, são os preços que determinam os negócios, e ser competitivo é a chave para se manter no mercado.

Na maioria dos casos, as empresas trabalham com os processos de maneira independente e não avaliando qual é o mais benéfico para a situação. Um exemplo de avaliação distorcida é a grande quantidade de empresas migrando para o uso de centros de usinagem e abandonando o processo de fundição, imaginando que esta é a melhor tecnologia e sem se dar conta de que o processo de fundição, embora envolva maior mão de obra, é útil para muitos projetos que necessitam de detalhamento nos desenhos.

Os centros de usinagem, por necessitarem grande número de horas de usinagem para confeccionar desenhos detalhados, elevam os custos de produção e algumas vezes tornam o processo ineficiente, limitando seu uso na fabricação de moldes para solados. Para preencher esta lacuna utilizam-se métodos de usinagem adicionais, como eletroerosão, porém estas técnicas também contribuem para custos mais elevados.

Por outro lado, a fundição que é benéfica para reproduzir, com perfeição, desenhos e detalhes, é um processo que requer maior trabalho manual e, por isso, eleva os tempos de produção.

Com o propósito de buscar uma solução inovadora que torne o processo de fabricação dos moldes mais eficiente, define-se o objetivo geral do trabalho, que é combinar os melhores recursos de cada processo, criando um método alternativo que permita aumentar a produtividade, melhorar a qualidade e tornar a empresa mais competitiva.

Como objetivos específicos, citam-se os seguintes aspectos:

- a) apresentar os conceitos de produção de moldes;
- b) apresentar os métodos convencionais de fabricação de moldes;
- c) detalhar os processos de fundição e de usinagem de moldes;
- d) propor a criação de um novo processo de fabricação na empresa;
- e) analisar a eficiência do novo processo proposto.

A análise aprofundada dos processos convencionais de fabricação irá mostrar o tempo e os custos envolvidos e, a partir dessas informações, será proposto o método inovador que visa melhorar a produtividade.

A avaliação dos resultados da pesquisa irá influenciar na escolha de qual processo aplicar para os diferentes tipos de moldes, pois o estudo final mostra, de maneira resumida, os benefícios de cada método para os diferentes projetos.

1 PROCESSO DE INJEÇÃO DE TERMOPLÁSTICOS

O homem vem utilizando os materiais termoplásticos há anos no seu dia a dia. Historicamente, registros mostram que desde 1000 a.C, os chineses já utilizavam o verniz extraído de uma árvore para revestir móveis domésticos (WIEBECK; HARADA, 2005), porém somente por volta dos anos 80 que se desenvolveram as técnicas para injeção de termoplásticos.

Os primeiros a receberem patentes sobre esta técnica foram John Hyatt e Isiah Hyatt que, em 1872, utilizaram o processo de injeção para moldar celuloide. No ano de 1878, John Hyatt também apresentou os primeiros moldes múltiplas cavidades (BERINS, 1991). Em 1907, Leo H. Baekeland patenteia as resinas de *fenol-formaldeído*, que substituem a *ebonite* como isolador térmico e, novamente, em 1909, patenteia a *baquelita*, a primeira resina termofixa a substituir materiais tradicionais como madeira, marfim e *ebonite* (WIEBECK; HARADA, 2005). Trabalhos teóricos e experimentais de Wallace H. Carothers irão orientar a teoria geral da policondensação e propulsarão a produção dos muitos polímeros existentes.

No final da década de 30, uma moderna tecnologia começou a se desenvolver (impulsionada pela Segunda Guerra Mundial) e grandes melhorias nos materiais e nas máquinas permitiram que a moldagem por injeção se tornasse economicamente viável. Entretanto, somente no final dos anos 60 é que os estudos se aprofundaram nesta área (BERINS, 1991).

De forma geral, os materiais plásticos são compostos de resinas naturais ou sintéticas que, através de pressão e calor, podem fluir e adquirir uma forma determinada.

A definição oficial de “materiais plásticos”, divulgada pela SPE - *Society of Plastics Engineers* (Sociedades dos Engenheiros Plásticos dos Estados Unidos da América), é a seguinte:

Um grande e variado grupo de materiais, que consiste ou contém como ingrediente essencial uma substância de alto peso molecular, que é sólido no estado final, e que em algum estágio de sua manufatura é suficientemente mole para ser moldado em várias formas, muito usualmente através da aplicação (sejam separadas ou juntas) de calor e pressão (BERINS, 1991).

O conceito básico para o processo de injeção de termoplásticos, segundo Berins (1991), é a capacidade do material plástico ser amolecido pelo calor, moldado sobre pressão e endurecido pelo resfriamento.

Segundo Roman (1997), a moldagem por injeção é um processo cíclico de transformação de termoplásticos e abrange as seguintes etapas:

- a) aquecimento e fusão da resina;
- b) homogeneização do material fundido;
- c) injeção do extrudado no interior da cavidade do molde;
- d) resfriamento e solidificação do material na cavidade;
- e) extração da peça montada.

O material, ao ser colocado no funil de alimentação, entrará em contato com o conjunto injetor. Quando a rosca de injeção (que esta localizada dentro do injetor deste conjunto) começa a carregar, o material é forçado pela gravidade a enchê-lo. Neste momento, o material é aquecido, fundido e, devido à rotação da rosca, homogeneizado.

O próximo passo é a injeção. Depois do canhão carregar, ele ficará à espera do comando de injeção. Quando a máquina esta em automático, ao fechar a porta da injetora, o molde é prensado automaticamente e o material injetado. Logo após a injeção, a máquina começa o ciclo de carregamento novamente e, ao final, o conjunto de fechamento se abre, extraíndo a peça injetada.

O material termoplástico, sempre que possível, deverá ser secado para eliminar a umidade, e o funil de alimentação tapado, a fim de evitar o acúmulo de poeira. As peças injetadas são separadas do canal de injeção e inspecionadas pelo operador; os canais de injeção são moídos e retornados ao processo numa proporção preestabelecida.

Segundo Roman (1997), a alta aceitação do processo de injeção se deu pelas vantagens que este proporciona para indústria. Abaixo, seguem algumas vantagens deste método:

- a) peças podem ser produzidas com altas taxas de produção;
- b) produção de peças de grandes volumes;
- c) custo de mão de obra relativamente baixo;
- d) peças injetadas requerem pouco ou nenhum acabamento;
- e) as peças podem ser moldadas com insertos metálicos;
- f) as máquinas são versáteis e podem injetar diversos tipos de peças.

O plástico moldado por injeção encontra-se nos mais diversos setores e, segundo Berins (1991), é hoje o maior processo de transformação de resina mundial. Nos EUA, a injeção é responsável por processar mais de 20% de toda a resina produzida.

Assim como em outras tecnologias, a moldagem por injeção apresenta algumas desvantagens, dentre as quais, segundo Roman (1997):

- a) competição acirrada;
- b) qualidade da peça é difícil de ser determinada imediatamente;
- c) grandes volumes de produção para amortizar os moldes;
- d) oferece baixa margem de lucro;
- e) valores dos moldes são elevados.

Com a necessidade de altos volumes de produção, a proporção das máquinas aumenta e, junto, o tamanho, a tecnologia e o valor dos moldes. De acordo com Berins (1991), nos Estados Unidos facilmente se encontram moldes com valores superiores a 300.000 dólares.

1.1 MÁQUINAS INJETORAS

A máquina injetora é o equipamento básico para o processo de injeção, pois é o responsável por fazer o trabalho de fundição do material, fechamento do molde, e injeção da resina fundida e homogeneizada para dentro do molde. O molde, por sua vez, está fixada no sistema de fechamento da máquina, e todos os acionamentos são comandados pela injetora.

Segundo Roman (1997), dois são os sistemas que compõem uma máquina de moldagem por injeção: o sistema ou unidade de injeção, e o sistema ou unidade de fechamento do molde.

A unidade de injeção abrange a alimentação da injetora e o cilindro de injeção que comprime a resina para dentro do molde. O grande desenvolvimento se concentrou neste sistema e, devido à baixa condutância ao calor dos plásticos, as injetoras foram ganhando acessórios para garantir uma plastificação satisfatória.

O maior desenvolvimento na moldagem por injeção ocorreu em meados de 1951, quando o americano William H. Willert inventou a injetora com plastificação através de rosca. Esta rosca tem múltiplas funções: alimenta o corpo da injetora,

funde o material e atua como um pistão para injetar a resina na cavidade do molde (WIEBECK; HARADA, 2005).

Muitos são os tipos de injetoras encontradas no mercado, e sua escolha depende dos produtos a serem injetados, pois o tamanho, a espessura e o material da peça injetada influenciam diretamente no tamanho da máquina. As máquinas possuem uma estrutura básica, a qual se visualiza na Figura 1.

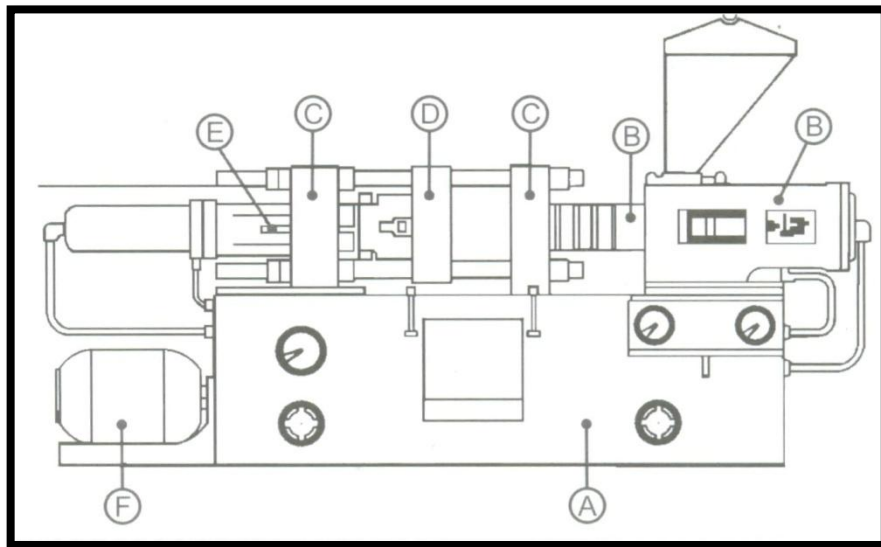


Figura 1 - Simplificação injetora convencional
Fonte: Harada (2004, p. 28).

Esta é uma imagem que ilustra os componentes básicos de uma injetora. Abaixo, segue a relação explicativa dos itens marcados na Figura 1.

- a) base (A) - É a estrutura da máquina normalmente fundida ou confeccionada de cantoneiras soldadas. É ela que sustenta as demais partes da máquina e contém os componentes do sistema hidráulico, o motor elétrico e o reservatório de óleo hidráulico;
- b) conjunto injetor (B) - É uma estrutura fundida formada pelos componentes responsáveis pela injeção;
- c) placa estacionária ou fixa (C) - É nesta placa que se apoia o conjunto injetor. O molde é fixado na placa e, através da bucha de injeção (que liga a cavidade ao lado externo do molde), o polímero é injetado pelo conjunto injetor;
- d) placa móvel (D) - Nesta placa localiza-se o sistema de extração da máquina. A parte do molde que contém este sistema é fixada na placa.

Logo após a injeção, o molde que esta com a peça injetada abre, fazendo com que a extração empurre a peça para fora da cavidade;

- e) conjunto de fechamento (E) - É o conjunto que serve para o deslocamento da placa móvel, possibilitando abertura e fechamento da máquina. É este também que exerce a força de fechamento em cima do molde;
- f) motor e sistema hidráulico (F) - Este sistema é responsável por todos os comandos de movimento da máquina.

Um dos itens mais importantes que compõe a máquina é o sistema ou unidade de injeção, já que está em contato com o plástico e é um dos grandes responsáveis pela qualidade do produto final injetado. Este sistema pode ser encontrado das seguintes formas:

- a) máquina à pistão;
- b) máquina com pré-plastificador de rosca e acionamento hidráulico com injeção à pistão;
- c) máquina com rosca-pistão e acionamento hidráulico ou elétrico para rotação da rosca.

O sistema de injeção à pistão funciona da seguinte maneira: o pistão ou êmbolo recua e o material por gravidade entra no conjunto injetor em frente ao êmbolo. No momento da injeção, o êmbolo avança e, sobre muita pressão, força o material a entrar na cavidade. Segundo Berins (1991), este é um método obsoleto, pois a homogeneidade da resina fundida é pobre e a peça injetada perde a qualidade.

A evolução do sistema anterior é a máquina com pré-plastificador. Este sistema consiste em colocar um conjunto injetor auxiliar fixado em cima do conjunto que realmente será injetado no molde. O conjunto auxiliar executa o trabalho de fundição e homogeneização e força a resina a entrar no conjunto abaixo, o qual vai executar a injeção. Essa tecnologia trouxe muitas melhorias para o processo de injeção, porém tornou-se obsoleta com a criação da rosca recíproca ou rosca-pistão.

A máquina com rosca-pistão é a mais utilizada, pois oferece boa homogeneidade da resina fundida com uma temperatura constante. O funcionamento é simples: o material cai por gravidade diretamente em cima da rosca que, no momento do carregamento, se locomove em movimento de rotação e na direção ao fundo do conjunto injetor. A resina que começa a fundir é empurrada para

frente do conjunto injetor e, ali, fica armazenada. No momento da injeção, a rosca avança sem rotação, forçando o material a entrar no molde (MANRICH, 2005).

O sistema ou unidade de fechamento é responsável por suportar a pressão de injeção e manter o molde totalmente fechado para que não ocorram fugas de material, mais conhecidas como rebarbas.

As unidades de fechamento podem aparecer das seguintes maneiras:

- a) cilindro hidráulico horizontal ou vertical;
- b) fechamento com articulação horizontal ou vertical.

No sistema de fechamento com cilindro hidráulico fixa-se o cilindro na placa móvel da máquina; este é responsável por fechar e abrir a máquina e suportar a pressão de injeção. Embora utilizados sistemas avançados para manter a pressão interna da linha, o fechamento hidráulico não mantém força de fechamento constante.

O sistema de fechamento com articulação funciona de forma diferente do anterior, e é mais eficiente. Uma articulação feita de aço especial é fixada em uma placa anterior à placa móvel e o cilindro hidráulico é fixado na articulação. Quando o cilindro aciona, empurra a articulação e faz com que se movimente. A vantagem deste sistema é o aumento da força de fechamento, pois como o cilindro atua na articulação, multiplica a força. Outra vantagem é que, após a máquina ser fechada, o que suporta a pressão de injeção não é o cilindro hidráulico e, sim, a articulação de aço, a qual mantém a força de fechamento constante em todo o ciclo (BERINS, 1991).

No entanto, o fechamento articulado está geralmente limitado a uma força máxima de 500 toneladas, sendo utilizado nas unidades de menor capacidade e com moldes automáticos (HARADA, 2004).

No caso das máquinas para injeção de solados, as mais utilizadas são as rosca-pistão, com acionamento hidráulico da rosca e do pistão e sistema de fechamento com articulação horizontal ou vertical.

Como comentado anteriormente, para escolher a injetora ideal deve-se, primeiramente, definir a peça que será injetada, a fim de se saber qual o dimensionamento do molde e, logo, dimensionar a injetora. Diversos fatores influenciam na escolha de uma injetora, mas seis são de extrema importância e devem sempre ser levados em consideração:

- a) capacidade de injeção;

- b) capacidade de plastificação;
- c) dimensão das placas;
- d) dimensão entre colunas;
- e) força de fechamento;
- f) pressão de injeção.

A capacidade de injeção é o peso máximo de material que pode ser moldado a cada injeção. Atualmente, por norma, o peso máximo é dado por gramas de poliestireno. Para calcular a capacidade de injeção para outro material é necessário efetuar o cálculo de correção comparado o peso específico do poliestireno ao outro material (HARADA, 2004).

$$\text{Capacidade de injeção (gramas) de material B} = \left[\text{Capacidade de injeção (g) do PS} \right] \times \left[\frac{\text{Peso específico de B}}{\text{Peso específico do PS}} \right] \times \left[\frac{\text{Fator volumétrico PS}}{\text{Fator volumétrico B}} \right]$$

Figura 2 - Cálculo de correção do peso específico
Fonte: Harada, 2004

Por capacidade de plastificação entende-se a quantidade de quilogramas de material que a máquina injetora pode elevar (por hora) à temperatura de moldagem. Esta função é calculada pelo potencial de aquecimento, por isso a quantidade de material que pode ser elevado às condições de injeção (em determinado tempo) depende da temperatura necessária para a fusão e do calor específico do material (HARADA, 2004).

Para fixar o molde na máquina é preciso que haja espaço suficiente entre as colunas da injetora para passar o molde e levá-lo até as placas fixa e móvel. Esta dimensão é determinada pelo vão livre entre colunas na vertical e horizontal, e o molde não deve exceder a esta distância, pois, desta maneira, sua entrada e fixação na máquina são facilitadas. Da mesma forma, a dimensão das placas também influencia diretamente nas dimensões do molde, pois sempre que o molde exceder a dimensão das placas pode-se gerar rebarba na peça injetada.

Outro fator que interfere nas rebarbas das peças é a força de fechamento da máquina. Durante a injeção, é exercida uma força dentro das cavidades que tende a abrir o molde. Essa força é proporcional à área projetada da moldagem e dos canais de distribuição, mais a pressão de injeção. A força de fechamento deve resistir à de

abertura e, sempre que possível, ser maior. Neste caso, é a força de fechamento da injetora que determina o tamanho máximo da peça, pois a tonelagem de fechamento da máquina controla a área máxima projetada de moldagem que um molde pode ter (MANRICH, 2005).

Para que a peça copie bem os detalhes do molde e não tenha falhas dimensionais é necessário calcular a pressão de injeção. Pressão de injeção é a pressão produzida no cilindro de injeção para empurrar a resina para dentro das cavidades, a qual varia de acordo ao material e a espessura da peça injetada.

Conforme citado anteriormente, uma das vantagens do processo de injeção que fortalece seu uso é que a peça injetada sai pronta ou praticamente pronta. Para obter peças com alta qualidade de acabamento superficial e estrutural é preciso utilizar a matéria prima adequada e da maneira adequada.

Muitos dos polímeros necessitam de cuidados especiais de armazenamento e preparação para a injeção. A secagem, por exemplo, é um processo padrão para muitas resinas. Na maioria das vezes, o local de armazenagem do material é muito úmido, e esta umidade se condensa no grão do material. Se este for injetado desta maneira, pode gerar manchas ou trincas nas peças: por isso utiliza-se a secagem para eliminar a umidade do material pré-injeção. Máquinas modernas já contam com sistemas de resistências com regulagem de temperatura para secagem do material no funil de alimentação. Essas resistências, além de desumidificar a resina, fazem um pré-aquecimento, melhorando a eficiência do processo seguinte, pois aumentam a velocidade de fusão do material no canhão injetor, resultando em ciclos mais rápidos e melhorando os acabamentos superficiais, já que a plastificação é mais uniforme (HARADA, 2004).

Para colaborar com aumento da produção e a qualidade das peças é a aconselhável a adição de lubrificantes ao material. Os lubrificantes são líquidos que aumentam a fluidez durante a injeção, sendo assim, facilitam o deslizamento dos grãos, evitando manchas nas peças e diminuindo os ciclos de injeção.

As regulagens de temperaturas, tanto do canhão injetor quanto do molde, são importantes fontes de variação de acabamentos superficiais. Na máquina, a temperatura do canhão ou da injeção pode ser regulada pelas zonas divididas no canhão injetor. Quanto maior a temperatura do canhão, menor será a sua viscosidade e, conseqüentemente, mais fácil será de injetar a resina. Porém, as resinas possuem temperaturas preestabelecidas para a sua fusão, e se a

temperatura do conjunto injetor ultrapassar a temperatura real de fusão a resina fundida (que esta dentro do conjunto injetor) poderá sofrer queimas e comprometer a qualidade do produto final.

Da mesma maneira, a temperatura do molde deve ser controlada para se evitar produtos danificados. Nos moldes, as altas temperaturas reduzem as tensões internas do material, minimizam linhas de junção ou marcas de fluxo e originam superfícies mais brilhantes, porém diminuem os ciclos, pois quanto maior a temperatura de todo o sistema, maior será o tempo que a máquina se manterá fechada. Segundo Harada (2004, p. 50), a faixa de temperatura para aquecimento dos moldes é de 20° a 50° centígrados.

O tempo de injeção e a velocidade de injeção são fatores inversamente proporcionais que atuam em conjunto e afetam diretamente o comportamento do processo. Por tempo de injeção, entende-se o intervalo de tempo entre o instante em que a rosca começa a avançar e o momento em que a pressão de injeção para de atuar e, por velocidade de injeção, entende-se a velocidade com que a rosca avança dentro do canhão injetor durante a injeção, a qual pode ser variável (HARADA, 2004, p. 51).

Durante a injeção, o canhão avança com velocidade alta (por volta de 3cm/s), e logo diminui a velocidade para, aproximadamente, 0,1cm/s. O período inicial de injeção chama-se “tempo de enchimento” e, o final, chama-se “tempo de recalque”. Desta maneira, se o tempo de enchimento for muito pequeno, ou seja, uma alta velocidade de injeção aumenta a probabilidade de queima, linhas de fluxos ou rebarbas na peça. No outro extremo, velocidades de injeção baixas provocam peças deformadas e com altas tensões internas, pois o aumento do tempo de injeção contribui para um maior contato da resina com o metal, sendo que a troca de calor por condução diminui a temperatura.

O tempo de recalque também é uma variável que merece atenção. Se logo após a injeção o pistão corta o avanço, a pressão de injeção cai imediatamente. É muito provável que o material que segue fluido comece a regressar pela entrada de injeção do molde e gere uma pressão negativa, que resultará em “rechupes” na peça (MANRICH, 2005). Para evitar este defeito é sempre necessário manter um tempo de recalque da rosca, a qual manterá a pressão interna do molde por alguns segundos (tempo suficiente para que o canal já esteja endurecido).

Para eliminar problemas sobre o tempo e as velocidades de injeção, é importante encontrar valores balanceados e baseados em testes reais de produção.

Todos os fatores mencionados, quando somados entre si, devem colaborar, principalmente, para baixar o ciclo de injeção. O ciclo de injeção é o intervalo total de tempo entre o instante em que o molde se fecha (durante um ciclo) e o período correspondente no qual ele se encerra (no ciclo seguinte). O ciclo total, segundo Harada (2004), é a soma do tempo do ciclo de máquina mais o tempo que o operador leva para abrir a porta, retirar a peça e fechar a porta. O termo “ciclo de máquina” refere-se à parte do ciclo total, que é controlado pelo *timer* do painel do Controle Lógico Programado (CLP). O ciclo da máquina começa quando o operador fecha a porta que ativa o fechamento do molde. As demais operações ocorrem automaticamente. O ciclo de máquina termina quando o *timer* de “molde fechado” chega a zero e o molde se abre até o limite previamente imposto.

No momento da abertura da máquina a peça é extraída e, dependendo, sua aplicação deve ter um resfriamento bruto (a fim de se evitar contração) ou um resfriamento lento e normal. Segundo Harada (2004), a contração ou encolhimento é a diferença entre as dimensões da peça injetada após esta alcançar o equilíbrio térmico na temperatura ambiente e o tamanho da cavidade em que a peça foi injetada. Essa propriedade é característica dos materiais plásticos que ao serem esfriados se contraem, resultando em um produto final menor que o original. A faixa de contração para polímeros varia em duas famílias: polímeros amorfos, com contração de 0,3 a 0,8%, e polímeros semicristalinos, com contração de 0,6 a 2,2%.

Abaixo, segue tabela relacionando as contrações de diversos materiais:

Tabela 1 - Valores de contração de alguns polímeros

Material	Sigla	Contração%
<i>Poliétileno de baixa densidade</i>	PEBD	1,5 - 2,0
<i>Poliétileno de alta densidade</i>	PEAD	1,5 - 2,0
<i>Polipropileno homopolímero</i>	PPH	1,2 - 2,2
<i>Polipropileno copolímero</i>	PPC	1,2 - 2,2
<i>Poliestireno cristal</i>	PSC	0,3 - 0,6
<i>Poliestireno de alto impacto</i>	PSAI	0,4 - 0,7
<i>Copolímero de acrilonitrila</i>	ABS	0,4 - 0,7
<i>Copolímero de acrilonitrila e estireno</i>	SAN	0,4 - 0,7
<i>Poli (cloreto de vinila) flexível</i>	PVCf	1,0 - 2,0
<i>Poli (cloreto de vinila) rígido</i>	PVCr	1,0 - 2,0
<i>Poli (óxido metileno) poliacetal</i>	POM	1,9 - 2,3
<i>Policarbonato</i>	PC	0,5 - 0,7

<i>Poli (tereftalato de etileno)</i>	PET	1,2 - 2,0
<i>Poli (tereftalato de butileno)</i>	PBT	0,3 - 1,2
<i>Poliamida 6</i>	PA6	0,5 - 2,2
<i>Poliamida 6.6</i>	PA6.6	1,0 - 2,5
<i>Poliamida 11</i>	PA11	1,8 - 2,5

Fonte: Portal Moldes ([s.d.])

No segmento de calçados, os materiais mais utilizados para a produção de saltos, cepas, enfeites e peças rígidas, são: PSAl, PPC, ABS, PVCr e PC e, para a produção de solados, são: PVCf e TR. O TR - *Termoplastic rubber* (borracha termoplástica) não está listado na Tabela 1, mas a sua contração está entre 0,7 a 1,2%. Normalmente, o PVCf, por ser um polímero de menor valor, é aplicado na produção de solados de baixo custo, e o TR, por possuir melhores características físicas, como aderência e resistência ao desgaste, é utilizado na produção de solados de qualidade, muitas vezes, substituindo a borracha, que é um dos materiais mais nobres aplicados na produção de solados.

2 MOLDES PARA INJEÇÃO DE TERMOPLÁSTICOS

Para que a resina fundida (que está dentro do canhão injetor) possa ganhar forma, é necessária a utilização de um molde. Como descreve Harada (2004, p. 93): “O molde ou matriz de injeção é uma unidade completa com condições de produzir peças moldadas. Suas cavidades possuem as formas e as dimensões da peça desejada”.

A classificação “moldes para injeção de termoplásticos” é usada de maneira genérica e engloba diversos tipos e métodos de fabricação. Neste trabalho são estudados, especificamente, os moldes para injeção de solados termoplásticos, sendo que a literatura não apresenta diversidade de material nesta área. O importante é que esta classe de moldes surge dos moldes técnicos, e são confeccionados com simplificações para que funcionem de maneira mais simples e sejam mais econômicos.

A matriz é montada na placa fixa e móvel da máquina e recebe, em sua cavidade, o material plástico fundido e introduzido sobre pressão pela rosca recíproca. O lado do molde que possui o sistema de injeção é fixado na placa fixa da máquina, a qual possui um furo onde o canhão de injeção apoia o bico injetor (diretamente no molde). Para que a resina possa chegar até a cavidade, ela flui através da bucha de injeção (pelo canal de injeção principal e pelos canais de distribuição), chegando até o ponto de injeção que conecta a cavidade. O ponto de injeção é uma passagem reduzida que aumenta a velocidade com que o material invade as cavidades e que, após a extração da peça, facilita a separação da peça injetada dos canais de injeção.

Ao se projetar um molde de injeção, as primeiras considerações se referem ao peso, tamanho e desenho da peça para, então, decidir sobre a localização e a quantidade de cavidades, o local mais adequado para as entradas, os elementos de extração, a necessidade de inserções metálicas, o tipo de fixação, de extração, os sistemas de gavetas roscas e outras particularidades.

Abaixo, seguem os diversos sistemas que compõem um molde e a importância de cada um para o conjunto:

- a) sistema de fixação;
- b) sistema de guias;

- c) sistema de injeção ou alimentação;
- d) sistema de resfriamento;
- e) sistema de extração.

Na Figura 3, estão marcados onde se localizam os sistemas descritos acima.

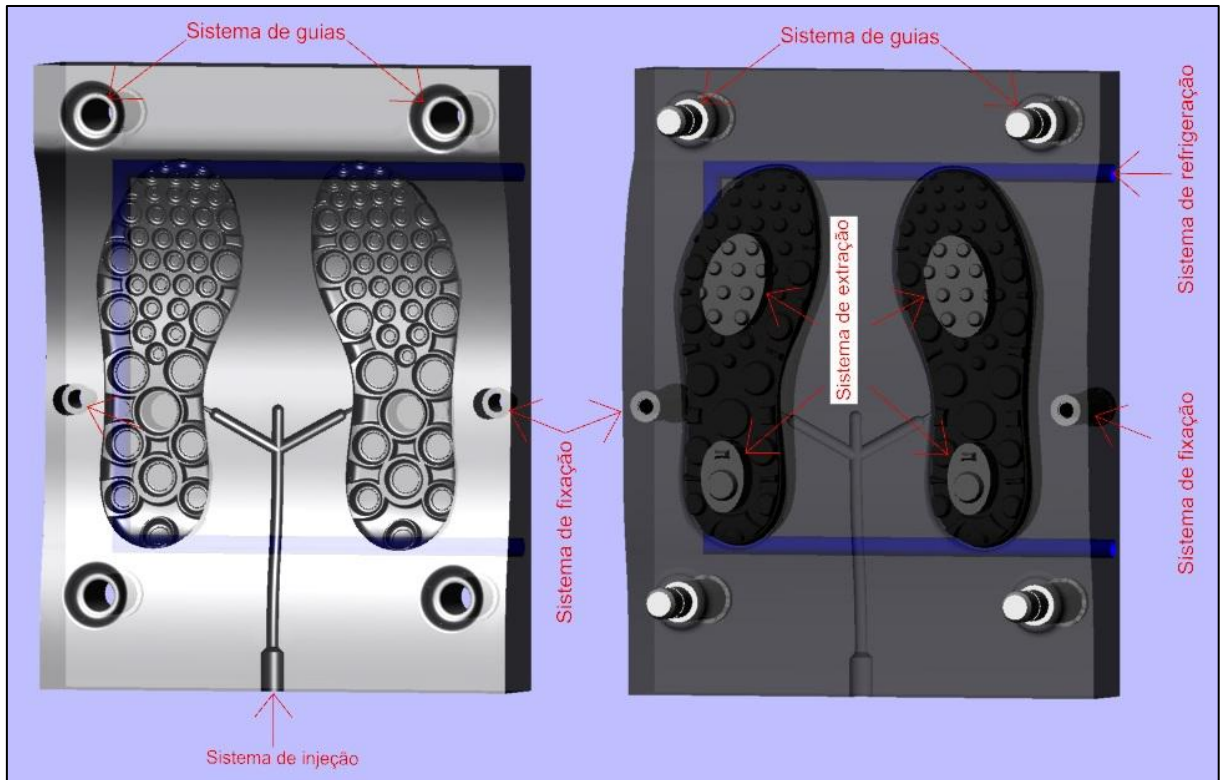


Figura 3 - Componentes básicos do molde
Fonte: Elaborado pelo autor.

Denomina-se sistema de fixação a maneira como o molde é fixado na máquina. Na indústria de moldes técnicos, normalmente é utilizada fixação por grampos laterais, pois os moldes variam muito de tamanho e este é um sistema flexível e fácil de usar. Já na indústria de moldes para injeção de solados as dimensões dos moldes são basicamente as mesmas, o que torna possível a utilização de um porta-molde para acelerar a troca de moldes na máquina.

O porta-molde é um acessório fixado nos platôs da injetora anterior ao molde e possui um sistema de fixação padrão para todos os moldes. Este sistema de fixação pode ser por parafusos ou por encaixes (canais) laterais.

A fixação por parafusos é simples. O molde deve ter os furos de fixação na mesma distância do porta-molde e, assim, quando o molde é colocado no porta-molde, os furos se coincidem e o parafuso utilizado aloja-se no molde, parafusando

no porta-molde. A vantagem deste sistema é que apresenta uma fixação rígida do molde na máquina.

A fixação por canais ou gaveta consiste em abrir rasgos nas duas laterais do molde em sentido longitudinal, os quais são encaixados em uma gaveta “macho”, localizada no porta-molde e, ao empurrar o molde para dentro da máquina, o canal lateral do molde acopla com o porta-molde, prendendo-o. Na Figura 4, exemplifica-se esta fixação.

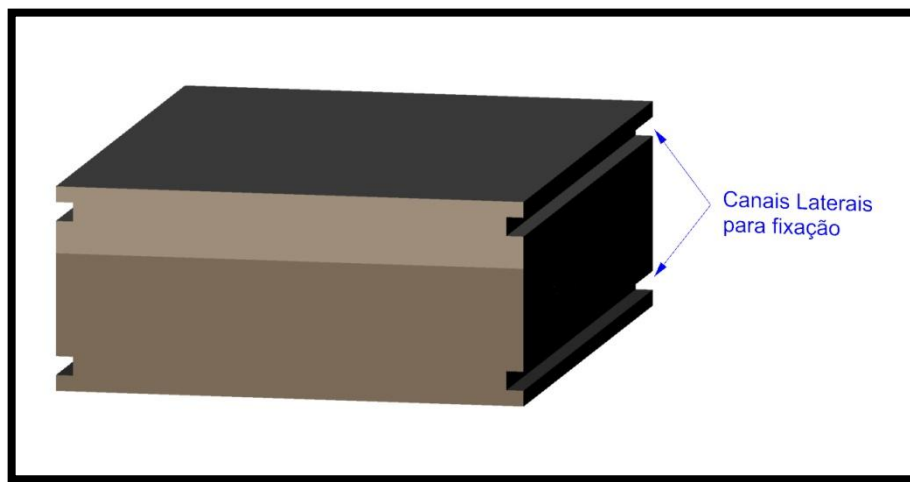


Figura 4 - Exemplo de fixação por canais laterais
Fonte: Elaborado pelo autor.

Este sistema de fixação é muito utilizado, já que proporciona uma troca rápida de molde, porém, a desvantagem é que o molde não fixa rigidamente na máquina e, com a vibração do trabalho, a vida útil do molde diminui.

O sistema de guias é composto por pinos guias e buchas guias, sendo utilizado com o objetivo de sempre manter o molde alinhado à máquina, independente de descuidos ocorridos durante a sua montagem (BERINS, 1991). Os pinos e buchas são confeccionados em aço alta-liga a fim de possibilitar têmpera e retífica, pois o alinhamento das diversas peças que compõem o molde depende da qualidade destes guias. Para evitar avarias no molde é importante que os pinos guias sempre sejam as peças de maior altura no molde, ou seja, eles sempre devem chegar primeiro ao lado oposto, antes de qualquer outra peça (HARADA, 2004).

Após determinar como o molde será fixado e alinhado, é necessário projetar o sistema de injeção. Segundo Harada (2004), determina-se sistema de injeção todos os componentes envolvidos no transporte do material fundido do canhão

injetor até as cavidades do molde, e é composto por bucha de injeção, canais de distribuição e entradas ou pontos de injeção.

A bucha de injeção deve possuir um ótimo acabamento interno para evitar que a resina se prenda nela. A função deste componente é alojar o bico injetor, receber a resina fundida do canhão e leva-la até os canais de distribuição. A peça é fixada de fora para dentro do molde e possui uma superfície arredondada ou em grau (dependendo da situação) para apoio do bico.

Os canais de distribuição são projetados para receber o material do bico injetor e leva-lo até as cavidades com o mínimo de perda de temperatura e pressão. É de extrema importância dimensionar os canais de maneira correta para que eles não afetem o ciclo da máquina e nem a qualidade das peças injetadas (HARADA, 2004).

Os dois formatos de canais indicados são os circulares e os trapezoidais. Quando o material fundido entra em contato com o molde, a superfície externa solidifica-se rapidamente, diminuindo a área útil do canal. O canal circular, por apresentar menor superfície de contato, mantém um melhor fluxo de material e, por isso, é infinitamente mais eficiente que os demais. Em situações onde não há como aplicar os canais circulares, utilizam-se os trapezoidais, porém nunca são utilizados canais com seção semicirculares ou retangulares, pois, além de terem uma área útil muito reduzida (no caso de canais retangulares) dificultam a extração.

Antes de chegar à cavidade, o material deve passar pelo o ponto de injeção. O ponto de injeção é um pequeno orifício que liga os canais de injeção à cavidade, e tem como principais objetivos: aumentar a velocidade do material ao entrar na cavidade para facilitar o preenchimento; esfriar o material na passagem reduzida logo que a cavidade esteja cheia, para evitar que o êmbolo do canhão ao retornar provoque sucção no produto moldado; permitir fácil separação do produto moldado dos canais de distribuição; reduzir marcas no produto provocadas pelo sistema de distribuição; e reduzir a necessidade de compactação durante a moldagem, a fim de compensar a contração do material injetado. Diversos são os tipos de pontos de injeção, e seu uso depende do tipo de projeto do molde, do tipo de peça moldada e da aparência externa da peça.

Durante o processo de injeção o material fundido troca calor com o molde e, após algum tempo de trabalho, a temperatura do molde se eleva. Se esta

temperatura não for controlada muitos problemas podem ocorrer, principalmente, a perda de produção por ciclos elevados e por peças danificadas.

Para acelerar os ciclos de injeção são confeccionados no molde o sistema de refrigeração e o sistema de extração. O objetivo do sistema de refrigeração é diminuir a temperatura do material injetado até um ponto de solidificação suficientemente rígido para permitir a extração da peça. A transferência de calor ocorre por condução, onde a resina troca calor com o molde e o molde troca calor com o fluido refrigerante. Embora a temperatura de trabalho do molde seja na faixa de 20° a 50°C (HARADA, 2004), a temperatura do fluido deve estar bem abaixo disso para que a troca de calor seja eficiente. Segundo Harada (2004), a temperatura de saída do fluido não deve ser superior a 5°C da temperatura de entrada.

O resfriamento do fluido refrigerante ocorre, em sua maioria, por “torre de resfriamento”, onde o fluido que passou pelo sistema é lançado do topo da torre e cai por gravidade, trocando calor com o ar externo e, ao chegar à base da torre, está com a temperatura reduzida e aceitável para retornar ao sistema. Este sistema é o mais econômico, porém não permite que a temperatura do fluido possa ser controlada.

Para obter temperaturas que possam ser controladas e reduzidas a níveis inferiores a temperatura ambiente é necessária a utilização de refrigeradores. Os refrigeradores controlam a temperatura e em muitos casos, aonde há possibilidade, a faixa de temperatura de trabalho dos moldes varia de 10° a 12° graus centígrados.

A regulação da temperatura do molde é feita pelo controle da temperatura do fluido e pela sua vazão no molde.

O sistema de refrigeração afeta diretamente a qualidade da peça e a produção e, por isso, deve estar bem projetado. Entretanto, são muitos os fatores que influenciam para o dimensionamento do sistema, principalmente os formatos e espessuras da peça e o tipo de material que será injetado, portanto, deve ser dimensionado exclusivamente para cada situação. Como a maneira ideal de projetar o sistema é construir diversas entradas e saídas do fluido, é melhor pecar pelo excesso de tubulações internas, as quais podem ser bloqueadas através de válvulas (BERINS, 1991).

Para iniciar o projeto do sistema, primeiramente analisa-se onde estão os pontos críticos da peça, ou seja, paredes espessas que possam demorar muito para

solidificar ou paredes que possam sofrer tensões e se deformarem por um resfriamento rápido. O sistema deve ser projetado para solidificar a peça de maneira uniforme, por isso os canais devem passar perto das paredes mais espessas da peça e nunca perto dos canais de injeção, pois, desta maneira, poderiam dificultar a passagem do material. Como resultado final de um bom dimensionamento, obtêm-se peças de alta qualidade tanto superficiais quanto dimensionais, e ciclos de injeção rápidos.

O sistema de extração é utilizado para remover o produto e o sistema de injeção de dentro do molde de maneira que elimine todos os resíduos de material rígido e deixe o molde limpo para a próxima injeção, fazendo com que este trabalhe de forma automática. Diversos são os sistemas utilizados para extração, por exemplo, pinos extratores, placas extratoras, etc., mas o importante é utilizar o sistema mais econômico e eficaz para extração da peça e durabilidade do molde. Segundo Berins (1991), o maior problema com moldes novos é o sistema de extração, pois como não há fórmula matemática para calcular a força de extração e nem o posicionamento dos extratores, o sistema é desenvolvido pela experiência do projetista. O efeito de um bom sistema de extração para a produção são peças sem deformações dimensionais e um ciclo contínuo de produção.

Em geral, todos os sistemas citados, quando bem projetados, aumentam a produção, reduzem os retrabalhos e a manutenção dos moldes. Segundo Berins (1991), para que um projeto seja bem executado, são envolvidos o cliente, o responsável pelo *design* do produto, o projetista do molde, o responsável pelo controle de qualidade e todas as pessoas que, possivelmente, possam ter ideias de melhorias.

Ele complementa que a qualidade do molde não tem relação com o tamanho da fábrica e, sim, com o maquinário e as instalações da empresa fabricante e que, infelizmente, a escolha da matrizaria normalmente é feita com base no custo inicial do molde, se esquecendo dos custos que um molde mal feito ou mal projetado pode gerar ao longo da produção.

2.1 TECNOLOGIAS PARA FABRICAÇÃO DOS MOLDES

Como comentado anteriormente, os moldes para injeção de solados termoplásticos surgem dos moldes técnicos, mas são projetados para trabalharem de maneira simplificada, reduzindo, assim, os custos de fabricação e, conseqüentemente, o preço para o cliente.

Em uma comparação simples, na maioria dos moldes classificados como moldes técnicos, o material empregado para confecção é o aço, sendo que a liga específica é escolhida de acordo a funcionalidade do molde e o polímero a injetar. No caso de moldes para injeção de solados termoplásticos a realidade é outra. A grande maioria dos moldes é confeccionada em alumínio e a liga específica é escolhida de acordo a quantidade de produção que o cliente estima fazer. O aço é empregado somente na confecção de moldes que necessitem de resistência à ruptura e ao desgaste, ou quando o polímero a ser injetado é dito como nobre, como, por exemplo, o *Termoplastic PU* (TPU), o nylon e a borracha, pois, nestes casos, a pressão de injeção e a pressão de fechamento da máquina são elevadas, podendo danificar o alumínio facilmente.

Graças aos avanços tecnológicos nas ligas e às propriedades do alumínio, hoje, este material pode ser aplicado na confecção dos moldes citados acima, pois há resistência ao desgaste no processo de injeção se comparada ao aço.

Segundo Harada (2004), a cavidade de moldagem é normalmente composta por duas partes: a cavidade ou unidade fêmea, que modela a parte externa da peça, e a tampa ou unidade macho, que configura a parte interna. As demais partes do molde servem como sistemas auxiliares que facilitam o funcionamento. No caso dos moldes para injeção de solados é comum confeccionar o molde somente com cavidade e tampa. As tecnologias utilizadas para obtenção dessas partes são as seguintes:

- a) processos de fundição;
- b) processos de usinagem.

Nos próximos capítulos serão estudados os processos acima citados.

2.1.1 Processo de fabricação de moldes por fundição

O processo de fundição é o processo convencional e, por muitos anos, foi o mais utilizado na fabricação de moldes para injeção de solados já que é mais econômico. Nesta tecnologia existem muitos métodos de fundição que envolvem diferentes procedimentos e materiais. No caso dos moldes para injeção de solados o mais utilizado é a fundição de alumínio por gravidade.

Segundo Oliveira (2010), a definição de fundição é:

Processo de fabricação onde um metal ou liga metálica, no estado líquido, é vazado em um molde refratário com formato e medidas correspondentes aos da peça a ser produzida.

A matéria-prima metálica para a produção de peças fundidas é constituída pelas ligas metálicas ferrosas (ligas de ferro e carbono) e não ferrosas (ligas de cobre, alumínio, zinco e magnésio). O processo de fabricação dessas peças, por meio de fundição, segundo Oliveira (2010), pode ser resumido nas seguintes operações:

- a) confecção do modelo ou maquete;
- b) confecção do molde refratário;
- c) fusão;
- d) vazamento;
- e) desmoldagem;
- f) limpeza;
- g) rebarbação.

A confecção do modelo, segundo Oliveira (2010), consiste em construir um modelo de madeira, resina termoplástica, borracha ou qualquer outro material de baixo custo que propicie bom acabamento superficial, com exatamente o mesmo formato da peça que será injetada. Devido ao processo de fundição e injeção afetarem as dimensões das peças por contração, o modelo deve compensar essas contrações. Como a operação de confecção do molde refratário é de precisão, é de extrema importância que o modelo tenha acabamentos perfeitos, pois quaisquer falhas existentes, sejam elas de montagem ou de texturas mal definidas, serão transferidas para o molde refratário.

O molde refratário é obtido através da cópia do modelo com silicone. A operação consiste em envolver o modelo com silicone líquido (o qual após alguns minutos endurece) e permite que esta seja extraída. Desta maneira, o desenho do modelo é transferido para o silicone formando duas cavidades. Estas cavidades são preenchidas com refratário líquido que, com o auxílio de vibração, fazem pressão contra o silicone e copiam os mínimos detalhes. Esta operação é conhecida como cópia de precisão. Após o endurecimento do refratário, o silicone é removido e o molde é levado à estufa.

Para que o molde refratário possa ser utilizado como modelo de fundição, toda a umidade deve ser removida pelo processo de queima. O molde permanece na estufa por, aproximadamente, nove horas, exposto a temperaturas que sobem e baixam lentamente a fim de evitar o seu empenamento.

A fusão do alumínio é feita em fornos de fundição. O alumínio em lingotes, com liga predeterminada é levado aos fornos de fundição aonde a temperatura de fusão chega a 800°C (OLIVEIRA, 2010). Após realizada a limpeza do material fundindo, este está pronto para o vazamento sobre o modelo refratário.

Na fundição do alumínio, onde seja necessária a cópia de detalhes, é necessária a utilização de prensas de fundição. A prensa de fundição possui uma caixa de aço onde o modelo refratário é colocado. Após fechada, o metal líquido é vazado sobre o modelo refratário, através de um orifício localizado no lado superior da caixa de aço. Ao finalizar o vazamento, este orifício é fechado pelo cilindro hidráulico ou pneumático, e a pressão interna do sistema é aumentada pela pressão de ar da rede pneumática. Este procedimento tem objetivo de pressionar o metal líquido contra as paredes do refratário melhorando a qualidade da fundição.

Após quinze minutos, o alumínio já está em estado sólido e formou um bloco, o qual é removido de dentro da caixa de fundição com o auxílio de marretas e alavancas. Esta operação chama-se desmoldagem e inclui a remoção primária do modelo refratário que está grudado no alumínio.

A próxima operação se chama limpeza do molde. Com o auxílio de jato de água são removidas todas as incrustações de refratário no bloco, principalmente as que estão em lugares de difícil acesso como, por exemplo, dentro da cavidade. Ao finalizar a limpeza, observa-se no bloco fundido uma série de rebarbas ocorridas pela infiltração do alumínio líquido no modelo refratário, devido à pressão exercida no sistema durante a fundição. Essas rebarbas são removidas pela operação de

rebarbação, que utiliza esmirilhadeiras, limas e ferramentas pneumáticas como ferramentas auxiliares.

O processo de fundição, embora pareça simples, tem um alto nível de retrabalho, principalmente na fundição de moldes onde não são aceitáveis falhas nos desenhos e microporosidades. Os defeitos recorrentes da fundição são muitos, mas os mais comuns, segundo Oliveira (2010), são as porosidades ou microporosidades, falhas nos desenhos por fissuras ou quebra do modelo refratário, partículas indesejáveis no alumínio e rechupe.

Outro agravante do processo de fundição é a contração. Todo o processo, desde a confecção do modelo refratário até o resfriamento do bloco fundido, deve ser controlado para evitar empenamentos e variações das medidas. É comum encontrar duas peças fundidas a partir de modelos refratários iguais com diferenças nas dimensões de comprimento e largura.

No final destas operações o bloco, que agora é chamado de cavidade, está pronto para seguir para matrizaria (BERINS, 1991), aonde será confeccionado às demais peças do molde. Abaixo, na Figura 5, segue o fluxograma do processo de fabricação por fundição.

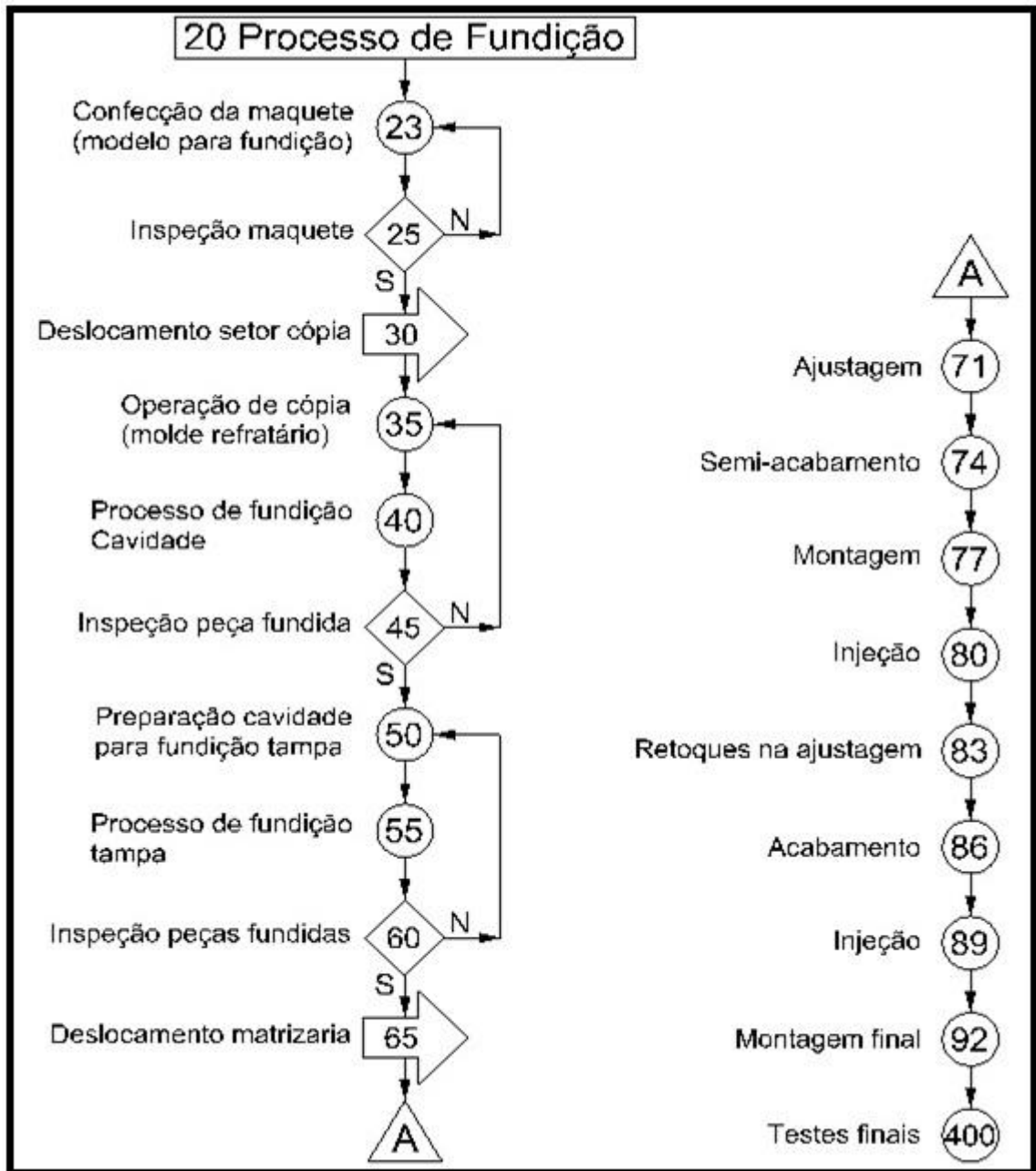


Figura 5 - Fluxograma do processo de fabricação por fundição
 Fonte: Elaborado pelo autor.

Analisando o processo de fundição para fabricação integral de um molde, o primeiro passo é desenvolver os modelos, que podem ser feitas de forma manual, usinadas ou impressas por máquinas de prototipagem. Os maquetes são deslocadas para o setor de fundição onde serão utilizadas para confeccionar o molde refratário das cavidades. Obtido o molde, este é inspecionado pelo operador e, se aprovado, segue para as estufas como modelo, a fim de sofrer a cura pelo processo de queima.

A fundição das cavidades é realizada e uma inspeção criteriosa é feita na peça fundida. Para realizar esta inspeção o técnico, com a ajuda de ferramentas especiais, faz um preacabamento nas cavidades em busca de micropóros ou falhas de fundição. Se as cavidades estiverem aprovadas, esta parte do molde é preparada com ângulos de saída para receber a fundição da tampa. Neste tipo de molde, a própria parte que contém as cavidades serve como modelo de fundição para a tampa.

O metal líquido é vazado diretamente sobre as cavidades e, quando solidificado, forma a parte da tampa do molde. O molde é aberto com o auxílio de alavancas e marretas, e as duas peças são novamente inspecionadas. Caso aprovadas, seguem para a matrizaria, onde serão realizados os trabalhos de ajustagem, acabamento, montagem e injeção. Como se pode ver no fluxograma, as operações do processo de matrizaria se repetem, já que o molde e o produto injetado dificilmente são aprovados na primeira injeção.

Citando questões de investimento, estima-se que hoje para comprar os equipamentos básicos para realizar o processo fundição (forno a gás, estufa elétrica, prensa de fundição, equipamentos auxiliares), o investimento estaria na faixa de R\$ 80.000,00 reais.

2.1.2 Processo de fabricação de moldes por usinagem

A usinagem convencional é conhecida há anos e foi muito utilizada na fabricação de moldes, porém foi abandonada por longo período na confecção de moldes para injeção de solados por se tratar de um trabalho desenvolvido manualmente, que era lento, propiciava pouca inovação nos desenhos e tinha custo elevado.

Com o avanço tecnológico e a criação das máquinas controladas por computador (os CNC's), o trabalho tornou-se automatizado, de alta produção e qualidade e rentável. As principais vantagens da tecnologia atual é a precisão, a repetibilidade, a redução de mão de obra e a redução de trabalhos posteriores de matrizaria. Este processo vem crescendo, pois é a maneira mais rápida de obter peças complexas com alta qualidade dimensional, ou seja, respeitando as medidas do projeto precisamente e obtendo alto desempenho no processo de injeção.

Segundo a norma DIN 8580, o conceito de usinagem aplica-se a todos os processos de fabricação onde ocorre a remoção de material sob a forma de cavaco.

Segundo Dino Ferraresi (1985), o conceito de usinagem é o seguinte:

A usinagem é a operação que confere à peça forma, dimensões ou acabamento, ou ainda uma combinação qualquer desses três, através da remoção de material sob a forma de cavaco.

Segundo Stoeterau (2007), para o estudo da usinagem é importante conhecer alguns conceitos básicos:

- a) a peça é tudo aquilo que irá sofrer uma operação de usinagem;
- b) a ferramenta é tudo o que realiza uma operação de usinagem;
- c) a máquina-ferramenta é o elemento que irá proporcionar movimentos, velocidade, avanço e força, necessários ao processo de usinagem.
- d) o dispositivo de fixação é o local onde será fixada a peça;
- e) o porta-ferramentas é o dispositivo destinado a fixar a ferramenta.
- f) o cavaco é a porção de material da peça retirada pela ferramenta, caracterizando-se por apresentar forma irregular.

Existem diversos processos de usinagem que, segundo Stoeterau (2007), são classificados da seguinte maneira:

- a) usinagem com ferramenta de geometria definida como, por exemplo, furar, fresar, serrar;
- b) usinagem com ferramentas de geometria não definida como, por exemplo, lixar, retificar, brunir;
- c) usinagem por processos não convencionais como, por exemplo, remoção térmica, remoção química, remoção eletroquímica.

Para a fabricação de moldes para injeção de solados são aplicados todos os processos listados acima, porém os mais utilizados são a usinagem com centros de usinagem, a usinagem por eletroerosão e a usinagem por remoção química.

A usinagem com centros de usinagem, conhecido como usinagem CNC, é o processo mais utilizado para a fabricação de moldes na indústria do calçado, pois a velocidade e o custo são os mais eficientes entre os processos de remoção de material.

O processo consiste em utilizar uma máquina controlada por computador para executar a remoção do material automaticamente. Para que tal operação possa

ser executada pela máquina é necessário utilizar o sistema *Computer Aided Design/Computer Aided Manufacturing (CAD/CAM)*.

O sistema CAD é utilizado para se obter o desenho digital da peça em três dimensões. Este desenho serve para projetar as linhas de fechamento, os ângulos de saída e, posteriormente, os sistemas técnicos do molde.

No projeto em três dimensões (3D) são definidas as dimensões do molde, o sistema de injeção, o sistema de guias, o sistema de fixação, o sistema de refrigeração e o sistema de extração, além de todo o detalhamento técnico de funcionamento e montagem das peças. Logo após finalizar o sistema CAD, o molde está pronto para ser elaborado fisicamente, então todo projeto tridimensional é levado ao sistema CAM.

O CAM é a etapa onde o programador define todas as estratégias de usinagem, as ferramentas e a maneira como os blocos maciços serão fixados na máquina para a remoção de material, com o objetivo de obter uma usinagem com qualidade elevada e no menor tempo. O CAM é uma operação de extrema importância para o procedimento de fabricação do molde, pois quanto melhor for a estratégia de usinagem, maior será a qualidade do molde usinado e menor será o tempo de fabricação. Os centros de usinagem geram custos altos para a produção dos moldes, já que a hora-máquina tem valor elevado. Por isso, o programador que esta desempenhando a função deve buscar minimização do tempo constantemente.

Ao finalizar a programação no sistema CAM é necessário exportar toda a informação em uma linguagem padrão, que a máquina entenda e, para que isto seja possível, o CAM exporta essas estratégias através de um programa chamado *Numeric Control (NC)*. Este programa lê as informações do CAM e o transfere para uma linguagem que determina, através de coordenadas lineares e circulares, os movimentos que ela terá de executar. Como existem diversos tipos de comandos (ex.: Mitsubishi, Fanuc, Heidenhain), há diferentes linguagens. Sendo assim, ao gerar o programa NC é necessário configurá-lo para o comando que a máquina CNC esta utilizando.

O próximo passo é fixar os blocos nos centros de usinagem e iniciar a remoção de material.

Embora na maioria dos casos a usinagem por centros de usinagem seja viável, há casos específicos em que há a necessidade de utilização de microferramentas e, devido a isso, o resultado esperado é somente atingido por

outros processos. No caso de moldes para injeção de solados o procedimento secundário é a usinagem por eletroerosão ou remoção química, tecnologias que serão vistas mais adiante.

Abaixo, na Figura 6, segue o fluxo do processo de fabricação de moldes pelo processo de usinagem CNC.

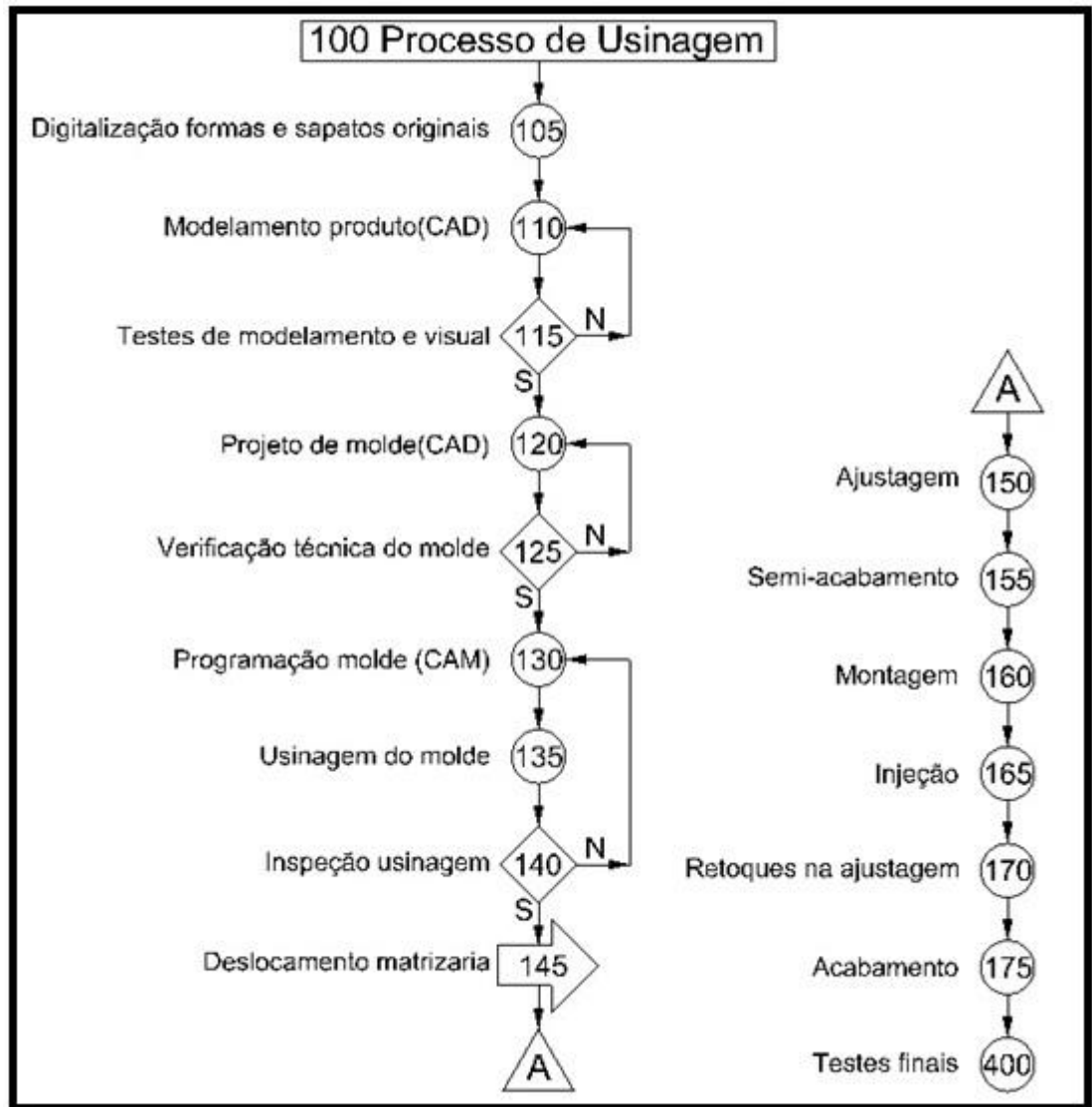


Figura 6 - Fluxograma do processo de fabricação por usinagem
Fonte: Elaborado pelo autor.

O processo consiste em fazer um desenho no CAD, o qual será usinado no bloco de metal. Tudo inicia com a digitalização a laser da forma e dos sapatos originais que o cliente envia com o intuito de desenvolver o seu projeto. Com a digitalização no CAD é possível obter, exatamente, a forma, os volumes de cabedais e do sapato que o cliente deseja ter. A partir dessas informações, é construído o modelamento tridimensional do produto, mas nem sempre é possível ver se este

modelamento está de acordo com o que o cliente realmente quer, sendo, assim, feitos testes físicos do modelamento. Esses testes podem ser obtidos através da usinagem de um modelo visual em blocos de madeira, isopor, resinas plásticas, etc. ou com o auxílio de máquinas de prototipagem conhecidas como impressoras 3D.

Após aprovação do modelamento, o passo seguinte é projetar o molde. Para desenvolver esta operação é necessário conhecer as medidas da máquina do cliente, a maneira como o cliente deseja que o molde trabalhe e os diversos sistemas técnicos compostos por ele e suas aplicações, pois é neste momento que são definidas as suas dimensões, o sistema de fixação, o sistema de injeção e todas as questões referentes ao projeto.

Ao finalizá-lo, é de suma importância haver uma inspeção por parte de um responsável que tenha conhecimento do assunto, pois qualquer erro nesta etapa pode gerar um enorme retrabalho nas etapas seguintes, ou até a perda do molde.

Com o molde projetado no CAD é preciso criar a linguagem de usinagem, ou seja, com o auxílio do CAM todas as peças desenhadas são programadas e geram coordenadas numéricas para as máquinas CNC's, as quais as utilizam para se localizar durante a usinagem. Ao final da usinagem, é necessária uma revisão criteriosa do molde para ver se todos os desenhos e detalhes desenhados foram realmente usinados nos blocos.

Após aprovação da usinagem, o molde segue para matrizaria, onde o trabalho de ajustagem, acabamento, montagem e injeção são realizados.

No processo de fabricação por usinagem o trabalho de matrizaria é infinitamente mais simples que no processo de fabricação por fundição, pois as peças já saem com o ajuste praticamente finalizado e com as furações e o posicionamento de peças auxiliares usinadas que foram previamente definidas pelo projeto (no CAD). Neste caso, o matizeiro somente terá o trabalho de montar os sistemas e acessórios.

A operação de acabamento também é favorecida neste processo, pois os desencontros e falhas, normalmente encontrados em moldes fundidos, são eliminados, e o acabador somente terá o trabalho de acabar com os riscos e as marcas de usinagem.

Citando questões de investimento, estima-se que hoje o investimento para aquisição dos equipamentos básicos para realizar o processo de usinagem por centros de usinagem, está na faixa de R\$ 200.000,00 reais. Os equipamentos em

questão são um centro de usinagem, ferramentas de usinagem, dispositivos de fixação e equipamentos auxiliares.

2.1.3 Usinagem por eletroerosão

Segundo Stoeterau (2007), o conceito de usinagem por eletroerosão se baseia na destruição de partículas metálicas por meio de descargas elétricas. Para executar este processo, são necessários uma máquina (chamada eletroerosão), e um eletrodo, normalmente confeccionado em grafite ou cobre, que é a ferramenta da máquina.

Geralmente, quando são necessárias usinagens complexas, com ferramentas menores que 1mm de diâmetro, se opta pela eletroerosão, pois mesmo com a necessidade de fazer um eletrodo, esta é a maneira mais benéfica e econômica em tais situações.

Na maioria das vezes, o eletrodo é extraído do próprio desenho 3D modelado no CAD. A única diferença entre o eletrodo e a peça que será usinada é o *GAP* (do inglês – folga). Segundo Stoeterau (2007), o *GAP* é o espaço entre o eletrodo e a peça que, no momento da descarga elétrica, é preenchida por uma faísca. Desta maneira, o eletrodo não a toca. A remoção de material ocorre pela elevação de temperatura, provocada pela faísca, a qual vai fundindo e vaporizando a peça enquanto o eletrodo, em proporção muito inferior, se desgasta lentamente.

O acabamento ou rugosidade gerada na superfície usinada depende do *GAP*. Quanto maior o *GAP*, maior a potência da descarga e a quantidade de material removido, e menor será o tempo de usinagem, porém, produzirá uma superfície com rugosidade alta. Do contrário, um *GAP* baixo, produzirá superfícies com rugosidades baixas, entretanto, aumentará o tempo de usinagem. Normalmente utiliza-se um *GAP* elevado para o desbaste da peça e um *GAP* baixo para o acabamento da usinagem.

A vantagem da eletroerosão é a capacidade de fazer rapidamente e com qualidade, detalhes muito pequenos e praticamente impossíveis de serem feitos por métodos de usinagem convencionais (STOETERAU, 2007).

2.1.4 Usinagem por remoção química

A usinagem por remoção química é um complemento para qualquer um dos processos acima citados, pois, normalmente, é utilizada para fazer cópias de texturas como, por exemplo, couro, tecido e crepe, onde a profundidade da gravação não seja superior a 0,6mm. O processo fundamenta-se em colocar um filme de proteção (barreira) nas regiões onde não sejam atacadas pelo ácido corrosivo e, logo, transportá-la para um banho de ácido. A profundidade da gravação é determinada pelo tempo em que a peça fica exposta ao banho de ácido, ou seja, quanto maior o tempo de exposição mais profunda é a gravação.

Como atualmente a diferenciação dos produtos esta nos detalhes, é muito comum os *designers* solicitarem no mínimo duas texturas em um solado, já que o processo de remoção química é essencial para fabricação dos moldes.

2.2 TECNOLOGIAS AUXILIARES PARA PROJETO DOS MOLDES

Para complementar e facilitar o desenvolvimento do projeto dos moldes, e conseqüentemente, os procedimentos de usinagem são utilizadas duas tecnologias atualmente relevantes, são elas: a Engenharia Reversa e a Prototipagem Rápida.

A Engenharia Reversa ou Digitalização a Laser é o processo utilizado para importar um produto em três dimensões no formato digital, partindo de um modelo físico existente. No âmbito de CAD/CAM este é um grande avanço tecnológico, pois a reprodução manual no CAD de peças complexas com formas indefinidas é de extrema dificuldade. No calçado, a tecnologia é utilizada para criar superfícies de um modelo visual já existente.

O processo consiste em digitalizar todos os detalhes do modelo em todos os ângulos possíveis, e levar o resultado desta digitalização no formato *Stereolithography* (STL) ou nuvem de pontos para o computador. As informações importadas em nuvem de pontos não podem ser utilizadas diretamente devido aos defeitos superficiais do modelo padrão e pela deficiência que o processo de digitalização possui ao retratar cantos vivos. Por isso, o produto digitalizado recebe uma preparação em um *software* especial e, logo, é exportado como superfície para

o *software* CAD. Desta maneira, é possível desenhar o produto no CAD baseado no produto físico, facilitando a verificação das medidas e retratando fielmente os detalhes capturados pelo laser.

A Prototipagem Rápida é um procedimento posterior à modelagem no CAD. Normalmente, é utilizada para verificar se o modelamento esta de acordo com o imaginado pelo *designer*, através da reprodução física do modelo digital. O processo funciona, basicamente, como uma impressora que deposita finas camadas de material uma sobre a outra, de forma a somar e construir um modelo visual. Os materiais utilizados para deposição são inúmeros, e os mais conhecidos são os silicones e as resinas. O problema desta tecnologia é o custo elevado, pois como as máquinas e as matérias-primas para impressão estão nas mãos de poucas empresas, os preços se elevam e para o setor do calçado, não viabilizando a utilização.

2.3 OPERAÇÕES NA MATRIZARIA

As operações do setor de matrizaria são realizadas na fabricação de qualquer tipo de molde, e têm como responsabilidade fazer o molde trabalhar de acordo as especificações determinadas no projeto. As operações se resumem nos seguintes itens:

- a) inspeção das peças e partes usinadas;
- b) rebarbação e ajustagem;
- c) acabamento;
- d) montagem;
- e) injeção;
- f) inspeção final;

Primeiramente, todas as peças e partes fabricadas para utilização no molde (independente do processo utilizado) são inspecionadas com equipamentos de precisão, como paquímetros, micrometros, máquinas de medição tridimensionais e durômetros e, somente após a aprovação, seguem para os demais processos.

O profissional encarregado pelas operações de rebarbação e ajustagem é o primeiro a recebê-las após a inspeção. Na operação de rebarbação são removidas as rebarbas, possíveis quinas e arranhões e, na operação de ajustagem, eliminadas

as interferências entre as partes usinadas que formam as cavidades e a tampa do molde.

Nos moldes para injeção de solados, devido aos procedimentos de fabricação, as partes, normalmente, não possuem um fechamento perfeito, ou seja, ao juntar uma peça na outra, ambas não coincidem e, no momento da injeção, formam rebarbas; por isso a necessidade da operação de ajustagem.

Ao final da ajustagem, o molde segue para a operação de acabamento, a qual poderia ser dividida em duas etapas e serem realizadas pelo mesmo profissional. Tais etapas são: o preacabamento, que tem por objetivo eliminar todas as falhas superficiais das cavidades de moldagem, como rugosidade, porosidade, desencontros entre as peças e falhas nos desenhos; e o acabamento final, que proporciona às superfícies do molde o acabamento solicitado pelo cliente, seja ele polido, jateado ou com texturas manuais.

Seguindo o fluxo do processo, a operação seguinte é a montagem do molde onde o operador se encarrega de armar os sistemas de fixação, de guias, de injeção, de resfriamento e de extração. Este profissional, além das montagens acima, prepara o molde para receber peças e acessórios adicionais, revisando-o e lubrificando-o.

Após a montagem, o molde é levado para os testes de injeção. Neste período, o gerente de projetos acompanha, junto ao operador da injetora, todo o comportamento do molde, desde a sua instalação na máquina até a extração das peças injetadas.

Juntos, analisam se o funcionamento está de acordo ao que foi projetado ou se há melhorias a serem feitas. Durante a injeção é realizada a inspeção final do molde, pois o perfeito funcionamento na injetora caracteriza o seu cumprimento com a função técnica.

Com o auxílio de equipamentos de medição é realizada a inspeção nas peças injetadas e, no momento que elas estiverem dentro das especificações do projeto, o molde é aprovado.

3 METODOLOGIA

É através da metodologia que se estudam os vários métodos de pesquisa disponíveis, identificando as limitações, utilizações e avaliando as técnicas e a geração de novos procedimentos, com o objetivo de comprovar e manter a veracidade do conhecimento científico. Para realização deste trabalho foi definida a seguinte ordem metodológica: definição do problema da pesquisa e da metodologia, pesquisa bibliográfica, coleta de dados e análise dos dados.

Quanto à pesquisa, Prodanov e Freitas (2009) explicam que tem por objetivo conhecer e explicar os fenômenos, fornecendo respostas às questões significativas para a compreensão da natureza. Para Lakatos e Marconi (2007, p. 157), a pesquisa é um “procedimento reflexivo sistemático, controlado e crítico, que permite descobrir novos fatos ou dados, relações ou leis, em qualquer campo do conhecimento”. Quando aplicada adequadamente, a pesquisa produz conhecimentos científicos que colaboram para o profundo entendimento do assunto e para o avanço do conhecimento humano.

A pesquisa bibliográfica, segundo Prodanov e Freitas (2009), visa recolher, analisar e interpretar as contribuições teóricas (já publicadas) para o estudo em questão. Lakatos e Marconi (2007) complementam que podem ser utilizados desde publicações avulsas, boletins, jornais, revistas, livros, pesquisas, monografias, teses, material cartográfico, etc., até meios de comunicação orais: rádio, gravações em fita magnética e audiovisuais, filmes, televisão e entrevistas. A finalidade é colocar o pesquisador em contato direto com tudo o que foi escrito, dito ou filmado sobre determinado assunto para que este se aprofunde e analise a veracidade de todo material.

O estudo de caso, para Prodanov e Freitas (2009), é o estudo minucioso e profundo de um ou mais objetos, onde o pesquisador deve ter grande equilíbrio intelectual e capacidade de observação dos detalhes, com imparcialidade nos resultados obtidos. Segundo Gil (2002), o estudo de caso possui uma característica diferente das outras pesquisas, pois utiliza mais de uma técnica. Para a coleta de dados podem-se envolver a observação da ocorrência do fato, entrevistas estruturadas e não estruturadas, além de levantamentos bibliográficos e documentais. Os resultados obtidos precisam ser provenientes da convergência ou

da divergência das observações retiradas de diferentes procedimentos. Dessa maneira, torna-se possível conferir validade ao estudo, evitando que este fique subordinado à subjetividade do pesquisador.

Quando o pesquisador se envolve diretamente com o estudo proposto, é aplicada a pesquisa-ação que, segundo Thiollet (1998), trata-se da pesquisa social concebida em estreita associação a uma ação ou resolução de um problema, no qual os pesquisadores e os participantes envolvidos atuam de modo cooperativo ou participativo. Segundo Prodanov e Freitas (2009), a pesquisa-ação acontece quando os participantes desempenham um papel ativo na solução dos problemas, no seu acompanhamento e na busca por respostas.

Segundo a forma de abordagem do problema têm-se a pesquisa quantitativa e a pesquisa qualitativa. A pesquisa quantitativa, segundo Prodanov e Freitas (2009), considera que tudo pode ser quantificável, o que significa traduzir em números opiniões e informações a fim de classificá-las e analisá-las. Emprega-se esta forma de abordagem em vários tipos de pesquisas devido à facilidade de descrever a complexidade de uma determinada hipótese ou problema em maior profundidade e compará-la de maneira numérica, seja ela estatística, percentagem, média, etc.

Já a pesquisa qualitativa se baseia na análise indutiva do pesquisador que, neste caso, é o instrumento-chave para a coleta de dados, preocupando-se muito mais com o processo do que com o produto (PRODANOV; FREITAS, 2009). Os dados colhidos durante todo o procedimento de pesquisa são as premissas que o pesquisador irá utilizar para analisar (com lógica) a correlação entre os fatos e determinar uma conclusão verídica da pesquisa. Esta pesquisa não requer o uso de métodos e técnicas estatísticas; os dados coletados são descritivos e retratam o maior número de elementos existentes na realidade estudada.

3.1 TIPOS DE PESQUISA

Quanto ao tipo de pesquisa, em relação aos objetivos, desenvolveu-se a pesquisa exploratória através de livros, artigos, *sites*, entrevistas e análise de exemplos práticos. Segundo Prodanov e Freitas (2009), a pesquisa exploratória tem como finalidade proporcionar mais informações sobre o que será investigado a fim

de orientar o pesquisador com a definição dos tópicos, dos objetivos e das hipóteses a serem estudadas. Trata-se de uma pesquisa de planejamento flexível e que permite o estudo do tema por diversos ângulos.

Em relação ao tipo, quanto aos procedimentos técnicos, utilizou-se a pesquisa bibliográfica (acompanhada de pesquisa documental) e a pesquisa-ação. Segundo Gil (2006), a principal diferença entre pesquisa bibliográfica e pesquisa documental é a natureza das fontes, pois enquanto a pesquisa bibliográfica se utiliza, fundamentalmente, das contribuições de fontes que, de alguma forma, já foram analisadas (como artigos científicos e livros), a documental se baseia em materiais que não receberam tratamento analítico ou que podem ser reelaborados de acordo com os seus objetivos. Cabe ao pesquisador analisar a veracidade do material.

A pesquisa-ação, segundo Thiollet (1998), acontece sempre e quando o pesquisador está envolvido de modo cooperativo ou participativo na pesquisa. Neste caso, o pesquisador é funcionário da empresa em questão (há dez anos) e atua diretamente na criação e desenvolvimento dos moldes, sendo responsável pela melhoria e inovação do processo produtivo.

Através da observação e participação nos diversos processos de fabricação utilizados dentro da organização, o pesquisador definiu as melhores técnicas, benefícios e influências no tempo total de fabricação dos moldes. Como o processo produtivo é resultado do trabalho em conjunto, as informações não somente foram geradas pelo pesquisador, mas, também, pelos diversos participantes que opinaram e criaram hipóteses sobre o estudo, enriquecendo ainda mais os debates e o banco de dados para profunda análise posterior.

Segundo a forma de abordagem do problema, utilizou-se a pesquisa qualitativa, pois esta possibilita uma análise profunda, porém indutiva, do observador em relação ao estudo. Preocupa-se muito mais com o processo do que com o produto. Segundo Prodanov e Freitas (2009, p. 141), “o ambiente natural é fonte direta para coleta de dados, interpretação de fenômenos e atribuição de significados”.

3.2 TÉCNICA DE COLETA DE DADOS

A coleta de dados é a fase da pesquisa em que se indaga e se obtêm dados da realidade pela aplicação de técnicas. Segundo Prodanov e Freitas (2009), a coleta de dados pode envolver a observação da ocorrência do fato, entrevistas estruturadas e não estruturadas, levantamentos bibliográficos e documentais. Os resultados obtidos no estudo de caso devem ser provenientes da convergência ou da divergência das observações obtidas de diferentes procedimentos. O pesquisador deve ter grande equilíbrio intelectual e capacidade de observação dos detalhes. Dessa maneira, se torna possível conferir validade ao estudo.

A técnica aplicada para a coleta de dados foi o estudo de caso que, segundo Prodanov e Freitas (2009), é o estudo profundo e exaustivo de um ou poucos objetos de maneira com que se permita o seu amplo e detalhado conhecimento. No presente estudo, o pesquisador observou inúmeras vezes os diversos processos de fabricação, extraindo informações detalhadas sobre cada etapa, utilizando fotos e vídeos, criando debates e comparando os dados obtidos à bibliografia existente, na busca de respostas verídicas e eficazes.

Os processos de fabricação de moldes são complexos e, para obter respostas reais, o estudo deve ser observado diversas vezes e em diferentes situações. Por isso, o processo de coleta de dados foi desenvolvido ao longo do ano de 2011, na empresa Matrizaria Polako Ltda., localizada no Vale do Sinos, na qual se aplicam todos os processos de fabricação apresentados neste trabalho e pela qual foi possível analisar a aplicação prática dos procedimentos e compará-los entre si, a fim de se obterem resultados verídicos.

3.3 ANÁLISE DOS DADOS

A análise dos dados é a interpretação das informações obtidas com o objetivo de se chegar a uma solução. Segundo Prodanov e Freitas (2009), a análise deve ser feita com o intuito de atender aos objetivos propostos, comparar e confrontar dados e provas, visando a confirmação ou rejeição das hipóteses ou pressupostos. Essas relações podem ser estabelecidas em função de suas

propriedades relacionais de causa-efeito, produtor-produto, de correlações, de análise de conteúdo, etc. (LAKATOS; MARCONI, 1991, p. 167).

Devido à pesquisa ser relativa ao processo e à maneira como se aplica as diversas operações durante o procedimento, a análise dos dados transcorreu, primeiramente, de maneira qualitativa, a partir da comparação dos diversos métodos aplicados para a fabricação dos moldes. Não são somente os números estatísticos que determinam a viabilidade do processo e, sim, a forma e o cuidado com que ele é aplicado.

O método qualitativo foi escolhido para análise inicial dos dados, já que proporciona flexibilidade ao pesquisador no momento da coleta de dados. Prodanov e Freitas (2009), definem pesquisa qualitativa como uma relação dinâmica entre o mundo real e o sujeito, isto é, um vínculo indissociável entre o mundo objetivo e a subjetividade do sujeito que não pode ser traduzido em números.

Primeiramente, observou-se que os processos convencionais não estavam satisfazendo às necessidades dos clientes e, logo, partiu-se para a inovação e criação de novos métodos de fabricação. Nas bases bibliográficas existentes, foram analisadas as diversas tecnologias na área e buscaram-se meios de conhecê-las e aplicá-las no processo. Os resultados obtidos foram muitos, mas poucas tecnologias realmente confirmaram a utilização.

Para aprofundar a análise dos dados, aplicou-se o método quantitativo, que compara o tempo e os valores envolvidos em cada processo numericamente, facilitando a análise de rentabilidade dos diferentes procedimentos para a empresa.

4 ESTUDO DE CASO

4.1 HISTÓRICO DA EMPRESA

A empresa foi fundada em agosto de 1988, com a razão social de Metalúrgica NR Ltda. Segundo o Manual da qualidade Matrizaria Polako (2004), a atividade inicial da empresa era realizar trabalhos metalúrgicos como soldas especiais e usinagens em geral, mas sua proposta de negócio estava voltada para a produção de matrizes para injeção de solados, pois seu fundador já tinha grande experiência na área de injeção e manutenção de matrizes de solados.

Neste primeiro momento, o objetivo era fornecer matrizes para injeção de solados no mercado local e no nordeste brasileiro e, junto a isto, fazer consertos e melhorias em matrizes já existentes. Em 1989, a empresa produziu as primeiras coleções, que foram enviadas para o nordeste. Após cinco anos de atuação no mercado interno e um bom conhecimento adquirido, a empresa decidiu investir no mercado externo e, em 1994, teve seu primeiro contato internacional.

O país-alvo, neste momento, era a Argentina, onde parcerias foram criadas. A partir daí, houve um incremento significativo na produção sendo que, em pouco tempo, a empresa já exportava para o Paraguai, Uruguai, Chile e a Argentina.

Em 1997, a razão social passou a ser Matrizaria Polako Ltda. Com o mercado interno pulsante no ano 2000, decidiu-se então abrir uma filial no nordeste do Brasil, na cidade de Campina Grande / PB. Neste mesmo período, a necessidade de expansão impulsionou a empresa na buscar por parceiros da Ásia, África e Europa.

Atualmente, a empresa fornece matrizes para todo o Brasil e exporta para diversos países, como México, Peru, Bolívia, Colômbia, Equador, Argentina, Guatemala e África do Sul.

Segundo o seu fundador, Eloi Niedziatovski, desde o principio houve a necessidade de produzir moldes com alta qualidade, além de se atualizar continuamente. Sendo assim, a empresa zela por uma produção verticalizada, produzindo desde o modelo (que é o passo inicial do projeto) até os testes finais de injeção.

A partir de 2002, optou-se por implementar sua tecnologia e as primeiras máquinas CNC para usinagem foram adquiridas. No princípio, eram usinadas apenas os modelos e moldes simples, mas com o ganho de experiência iniciou-se a usinagem de moldes complexos. Hoje, a empresa conta com inúmeras máquinas CNC's que trabalham 24h, usinando modelos para fundição e matrizes em aço e alumínio.

Em 2004 o mercado exigia maior qualidade e padronização nas matrizes, e a Matrizaria Polako foi em busca de tal excelência. Após uma longa reformulação na maneira de produzir moldes, se tornou a primeira matrizaria para solados do Brasil a obter o ISO 9001/2000.

Este reconhecimento trouxe respeito ao nome da empresa, de forma com que a Matrizaria Polako seja, hoje, considerada uma referência em alta qualidade na elaboração de moldes para o setor de calçados, e esteja entre as grandes matrizerias (deste segmento) do Brasil.

A empresa é composta por 10 setores, conforme listados abaixo:

- a) administração;
- b) maquetaria;
- c) projetos e inovação;
- d) usinagem;
- e) fundição;
- f) fresagem;
- g) matrizaria 1;
- h) matrizaria 2;
- i) inspeção de qualidade;
- j) expedição.

Seus principais produtos são:

- a) moldes monocolor (PVC e TR);
- b) moldes para PU;
- c) moldes para PVC expandido;
- d) moldes bicolor (PVC e TR);
- e) moldes para sandálias *full plastic* (tudo em plástico);
- f) moldes para injeção direta (PVC, TR e PU);
- g) moldes para EVA expandido;
- h) moldes para borracha prensada.

Para manter-se entre as grandes empresas no segmento, a Matrizaria Polako definiu como negócio o desenvolvimento (com arte) do processo de injeção. Como Missão, visa inovar e concretizar ideias na produção de moldes com alta qualidade, de modo sustentável e que contribua para o crescimento dos parceiros e, como Visão, busca ser reconhecida como a empresa com a melhor precisão no mercado em que atua, até 2015.

Abaixo, na Figura 7, seguem alguns produtos desenvolvidos pela empresa.



Figura 7 - Testes finais dos produtos da empresa
Fonte: Manual da Qualidade (MATRIZARIA POLAKO, 2004).

Pela Figura, nota-se que a linha de produtos da empresa é bem completa, produzindo moldes para injeção, desde enfeites até sandálias totalmente injetadas em plástico.

Na Figura 8, segue a foto da fachada da empresa, vista pela entrada principal.



Figura 8 - Fachada da empresa
Fonte: Manual da qualidade (MATRIZARIA POLAKO, 2004).

Nesta imagem, no lado esquerdo, estão localizados o escritório e as salas da gerência e, no lado direito, o setor de projetos.

4.2 APLICAÇÃO PRÁTICA

4.2.1 Situação Anterior

Dentro da divisão organizacional a Matrizaria Polako possui um departamento chamado Projetos e Inovação, onde são desenvolvidos todos os projetos com maior nível de complexidade, os usinados, os inovadores e as melhorias ou inovações no processo produtivo. A escolha deste setor para a realização dessas atividades se deve ao alto nível tecnológico que possuem as máquinas e equipamentos, e pela qualificação profissional dos colaboradores.

O departamento conta com vários computadores, *softwares* de *design*, de CAD e de CAM, equipamentos de medição avançados, digitalizadores a *laser*, centros de usinagem automatizados, máquina de prototipagem, dispositivos e equipamentos avançados para usinagem de moldes. Todas essas ferramentas possibilitam ao setor o desenvolvimento dos trabalhos normais e a inovação do processo diariamente.

Devido a esta tecnologia, considerada elevada para este segmento de moldes, os diretores acreditaram que havia possibilidade de melhoria nos processos de fabricação, e no final do ano de 2010, solicitaram uma reunião técnica para cogitar a melhoria no processo produtivo de moldes bicolores. Moldes bicolores são projetos mais complexos e que levam mais tempo para serem feitos que outros moldes monocores ou moldes de PU, por envolverem três ou mais partes para sua confecção, conforme mostra Figura 9.

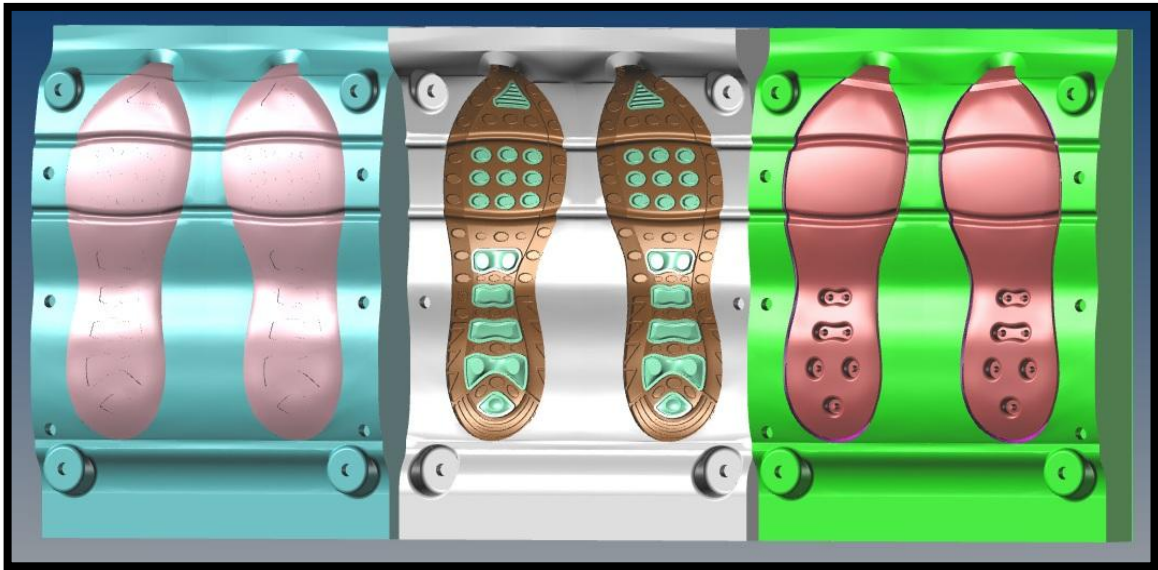


Figura 9 - Projeto de molde bicolor
Fonte: Elaborado pelo autor.

Na Figura 9, segue o exemplo de um molde bicolor composto por três partes, onde a parte central é a cavidade, a parte lateral esquerda é a tampa da primeira cor, e a parte lateral direita é a tampa da segunda cor.

Moldes como este exigem alta qualidade na fabricação e em processos convencionais, ou seja, para atingir a qualidade solicitada não é fácil. Como estes moldes possuem valor agregado, o preço de venda é maior e permite uma melhoria no processo, mesmo que se elevem os custos de produção.

O objetivo da melhoria seria desenvolver um processo inovador que diminuísse o tempo de fabricação, aumentasse a produção e mantivesse os custos de produção dentro dos níveis normais.

As operações de produção dos moldes são divididas em células de produção, onde cada uma desenvolve uma etapa do processo. Como existem mais de um método de fabricação, ao início de cada projeto de molde determina-se qual será utilizado. A ideia sugerida na reunião era de juntar os processos utilizados na empresa, pois, trabalhando de forma independente (como a usual), nem os custos e nem a qualidade não satisfaziam.

Desta forma, optou-se por designar um técnico para observar os processos convencionais de fabricação, e buscar a possibilidade de união dos métodos a fim de se obter uma inovação do processo produtivo.

A pesquisa teve início em 2011, com o técnico observando a produção de alguns moldes pelos processos convencionais. Os processos observados foram a

fabricação dos moldes pelo processo de fundição e pelo processo de usinagem. Segundo Prodanov e Freitas (2009), o método observacional é um dos mais utilizados por possibilitar o mais elevado grau de precisão nas ciências sociais. Este consiste em observar os fatos que aconteceram ou estão acontecendo sem interferir sobre eles e extrair o máximo de informações objetivas referentes à pesquisa em questão.

Ao término dos diversos moldes observados, o técnico reuniu informações pertinentes sobre os dois processos e trouxe informações adicionais sobre os diferentes métodos não aplicados na empresa. Após a reunião com a direção e os outros gerentes, ficou definido que havia a possibilidade da criação de um novo processo de fabricação, desde que os setores trabalhassem de maneira mais próxima e organizada. Por experiência, sabe-se que desenvolver um novo método de trabalho é um processo lento e que exige trabalho em conjunto para a obtenção dos resultados.

Com a aprovação unânime desta ideia, o mesmo técnico ficou incumbido de obter informações mais detalhadas a respeito dos processos convencionais utilizados. Nesta segunda etapa, realizou-se a coleta de dados e acompanhou-se a fabricação dos moldes passo a passo.

Para a obtenção de dados que pudessem ser comparados, foram eleitos projetos com dificuldades semelhantes para observação. Alguns projetos de moldes são tão complexos que independe do processo de fabricação, pois os tempos serão elevados. Por isso a importância de selecionar, rigorosamente, os moldes para amostragem.

Foram coletadas informações precisas sobre as características técnicas dos moldes, os processos de fundição e de usinagem, os tipos de modelos e moldes refratários, as contrações, os defeitos, o fluxograma e o tempo das operações (valor hora/homem e hora/máquina) e dos defeitos ocorridos por falhas no projeto, tudo registrado com fotos e filmagens.

A seguir, apresentam-se os dados obtidos dos processos convencionais anteriores a inovação.

4.2.1.1 Fluxograma genérico dos processos

A confecção total de um molde envolve diversas operações que variam de acordo com o processo escolhido, porém o técnico observou que, embora os processos de fabricação por fundição e usinagem sejam diferentes, o fluxo dos processos (no início e no final) se mantêm iguais, por isso criou-se o fluxograma genérico do processo, conforme mostrado na Figura 10.

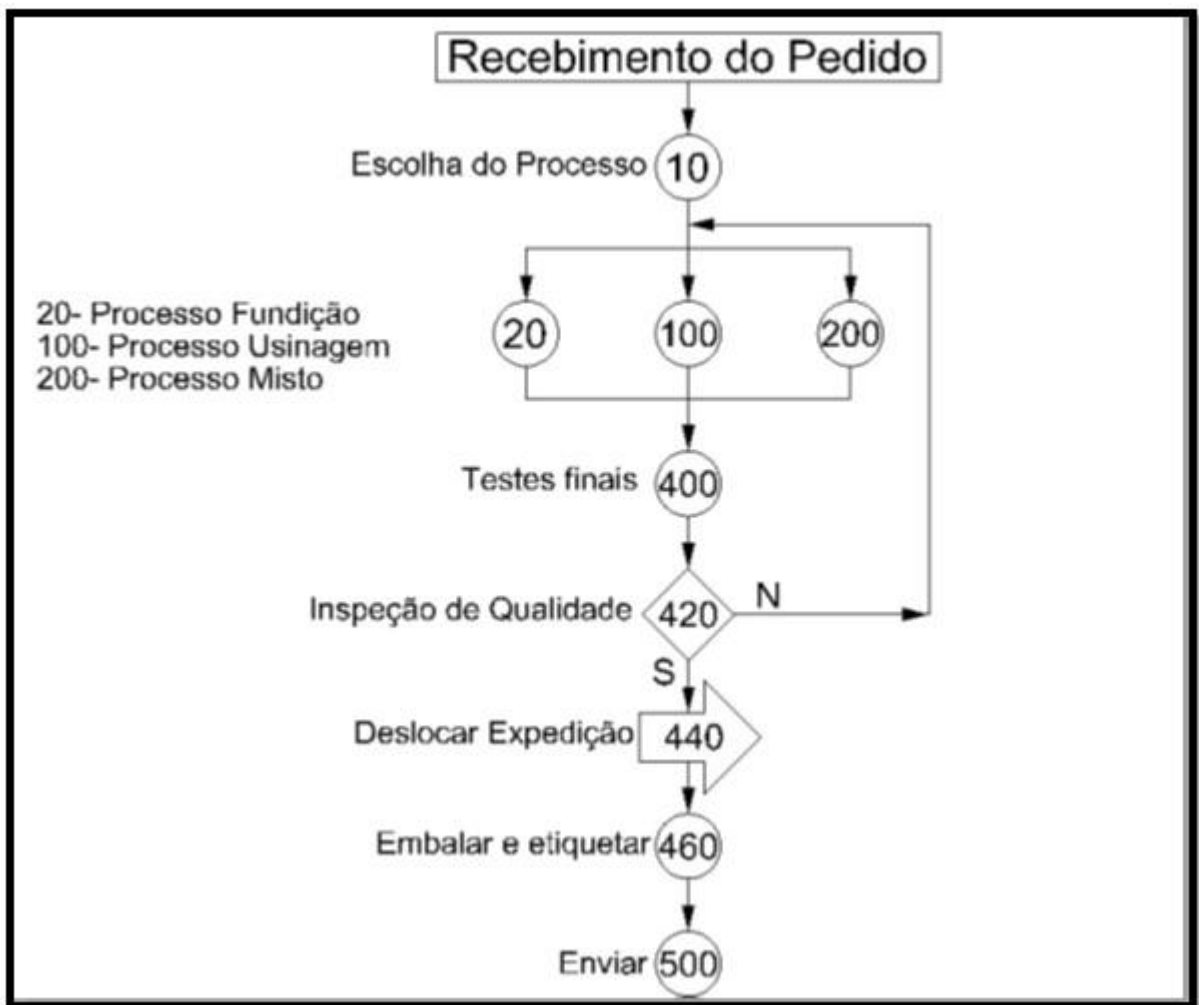


Figura 10 - Fluxograma genérico dos processos de fabricação
Fonte: Elaborado pelo autor.

Após a aprovação do pedido, o setor de vendas encaminha a ordem de execução e as necessidades do cliente para o setor de projetos. Tais necessidades englobam a qualidade desejada no molde e o valor do investimento no projeto. A partir dessas informações, o projeto é analisado criteriosamente e, posteriormente, decidido qual o processo de fabricação que será aplicado.

Definido o processo, os quais serão vistos detalhadamente, a seguir, o molde é finalizado na matrizaria e segue para os testes finais. Após, encaminhado para a inspeção de qualidade e expedição, onde será embalado, etiquetado e enviado.

4.2.1.2 Dados do processo de fabricação por fundição

A fabricação de moldes pelo processo de fundição engloba a tecnologia de fundição e as operações de matrizaria. Segundo a observação do técnico, o fluxograma do processo de fabricação por fundição pode ser apreciado na Figura 11.

Neste fluxograma, foram detalhadas as atividades mais importantes, pois o objetivo é entender o fluxo e obter o tempo total do processo.

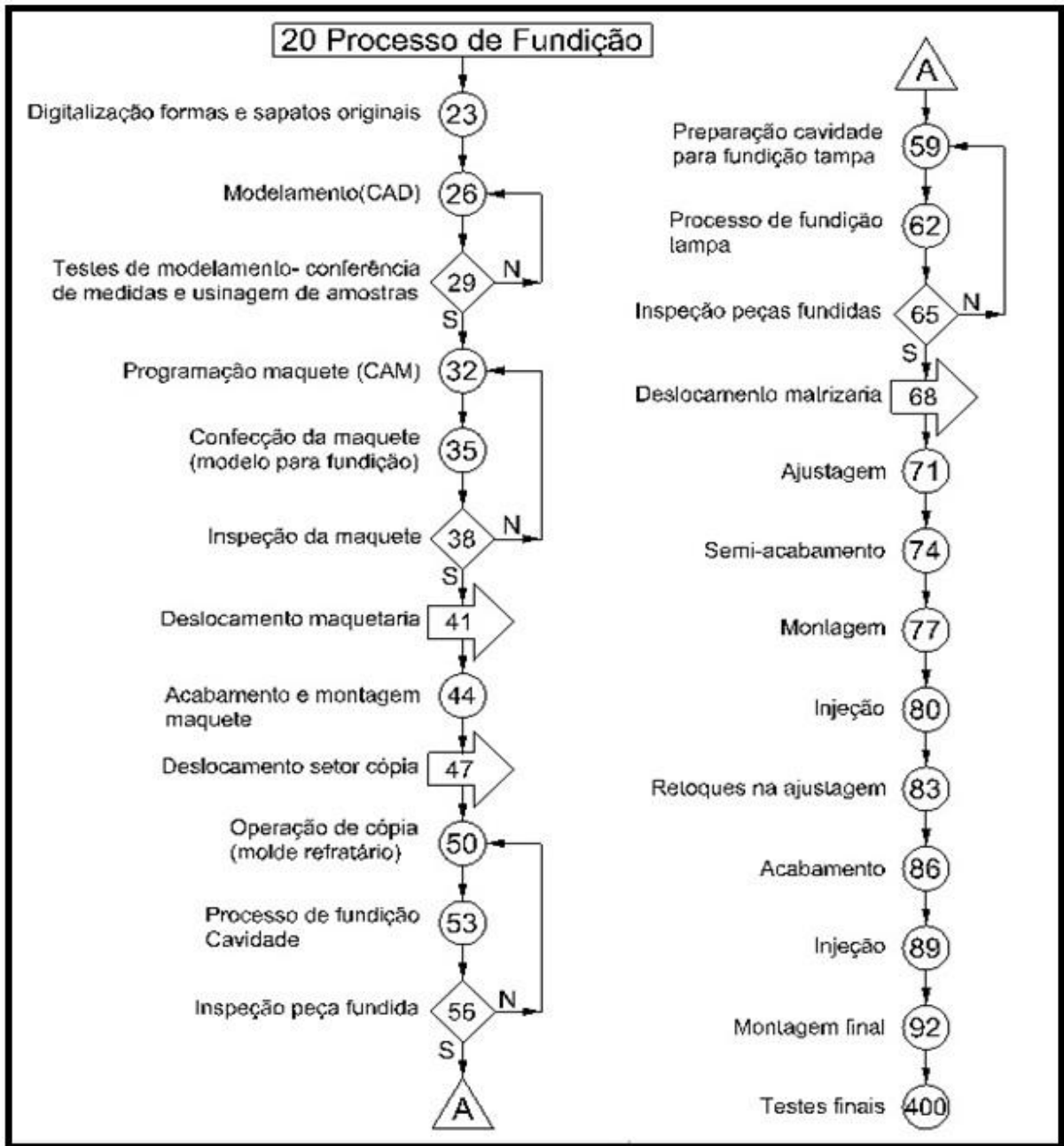


Figura 11 - Fluxograma do processo de fabricação por fundição
 Fonte: Elaborado pelo autor.

Analisando o fluxograma, o primeiro passo é desenvolver os modelos que, na empresa em questão, são feitas manualmente ou usinadas. O tempo de desenvolvimento de uma coleção de modelos gira em torno de quinze dias, independente do processo de fabricação utilizado. A escolha do procedimento a ser utilizado para a fabricação dos modelos é determinado pelo preço que o cliente pretende pagar e pela qualidade exigida. Os modelos desenvolvidos pelo processo de usinagem possuem qualidade superior, porém, preços de 40 a 60% mais elevados que as feitas manualmente. Para a análise do fluxograma de fundição

desta pesquisa, utilizou-se modelo usinado, pois, desta maneira, a comparação com os demais processos fica mais real.

Logo que finalizados, os modelos são deslocados para o setor de fundição pelo processo de cópia e servirão como modelo para confeccionar o molde refratário das cavidades. O trabalho inicial, chamado alinhamento dos modelos, consiste em posicioná-las em uma base que possui, aproximadamente, a dimensão do molde, fechando uma caixa ao redor do conjunto. Em seguida, é adicionado gesso ou areia dentro desta caixa (envolvendo os modelos completamente). O excesso de gesso é removido até a altura do modelo e, com o auxílio de ferramentas, cria-se a superfície de ajuste do molde.

Como a raspagem é realizada manualmente, podem ser geradas irregularidades nas superfícies de ajuste, as quais serão reproduzidas na peça fundida. Essas irregularidades dificultam a ajustagem do molde, aumentando o tempo de produção.

Após o alinhamento dos modelos, o trabalho continua com a operação de cópia. A cópia tem o objetivo de transferir fielmente o formato e os desenhos do modelo para o molde refratário. O técnico observou que, durante esta operação, houve alteração nas medidas do modelo ou molde refratário em relação à maquete, devido ao deslocamento do silicone.

Para realizar a cópia é criado um bloco de gesso que envolve o modelo, deixando um espaço de, aproximadamente, 10 mm de espessura entre ela e o gesso e, logo, é adicionado o silicone líquido para dentro do molde, preenchendo este espaço. Quando o modelo é extraído, obtém-se uma cavidade de silicone macio que possui todos os seus detalhes, com gesso pelo lado externo para dar sustentação. O refratário líquido é vazado dentro desta cavidade de silicone e, quando solidificado e extraído, obtém-se uma tampa em refratário contendo todos os detalhes do silicone, por consequência do modelo. Depois, este modelo em refratário é levado à estufa para o processo de queima em altas temperaturas e, posteriormente, servirá como modelo de fundição.

A realização do processo acima é todo manual. Como o silicone é macio, se não for bem ancorado à base externa de gesso ou , caso alguma sujeira adentrar entre as suas paredes e a do gesso, ele se move ou cria ondulações, mudando seu formato e suas dimensões, provocando uma peça danificada.

As variações das dimensões provocam desalinhamento ou desencontro entre a cavidade e a tampa, ou seja, quando uma peça fecha sobre a outra as paredes ficam desencontradas, provocando um degrau na peça injetada, problema que pode levar à perda de uma das partes do molde ou elevar o número de horas no processo de acabamento do molde.

Durante a pesquisa alguns moldes obtiveram problemas devido às falhas acima, mas não se trata de um problema grave, pois pode ser solucionado desde que os operadores executem o procedimento de ancoragem do silicone ao gesso e a limpeza rigorosamente.

Todo o processo de cópia leva em torno de quatro horas para ser concluído, devido aos tempos de cura do gesso, silicone e refratário. Sendo assim, o trabalho é desenvolvido em grupos de quatro pares de maquetes.

Finalizado o processo de cópia, o molde refratário das cavidades que servirá como modelo de fundição é inspecionado pelo operador e, quando aprovado, segue para as estufas, onde sofrerão a queima pelo processo de altas temperaturas. O processo de queima leva em torno de nove horas para ser concluído, pois a temperatura deve subir e baixar gradativamente, evitando danos no refratário pelos choques térmicos.

O molde refratário é levado e preparado nas caixas de fundição para receber o alumínio líquido. A fundição do bloco com as cavidades é realizada em aproximadamente vinte e cinco minutos, sendo cinco minutos para a preparação, cinco para o vazamento e quinze para a solidificação do alumínio.

Durante os processos de queima da matriz de refratário e de fundição, a troca de calor entre a alta temperatura do processo com a temperatura ambiente do setor provocam inúmeros choques térmicos nas peças, resultando em empenamentos. Por maior que seja o controle das temperaturas, praticamente todas as peças apresentam distorções. Como as peças do molde devem ter um fechamento preciso, o empenamento faz com que algumas partes do molde toquem primeiro que outras, impedindo o correto assentamento das partes e resultando em um aumento significativo do tempo de ajustagem no setor de matrizaria.

Após a limpeza do bloco fundido, uma inspeção criteriosa é feita nas cavidades. Para realizar esta inspeção, um técnico, com a ajuda de ferramentas especiais, faz um preacabamento nas cavidades em busca de microporos ou falhas de fundição. Quando encontradas, o próprio técnico elimina a peça e solicita

fundição de novo bloco. Se o bloco com as cavidades estiver aprovado, este é preparado para receber a fundição da tampa.

A preparação das cavidades é realizada manualmente, através da remoção de alumínio das superfícies de ajuste. O material é removido para corrigir imperfeições e permitir que a tampa feche e abra com as cavidades sem interferência. Neste tipo de molde, a própria cavidade serve como modelo de fundição para a tampa e, por isso, é aplicado o refratário nos seus desenhos internos, a fim de evitar que ocorra uma junção por solda ao vazar o alumínio líquido dentro do local.

O bloco das cavidades segue para as estufas a fim de curar o refratário, onde permanece por nove horas. O metal líquido é vazado diretamente sobre as cavidades e, quando solidificado, forma a parte tampa do molde. O molde é aberto com o auxílio de alavancas e marretas, as duas peças são novamente inspecionadas e vão para a matrizaria. O processo de fundição da tampa leva em torno de vinte e cinco minutos.

No setor de matrizaria serão realizados os trabalhos de ajustagem, acabamento, montagem e injeção. Os tempos obtidos em cada operação deste processo serão destacados na Tabela 2.

No processo de fundição, embora sejam criados encaixes especiais para alinhamento das partes do molde, é inevitável o desalinhamento das peças. O ajustador deve ser extremamente treinado para executar este procedimento, dar-se conta que uma peça não está assentando adequadamente na outra e fazer alterações no alinhamento, através da remoção ou adição de material. Por este motivo, o processo de ajustagem na fabricação por fundição necessita de profissionais bem qualificados e várias horas de trabalho.

A operação de montagem do molde também necessita de muito tempo para ser finalizada. Como a fundição produz somente o bloco com as cavidades, todo o sistema de fixação, de injeção, de guias e esquadro do molde deve ser executados manualmente, com o auxílio de máquinas convencionais.

Difícilmente os moldes são aprovados na primeira injeção. Por isso é comum as operações de ajustagem, semiacabamento e acabamento se repetirem. No fluxograma, estas operações foram destacadas apenas uma vez, porém, na contagem do tempo, foram lançados o tempo total de cada operação.

Abaixo, na Tabela 2, seguem o tempo e os custos aproximados do processo de fabricação por fundição. É importante salientar que a tabela apresentará o tempo total de fabricação para um molde, baseado no tempo médio das operações de vários moldes desenvolvidos ao longo da pesquisa. O valor hora/máquina e hora/homem, para cada operação, foram fornecidos pela empresa, de acordo com os seus custos internos.

Tabela 2 - Tempo e custo produção molde bicolor processo fundição

Quantidade moldes coleção		6		
N°	Operação	Valor (Reais/Horas)	Tempo (Horas)	Valor total (Reais)
1	Digitalização formas e sapatos	R\$ 70,00	3	R\$ 35,00
2	Modelamento produto(CAD)	R\$ 30,00	20	R\$ 100,00
3	Testes modelamento e visual	R\$ 50,00	4	R\$ 33,33
4	Programação do modelo	R\$ 30,00	2	R\$ 60,00
5	Confecção do modelo	R\$ 50,00	12	R\$ 600,00
6	Inspeção do modelo	R\$ 25,00	0,3	R\$ 7,50
7	Deslocamento maquetaria	R\$ 25,00	0,17	R\$ 4,25
8	Acabamento e montagem maquete	R\$ 25,00	8	R\$ 240,00
9	Deslocamento setor cópia	R\$ 25,00	0,17	R\$ 4,25
10	Operação de cópia	R\$ 25,00	1	R\$ 25,00
11	Processo de fundição cavidade	R\$ 25,00	0,42	R\$ 10,50
12	Inspeção peça fundida	R\$ 25,00	1	R\$ 25,00
13	Preparação cavidade fundição tampa	R\$ 25,00	2	R\$ 50,00
14	Processo de fundição da tampa	R\$ 25,00	0,42	R\$ 10,50
15	Inspeção peças fundidas	R\$ 25,00	0,5	R\$ 12,50
16	Deslocamento matrizaria	R\$ 25,00	0,17	R\$ 4,25
17	Ajustagem	R\$ 25,00	12	R\$ 300,00
18	Semi-acabamento	R\$ 25,00	6	R\$ 150,00
19	Montagem	R\$ 25,00	10	R\$ 250,00
20	Injeção	R\$ 25,00	0,5	R\$ 12,50
21	Retóques na ajustagem	R\$ 25,00	3	R\$ 75,00
22	Acabamento	R\$ 25,00	9	R\$ 225,00
23	Injeção	R\$ 25,00	0,5	R\$ 12,50
24	Montagem Final	R\$ 25,00	5	R\$ 125,00
25	Testes finais	R\$ 25,00	1	R\$ 25,00
		Valores totais	102,15	R\$ 2.357,08

Fonte: Elaborado pelo autor.

No processo de fundição o tempo estimado para a entrega de seis moldes bicolores é de 40 dias, contados da data de aprovação e sem descontar fins de

semana. Deste total, são necessários quinze dias para desenvolvimento dos modelos. Na tabela, estão listadas cento e duas horas para a produção de um molde. Se multiplicado por seis, o total de horas seriam seiscentas e treze horas, correspondentes à, aproximadamente, setenta dias de nove horas trabalhadas, porém ao longo do processo há diversas operações realizadas ao mesmo tempo, o que reduz o tempo de fabricação.

É importante salientar que nas três primeiras operações citadas na tabela 2, o valor total esta dividido pelo número de moldes da coleção, neste caso, 6 moldes.

Após entender o fluxo do processo, o técnico seguiu coletando dados com o objetivo de buscar pontos fortes e fracos que poderiam ser melhorados ou complementados por outro método.

As contrações ocorridas pelo processo de fundição foi um dado coletado. Segundo Oliveira (2010), contração é a redução do volume das ligas metálicas durante a solidificação. No caso dos moldes fundidos em alumínio, verificou-se que a contração variava de 0,9% a 1,3% da medida do modelo.

Primeiramente, observou-se que as cavidades fundidas ficavam menores que os modelos, mas, ao comparar duas peças iguais, fundidas a partir da mesmo modelo, elas apresentavam medidas diferentes, ou seja, contrações diferentes. Como as solas possuem formatos arredondados e indefinidos é difícil obter medidas precisas com paquímetro para calcular a contração.

Para facilitar e agilizar a análise da contração foi feita uma peça com medida de 100mm de largura, 250mm de comprimento e 40mm de altura (que são, aproximadamente, as medidas de um solado adulto) e fundidos dez amostras para avaliação de medidas..

A fundição ocorreu em diferentes dias e horários, a fim de se utilizar ligas de diferentes fornadas e observar se haveria alteração na contração. Como o ambiente da fundição é climatizado, a temperatura ambiente fora da sala não afeta o processo. Optou-se por fundir essas amostras utilizando o processo normal de fundição da empresa, pois desta maneira acreditou-se que o resultado final seria o mais similar ao processo diário de produção dos moldes.

Abaixo, na Tabela 3, seguem as medidas obtidas.

Tabela 3 - Contração de fundição

Amostra	Padrão		Fundição		Cont. Comp	Cont. larg
	Comp	Larg	Comp	Larg		
1	250	100	246,25	98,55	1,50%	1,45%
2	250	100	247,68	99,02	0,93%	0,98%
3	250	100	246,88	98,81	1,25%	1,19%
4	250	100	247,05	98,70	1,18%	1,30%
5	250	100	247,55	99,05	0,98%	0,95%
6	250	100	246,93	98,72	1,23%	1,28%
7	250	100	246,80	98,75	1,28%	1,25%
8	250	100	247,43	98,90	1,03%	1,10%
9	250	100	246,83	98,75	1,27%	1,25%
10	250	100	246,75	98,73	1,30%	1,27%
			Média		1,19%	1,20%

Fonte: Elaborado pelo autor.

Para o processo, as medidas de maior importância são o comprimento e a largura, pois estas podem gerar defeitos de desalinhamento entre as peças do molde, motivo pelo qual foram as medidas levadas em consideração para o cálculo de contração.

O cálculo é realizado da maneira como mostra Figura 12:

$$\%cont = ((comp.inicial - comp.final) / comp.inicial) \times 100$$

Figura 12 - Fórmula para o cálculo de contração

Fonte: Elaborado pelo autor.

Com os resultados acima, obteve-se média de 1,195%. Dessa maneira, optou-se por utilizar 1,2%, devido à diferença, que foi mínima, e não impactou no processo.

Esta informação é de extrema importância para aplicação em métodos onde os processos de fundição e usinagem se misturam, pois ao projetar o molde no CAD esta diferença de contração deve ser compensada nos modelos de fundição. Se o valor da contração for compensado de maneira equivocada, a peça, depois de fundida e contraída, estará com medidas diferentes do projeto e, certamente, ficará desalinhada das peças que forem usinadas.

4.2.1.3 Dados do processo de fabricação por usinagem

O processo de fabricação por usinagem engloba a tecnologia de usinagem e as operações de matrizaria. Segundo a observação do técnico, o fluxograma do processo de fabricação por usinagem pode ser apreciado na Figura 13.

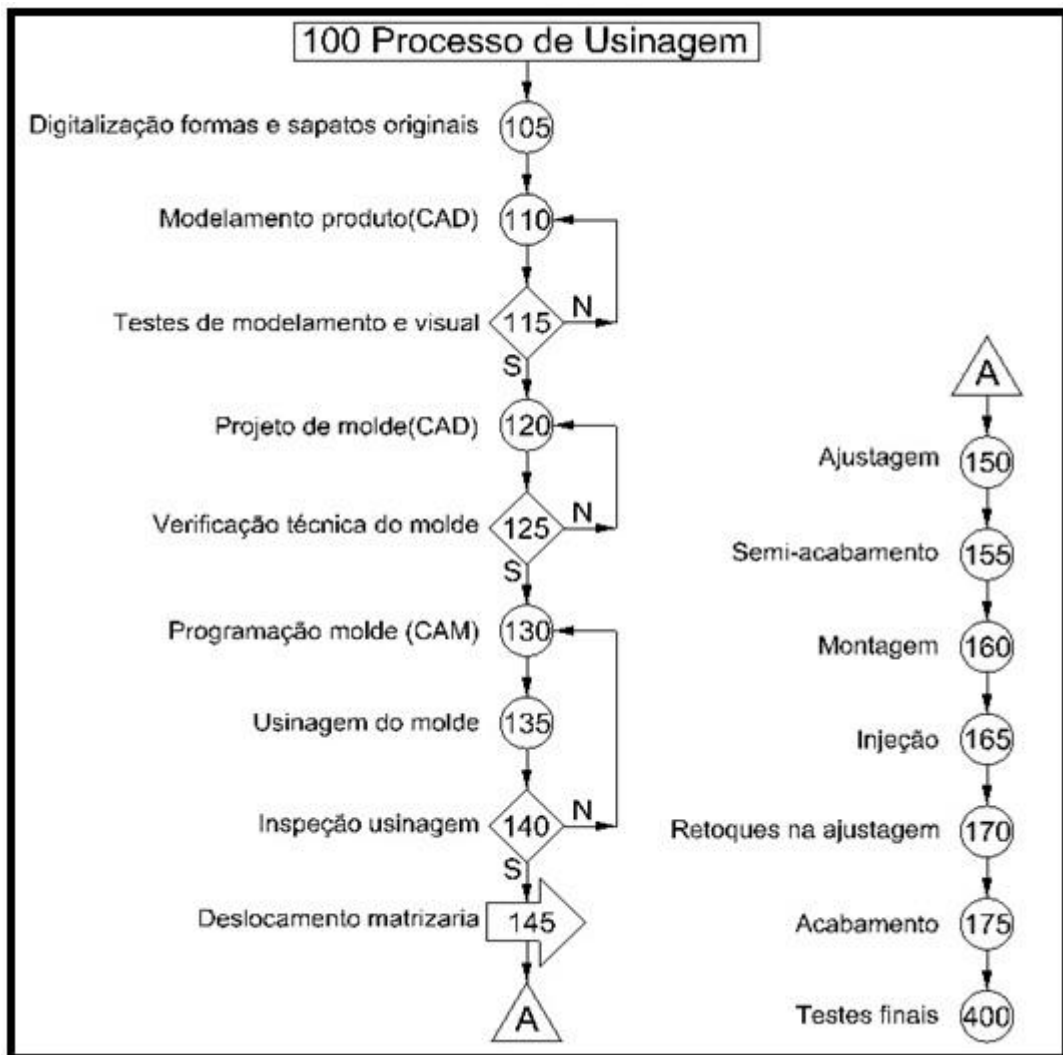


Figura 13 - Fluxograma do processo de fabricação por usinagem
Fonte: Elaborado pelo autor.

O processo se inicia com a digitalização, a laser, da forma e dos sapatos ou maquetes visuais que o cliente envia para que o projeto seja desenvolvido. Com o arquivo digitalizado no CAD é possível obter exatamente a forma, os volumes de cabedais e do sapato que o cliente deseja. A partir dessas informações é construído o modelamento tridimensional do produto.

Para diminuir o tempo de usinagem, são utilizadas estratégias chamadas caminhos de ferramentas, onde a própria ferramenta possui o formato do desenho que será usinado. O técnico notou que, embora o desenho 3D no computador parecesse perfeito, após a usinagem encontravam-se erros recorrentes deste processo como, por exemplo, formas desproporcionais e medidas erradas, os quais poderiam ser corrigidos com pequenos testes antes da execução do modelo.

Como o modelamento virtual é bem complexo de ser desenvolvido nem sempre é possível ver se ele está de acordo com o que o cliente realmente deseja. Sendo assim, são usinados testes físicos de algumas partes do desenho para a conferência das medidas e, por fim, ocorre a usinagem de um modelo visual em um bloco de resina plástica para aprovação do cliente.

Após aprovação do modelamento, o passo seguinte é o projeto do molde. Na empresa em questão cada projeto é acompanhado com uma ficha técnica de produto e uma ficha técnica de molde. Na ficha técnica de produto constam informações referentes aos materiais das peças injetadas, detalhes do lado externo e interno, espessuras das paredes, tipos de acabamentos e de rouba-pesos. Já na ficha técnica de molde, há informações referentes aos materiais das suas partes e o seu desenho técnico, indicando o sistema de fixação, de injeção, de guia, de refrigeração e de extração, além das dimensões da máquina injetora. Tais fichas não serão publicadas nesta pesquisa, pois, não afetam os resultados do estudo de caso e por isto a empresa solicitou privacidade.

Nesta fase, o projetista solicita aos responsáveis o desenho da máquina injetora e quais as necessidades do cliente no projeto. Primeiramente, avaliam-se os dados técnicos da máquina injetora como, por exemplo, as dimensões entre as colunas, a força de fechamento e a capacidade de injeção para, logo, determinar como será o molde. As necessidades do cliente servem para determinar a espessura e a estrutura do solado, pois se o cliente quer utilizar uma sola de sapatos usados na prática de esportes, a sua estrutura é uma e, caso queira um para sapatos casuais, é outra. Nesta fase, o técnico notou grande benefício em projetar o molde no CAD, pois é possível definir o sistema de fixação, o sistema de guias, de injeção, de extração, prever falhas e fazer melhorias consideráveis no projeto do molde antes de se ter alguma peça física, diminuindo possibilidades de erros.

Com o molde já construído, o projeto segue para o CAM, na qual todas as partes são programadas, gerando coordenadas numéricas para as máquinas CNC's. Cada parte programada será acompanhada da ficha de usinagem onde consta o material que será usinado, as dimensões do bloco, o tipo de alinhamento na máquina, as ferramentas de corte e as velocidades de avanço aplicadas a cada uma.

No CAM, notou-se grande dificuldade em se criar estratégias de usinagem para desenhos detalhados. Quanto mais detalhes possui o desenho maior é a necessidade de utilizar ferramentas especiais, e o tempo de usinagem se eleva muito. O técnico observou que a usinagem inicial, chamada de desbaste, era feita com facilidade, porém os desenhos eram gerados com dificuldade, principalmente quando localizados nas laterais das cavidades, e os resultados obtidos na usinagem, muitas vezes, não eram os ideais.

Os dois agravantes para este problema são: o difícil acesso da ferramenta às laterais do molde, e o movimento de rotação da ferramenta durante a usinagem.

Para ter acesso às laterais da cavidade, é necessário girar o molde deixando-o com grau para a chegada da ferramenta, operação conhecida como tombamento do molde. Como as cavidades são estreitas e profundas e, muitas vezes, possuem superfícies negativas, normalmente não é permitido o acesso das ferramentas de usinagem às laterais, mesmo que sejam utilizadas ferramentas prolongadas.

Para compensar esta falha do processo, são combinados outros procedimentos de usinagem, como texturização química e eletroerosão, porém os custos de produção aumentam muito.

A dificuldade para a obtenção de quinas vivas e pontas agudas nos desenhos usinados é devido ao movimento de rotação das ferramentas durante a usinagem. Em usinagens tridimensionais é necessário o uso de ferramentas com pontas esféricas, as quais sempre reproduzem raios na peça. Para amenizar este problema, os diâmetros das ferramentas de usinagem são reduzidos, porém, mesmo que melhorado, dificilmente é solucionado.

Ao final da usinagem é realizada a revisão criteriosa do molde, analisando se todos os desenhos e detalhes feitos realmente foram usinados e reproduzidos com perfeição nas cavidades.

Observou-se que, dependendo da estratégia de usinagem utilizada, os acabamentos e a rugosidade nas superfícies de ajuste variavam, gerando peças com superfícies irregulares que influenciavam, posteriormente, os tempos de ajustagem na matrizaria.

Após aprovação da usinagem, o molde segue para matrizaria, onde serão realizadas as operações de ajustagem, acabamento, montagem e injeção.

No setor de matrizaria a grande vantagem observada pela fabricação por usinagem é a velocidade nas operações de montagem e de ajustagem do molde. Devido às peças serem usinadas, os sistemas de guias e encaixes já estão prontos, e a cavidade e tampa fecham perfeitamente, com desencontros mínimos. Na montagem, o sistema de injeção, extração e fixação saem definidos, resultando em maior qualidade e agilidade do processo.

Em moldes de solados, grande parte da qualidade está no desencontro das peças. Por isso mesmo que o molde deve ser usinado com perfeição, pois é importante após as operações de ajustagem e preacabamento injetar o molde para revisar o desencontro.

Observou-se que a operação de acabamento, referente ao alinhamento das partes, é influenciada positivamente, pois o desencontro é mínimo, porém, é afetado negativamente nas superfícies internas da cavidade, pois mesmo com boa estratégia de usinagem, notam-se marcas irregulares nos desenhos, o que exige que o acabador remova o material dessas superfícies para eliminar as imperfeições, aumentando, assim, o tempo de acabamento. Nos casos de moldes obtidos pelo processo de fundição as superfícies copiam o acabamento que está no modelo, a qual, normalmente, é preparada para ficar com as superfícies bem acabadas, ou seja, com baixa rugosidade.

Dificilmente os moldes são aprovados na primeira injeção. Por isso é comum as operações de ajustagem, semiacabamento e acabamento se repetirem ao longo da sua fabricação.

No fluxograma, essas operações foram destacadas apenas uma vez, porém, na contagem do tempo, foi lançado o tempo total de cada operação. Abaixo, na Tabela 4, seguem o tempo e os custos aproximados do processo de fabricação por usinagem para a confecção de um molde.

Tabela 4 - Tempo e custo de produção do molde bicolor no processo usinagem

Quantidade moldes coleção		6		
N°	Operação	Valor (Reais/Horas)	Tempo (Horas)	Valor total (Reais)
1	Digitalização: formas e sapatos	R\$ 70,00	3	R\$ 35,00
2	Modelamento produto (CAD)	R\$ 30,00	20	R\$ 100,00
3	Testes modelamento e visual	R\$ 50,00	12	R\$ 100,00
4	Projeto de molde	R\$ 30,00	3	R\$ 90,00
5	Verificação técnica do molde	R\$ 30,00	2	R\$ 60,00
6	Programação (CAM) do molde	R\$ 30,00	3	R\$ 90,00
7	Usinagem do molde	R\$ 50,00	35	R\$ 1.750,00
8	Inspeção da usinagem	R\$ 25,00	0,5	R\$ 12,50
9	Deslocamento matrizaria	R\$ 25,00	0,17	R\$ 4,25
10	Ajustagem	R\$ 25,00	3	R\$ 75,00
11	Semi-acabamento	R\$ 25,00	4	R\$ 100,00
12	Montagem	R\$ 25,00	5	R\$ 125,00
13	Injeção	R\$ 25,00	0,5	R\$ 12,50
14	Retoques na ajustagem	R\$ 25,00	2	R\$ 50,00
15	Acabamento	R\$ 25,00	6	R\$ 150,00
16	Testes finais	R\$ 25,00	1	R\$ 25,00
Valores totais			100,17	R\$ 2.779,25

Fonte: Elaborado pelo autor.

Para que a Tabela 4 contenha dados reais, é importante salientar dois aspectos nesta parte da pesquisa: o custo inicial envolvido para desenvolver um desenho 3D e o tempo médio de usinagem calculado na coleção. O custo inicial envolvido para o desenho 3D reflete os custos existentes para a digitalização, o modelamento e o modelo visual. Estes custos, se levados em consideração somente para um molde, elevam muito os preços de fabricação, não viabilizando o projeto. Por isso, para o levantamento de custos de produção, estes valores sempre serão divididos pela quantidade de moldes da coleção. O segundo aspecto é o tempo médio de usinagem que, se levado em conta para um molde, se eleva, devido ao *setup* inicial da máquina; porém, se levado em consideração na coleção, são valores reais. Na Tabela 4 os custos citados acima foram divididos por seis moldes, que é a quantidade normal de uma coleção.

Nota-se que alguns custos/hora no processo de usinagem são maiores que no processo por fundição devido aos equipamentos envolvidos nesta tecnologia. É importante salientar que foi levada em consideração a usinagem de moldes com desenhos pouco detalhados ou com desenhos que permitissem fácil usinagem, pois

em desenhos complexos o tempo de usinagem pode ser superior a cinquenta horas, elevando demais os custos de produção e inviabilizando a confecção do molde por este método.

Normalmente, o prazo estipulado para a entrega de uma coleção bicolor usinada de seis moldes é de trinta dias. Dois aspectos influenciam nesta redução de tempo se comparados ao processo de fundição: os centros de usinagem, por serem automáticos, podendo trabalhar 24 horas e entregar as partes com maior agilidade, e a redução de 60 a 70% do tempo de ajustagem devido à qualidade elevada das superfícies de ajuste.

4.2.2 Desenvolvimento do novo processo

Depois de realizado todo levantamento de dados dos processos de fabricação existentes na empresa, o técnico solicitou uma reunião técnica dos gerentes junto ao corpo diretivo. O objetivo da reunião foi apresentar os dados e definir a estratégia para a criação do novo método.

Após a análise dos dados, observou-se que havia a possibilidade de uma junção entre o processo de fundição e o processo de usinagem, pois, embora sejam diferentes, podem se complementar. Ficou definido que o novo processo deveria abranger os benefícios de cada um dos métodos existentes, com objetivo de reduzir o tempo de fabricação e aumentar a qualidade, sem que os custos de produção aumentem.

As primeiras ideias, após horas de discussão, definiram a base do novo processo. As cavidades, por obterem desenhos e detalhes, deveriam ser obtidas pelo método de fundição, pois este é o seu grande benefício, já que permite a obtenção de desenhos complexos com agilidade e qualidade. O restante das partes do molde seria confeccionado pelo processo de usinagem, pois este favorece as operações no setor de matrizaria, permitindo superfícies de fechamento bem acabadas e alinhadas, sendo que os sistemas técnicos do molde são projetados no CAD e saem usinados das máquinas.

A dificuldade do novo procedimento era de alinhar nas máquinas os blocos fundidos que contêm as cavidades para a operação de usinagem. Para que este trabalho possa ser realizado de maneira precisa, as cavidades devem estar

posicionadas em coordenadas conhecidas pelo CNC para que a máquina, durante a usinagem, não usine em áreas erradas.

Para a eliminação deste problema, teve-se o seguinte raciocínio: como o alinhamento dos modelos no processo de fundição é feito manualmente, estes não respeitam as medidas precisas, sendo necessário leva-las para dentro do CAD e, então, projetar o molde. Para obter tais medidas, optou-se por digitalizar o bloco fundido com as cavidades, pois, através da Engenharia Reversa, é possível copiar perfeitamente uma peça física para o formato digital. A partir desta solução, definiu-se o fluxograma do novo método, como mostra a Figura 14.

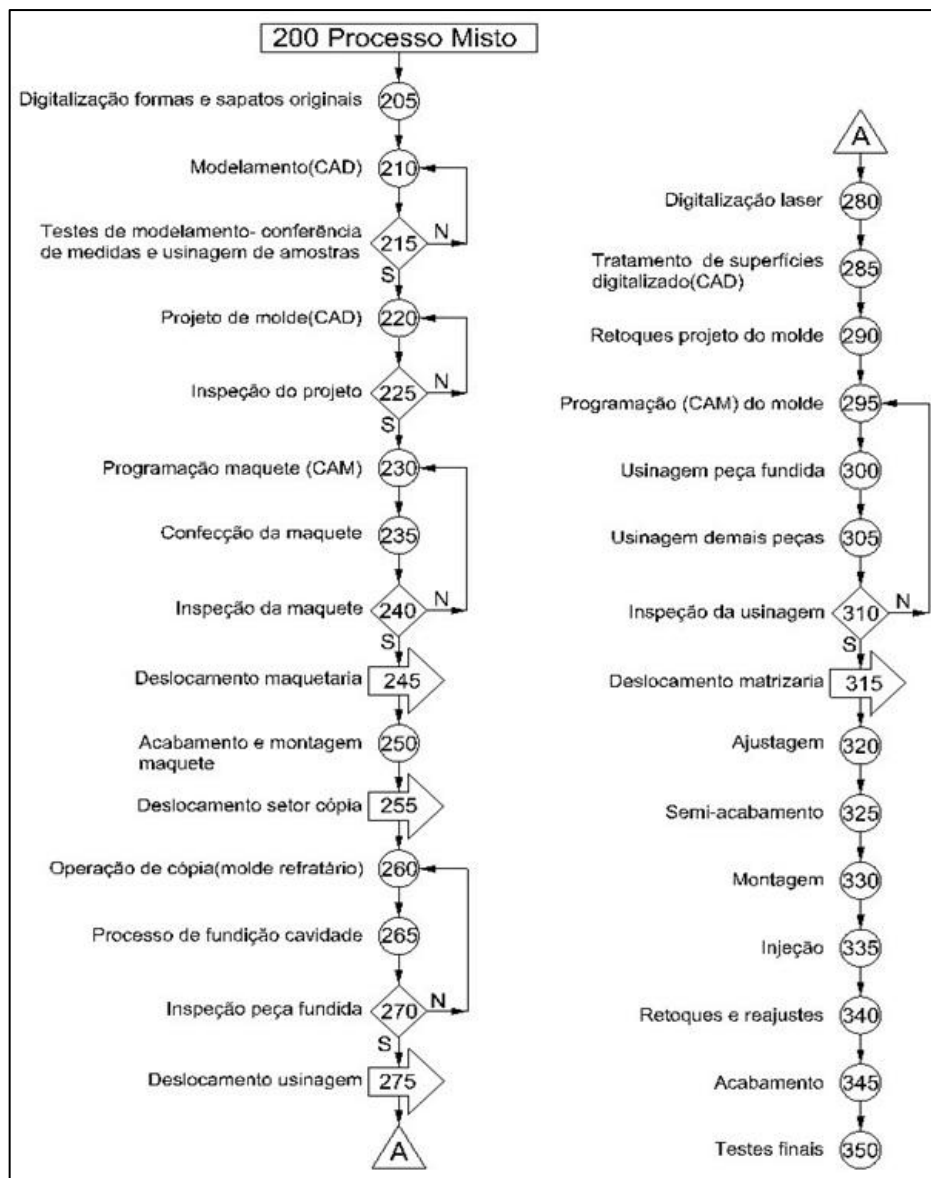


Figura 14 - Fluxograma do processo de fabricação misto (teste 1)

Fonte: Elaborado pelo autor.

O método consiste em utilizar o processo de fundição para fundir o bloco que compõe as cavidades e, posteriormente, usiná-lo, garantindo, desta maneira, o perfeito encaixe com as demais peças usinadas. Para que se tenha melhor qualidade nos modelos, optou-se por desenvolvê-las pelo por usinagem. Para executar tal tarefa, foi necessário digitalizar formas e sapatos originais e seguir com modelamento 3D.

Após aprovado modelamento é feito o projeto do molde, a fim de que se tenham, aproximadamente, as medidas de onde posicionar as cavidades no bloco. Com o projeto do molde aprovado, inicia-se a usinagem dos modelos. Ao final da usinagem é feita uma avaliação criteriosa em busca de possíveis falhas, pois quaisquer erros serão transferidos às cavidades. Os modelos seguem para o setor da maquetaria onde serão acabadas. Na maquetaria todas as rebarbas, caminhos e falhas de usinagem são eliminados, e as placas de borracha que retratam os acabamentos e texturas solicitadas pelo cliente são montadas sobre o modelo. Neste momento, é decidido onde serão as superfícies de fechamento do molde, pois é o sistema de fechamento montado sobre o modelo que determina o fechamento do molde fundido.

Ao finalizar os modelos, elas seguem para o setor de fundição, no qual será desenvolvida a operação de cópia. Após a obtenção do molde refratário, este é levado para estufa para repousar por nove horas a altas temperaturas. Seguindo o processo de fundição visto anteriormente, a cavidade é fundida, limpa e verificada. Se aprovada, é deslocada para o setor de usinagem no qual será preparada para digitalização a laser.

No setor de usinagem, através do sistema de Engenharia Reversa, a superfície de fechamento do bloco fundido é digitalizado e levado para o computador. Com o auxílio de *software* especial é possível trabalhar a digitalização deixando-a com maior qualidade, menor número de falhas e compactando o tamanho do arquivo, com o intuito de facilitar a manipulação do arquivo digitalizado no computador. Mesmo com a alta tecnologia do processo de Engenharia Reversa, a qualidade da digitalização não é elevada, devido à ineficiência que os equipamentos possuem ao digitalizar cantos vivos. Por isso é sempre importante conferir, com meios adequados, as medidas do arquivo digitalizado no CAD.

Muitas vezes, a peça fundida sofre diferentes contrações de fundição, empenamentos ou alterações no contorno devido à operação de cópia e aos

choques térmicos nas etapas de queima do refratário e resfriamento do bloco fundido, o que prejudica o encaixe e o alinhamento perfeito das paredes laterais da cavidade com a tampa, ocasionando o defeito chamado de desencontro. O desencontro é muito comum no processo de fundição, mas, ao utilizar a operação de digitalização da cavidade, este pode ser evitado.

Como o bloco cavidade esta digitalizado é possível extrair perfis, contornos, e medidas importantes para conferir se o tamanho e posicionamento da cavidade esta igual à tampa. Se as medidas estiverem diferentes, o molde projetado (que ainda esta no computador) é reajustado às novas medidas e, então, segue para usinagem.

A primeira parte a ser usinada é a cavidade fundida, que é alinhada na máquina com auxílio de coordenadas extraídas da digitalização. Após serem usinadas, as dimensões da cavidade são conferidas para assegurar que as medidas estão corretas, de acordo com o projeto no CAD e, somente, a partir daí, as outras partes do molde são aprovadas para usinagem. Quando todas as peças estiverem usinadas e verificadas, são levadas à matrizaria, onde o trabalho de ajustagem, acabamento, montagem e injeção serão realizados.

Com o fluxograma do novo processo definido e o processo operacional estudado detalhadamente, iniciou-se a aplicação prática. Primeiramente, optou-se por aplicar o novo procedimento a projetos que, pela complexidade, deveriam ser feitos com maquete usinada, independente do processo, pois, desta maneira, facilitaria a comparação do tempo com os processos de fundição e usinagem. Logo, houve o treinamento dos colaboradores, pois, devido ser considerado um processo inovador, muitos não imaginavam como seria a integração das várias operações nos diferentes setores.

Após uma serie de testes, foram obtidos moldes de alta qualidade (como o esperado), porém o tempo de produção e os custos não apresentaram ótimo resultado, como mostra a Tabela 5.

Tabela 5 - Tempo e custo produção molde bicolor processo misto (teste 1)

Quantidade moldes coleção		6		
Nº	Operação	Valor (Reais/Horas)	Tempo (Horas)	Valor total (Reais)
1	Digitalização: formas e sapatos	R\$ 70,00	3	R\$ 35,00
2	Modelamento produto (CAD)	R\$ 30,00	20	R\$ 100,00

3	Testes modelamento	R\$ 50,00	4	R\$ 33,33
4	Projeto de molde	R\$ 30,00	3	R\$ 90,00
5	Inspeção do projeto	R\$ 30,00	2	R\$ 60,00
6	Programação (CAM) do modelo	R\$ 30,00	2	R\$ 60,00
7	Confecção do modelo	R\$ 50,00	12	R\$ 600,00
8	Inspeção do modelo	R\$ 25,00	0,3	R\$ 7,50
9	Deslocamento maquetaria	R\$ 25,00	0,17	R\$ 4,25
10	Acabamento e montagem maquete	R\$ 25,00	8	R\$ 200,00
11	Deslocamento setor cópia	R\$ 25,00	0,17	R\$ 4,25
12	Operação de cópia	R\$ 25,00	1	R\$ 25,00
13	Processo de fundição cavidade	R\$ 25,00	0,42	R\$ 10,50
14	Inspeção peça fundida	R\$ 25,00	1	R\$ 25,00
15	Deslocamento usinagem	R\$ 25,00	0,17	R\$ 4,25
16	Digitalização do molde	R\$ 70,00	3	R\$ 210,00
17	Tratamento superfície digitalizado	R\$ 30,00	4	R\$ 120,00
18	Retoques projeto do molde	R\$ 30,00	2	R\$ 60,00
19	Programação (CAM) do molde	R\$ 30,00	3	R\$ 90,00
20	Usinagem peça fundida	R\$ 50,00	5	R\$ 250,00
21	Usinagem demais peças	R\$ 50,00	10	R\$ 500,00
22	Inspeção da usinagem	R\$ 25,00	0,5	R\$ 12,50
23	Deslocamento matrizaria	R\$ 25,00	0,17	R\$ 4,25
24	Ajustagem	R\$ 25,00	3	R\$ 75,00
25	Semi-acabado	R\$ 25,00	4	R\$ 100,00
26	Montagem	R\$ 25,00	5	R\$ 125,00
27	Injeção	R\$ 25,00	0,5	R\$ 12,50
28	Retoques e reajustes	R\$ 25,00	2	R\$ 50,00
29	Acabamento	R\$ 25,00	6	R\$ 150,00
30	Testes finais	R\$ 25,00	1	R\$ 25,00
Valores totais			106,4	R\$ 3.043,33

Fonte: Elaborado pelo autor.

Observa--se que o número de operações e, conseqüentemente, o tempo de produção para este procedimento é maior que os anteriores, por isso a necessidade de haver maior integração entre os setores, buscando fazer com que o tempo de fabricação não se eleve. Como o processo envolve maior número de operações e, portanto, maior número de pessoas, o cuidado a cada operação deve ser redobrado, pois pequenas falhas no projeto do molde ou no processo de fundição acarretam em horas de retrabalho.

Outro aspecto importante é o custo de produção, que se elevou 9,5% se comparado ao processo de usinagem, e 29% se comparado ao processo de fundição.

Ao obter esses resultados, foi solicitada uma nova reunião com o corpo diretivo para apresentar os benefícios do processo. Após discussão sobre todos os aspectos do processo, ficou concluído que a qualidade era ótima, porém os custos envolvidos e o longo tempo de produção não viabilizavam a utilização e, por isso, este método não era adequado. O argumento foi que os clientes não pagariam quase 30% mais caro para receber um produto em quarenta dias, aproximadamente (o mesmo tempo de fabricação obtido pelo processo de fundição), mesmo que a qualidade fosse superior aos outros procedimentos.

A direção solicitou novo estudo do processo para baixar os custos de produção. O objetivo era manter a qualidade obtida, mas baixar preço à níveis do processo por fundição e o tempo a níveis do processo de usinagem. Essas vantagens, na visão da empresa, tornaria o processo ideal, pois haveria argumentação para negociar com o cliente.

Com o desafio lançado, foi-se em busca de novas opções para a melhoria do processo. Novamente, o técnico responsável, junto aos gerentes, irá organizar uma reunião para analisar as possíveis modificações.

O primeiro ponto crítico avaliado foi o tempo de produção. A questão era descobrir porque o processo levava tanto tempo para ser realizado. Olhando para o fluxograma era possível perceber que o molde, depois de projetado, ficava longo período parado à espera da digitalização das cavidades, tempo que não havia no processo de usinagem, pois, após serem projetados, os moldes são usinados imediatamente.

Seguindo este pensamento, buscou-se a ideia de trabalhar com a fundição da cavidade e com a usinagem das demais partes em paralelo, pois, assim, quando o bloco cavidade estivesse fundido, as outras partes do molde já estariam usinadas e prontas à sua espera.

A ideia foi aceita por todos, afinal, seria uma redução de quatro a cinco dias de produção, porém não se sabia como estruturar o processo para trabalhar desta maneira, já que para eliminar o processo de digitalização das cavidades fundidas para a conferência de posicionamento, era necessário encontrar alguma forma de alinhar os modelos antes da fundição (para que estas mantenham uma origem) e, ao retornar o bloco fundido para os centros de usinagem, as cavidades deveriam manter-se na mesma posição estipulada no projeto.

Após diversos testes, obteve-se uma solução interessante: como o molde era projetado no computador e todas as variáveis do processo eram conhecidas, criou-se uma “cama” para alinhar os modelos (Figura 15), ou seja, ao invés de enviar os modelos para alinhamento no setor de fundição, usinou-se uma placa com as mesmas dimensões e formatos do molde projetado 3D, onde os modelos eram encaixados. Esta placa é idêntica à cavidade projetada, somente compensando as contrações de fundição.

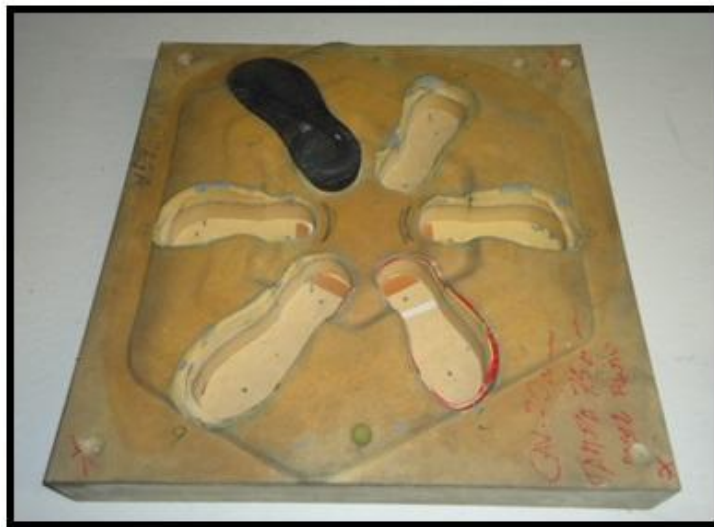


Figura 15 - Cama para alinhamento dos modelos
Fonte: Elaborado pelo autor.

Na Figura 15 mostra-se uma cama usinada em *Medium Density Fiberboard* (MDF) para alinhamento de três pares de maquetes. Esta cama foi extraída do projeto CAD e possui as mesmas dimensões da tampa que será usinada, neste caso, um quadrado de largura e comprimento de 500mm. Na Figura 16, segue a mesma cama com os modelos montados.



Figura 16 - Cama com maquetes montadas
Fonte: Elaborado pelo autor.

Em casos onde se utiliza cama para alinhamento, o modelo somente é finalizado quando cada um, individualmente, está montado sobre a cama, sendo este conjunto inspecionado. No caso da Figura 16, o cliente optou por fazer um molde com três pares de maquetes, no qual cada par equivale a um número da coleção. Desta maneira, se possibilita ao cliente obter três pares de solados a cada injeção, aumentando a produção e o tornando mais competitivo.

Esta facilidade de construir moldes com três pares de cavidades e com preços aceitáveis é somente obtida através do processo misto. Pelo processo convencional de fundição seria praticamente impossível fazer o alinhamento perfeito entre as cavidades e a tampa do molde, devido aos problemas de fundição que são agravados com o aumento das dimensões do molde e, pelo processo de usinagem, embora possível, a confecção do molde e os custos de fabricação se elevariam, inviabilizando o projeto.

O método misto possibilitou que os modelos e as partes do molde fossem usinadas em paralelo e, no momento em que as cavidades estavam sendo fundidas, as outras partes já estavam na matrizaria.

Assim como previsto, o tempo de fabricação dos moldes e os custos reduziram, pois algumas etapas do processo. Abaixo, na Tabela 6, segue o estudo do novo método.

Tabela 6 - Tempo e custo produção molde bicolor processo misto aprovado

Quantidade moldes coleção		6		
Nº	Operação	Valor (Reais/hr)	Tempo (Horas)	Valor total (Reais)
1	Digitalização: formas e sapatos	R\$ 70,00	3	R\$ 35,00
2	Modelamento produto (CAD)	R\$ 30,00	20	R\$ 100,00
3	Testes modelamento e visual	R\$ 50,00	4	R\$ 33,33
4	Projeto de molde	R\$ 30,00	3	R\$ 90,00
5	Verificação do projeto	R\$ 30,00	2	R\$ 60,00
6	Programação (CAM) do modelo	R\$ 30,00	2	R\$ 60,00
7	Confecção do modelo	R\$ 50,00	12	R\$ 600,00
8	Inspeção do modelo	R\$ 25,00	0,3	R\$ 7,50
9	Deslocamento maquetaria	R\$ 25,00	0,17	R\$ 4,25
10	Acabamento e montagem maquete	R\$ 25,00	8	R\$ 200,00
11	Deslocamento setor cópia	R\$ 25,00	0,17	R\$ 4,25
12	Processo de cópia	R\$ 25,00	1	R\$ 25,00
13	Processo de fundição cavidade	R\$ 25,00	0,42	R\$ 10,50
14	Inspeção peça fundida	R\$ 25,00	1	R\$ 25,00
15	Deslocamento usinagem	R\$ 25,00	0,17	R\$ 4,25
16	Programação (CAM) do molde	R\$ 30,00	3	R\$ 90,00
17	Usinagem bloco fundido	R\$ 50,00	5	R\$ 250,00
18	Inspeção da usinagem	R\$ 25,00	0,17	R\$ 4,25
19	Usinagem demais peças	R\$ 50,00	10	R\$ 500,00
20	Inspeção da usinagem	R\$ 25,00	0,5	R\$ 12,50
21	Deslocamento matrizaria	R\$ 25,00	0,17	R\$ 4,25
22	Ajustagem	R\$ 25,00	3	R\$ 75,00
23	Semiacabamento	R\$ 25,00	4	R\$ 100,00
24	Montagem	R\$ 25,00	5	R\$ 125,00
25	Injeção	R\$ 25,00	0,5	R\$ 12,50
26	Retouques na ajustagem	R\$ 25,00	2	R\$ 50,00
27	Acabamento	R\$ 25,00	6	R\$ 150,00
28	Testes finais	R\$ 25,00	1	R\$ 25,00
Valores totais			97,57	R\$ 2.657,58

Fonte: Elaborado pelo autor.

Na tabela, observa-se a eliminação do processo de digitalização da cavidade fundida, a qual atrasava a produção e aumentava os custos. Esta mudança reduziu em 12,6% os custos de fabricação se comparado ao processo anterior.

É importante comentar que as horas totais de fabricação são válidas para calcular o custo de fabricação, porém, o tempo de entrega, não. No processo, muitas

operações são executadas em paralelo, por exemplo, quando duas pessoas estão acabando um molde ao mesmo tempo, se o tempo total da operação é de quinze horas, para a estimativa de entrega este tempo será a metade.

Concluídas as novas alterações do processo, solicitou-se uma nova reunião para a apresentação dos resultados, os quais estão relacionados abaixo:

- a) custos de produção reduzidos em 12,6% se comparado ao processo misto 1 e 4,5% se comparado ao processo de usinagem. Entretanto, 12,7% acima dos custos do processo de fundição;
- b) redução em cinco dias no tempo de fabricação dos moldes, ou seja, tempo de entrega de trinta e cinco dias.
- c) qualidade elevada do molde e do produto injetado

A direção ficou satisfeita com a redução do tempo de fabricação, mas não aceitou o custo final, superior a 12,7% se comparado ao processo de fundição. Após horas de discussões sobre redução de custos, viu-se que, em qualquer processo que envolva usinagem para fabricação dos moldes, os valores são mais elevados, devido à tecnologia de máquinas e equipamentos envolvidos no processo.

As máquinas e equipamentos envolvidos na usinagem exigem horas/máquina e horas/homem com custos maiores, os quais elevam o custo final de produção. Porém, os benefícios gerados pelo procedimento, em muitos casos, superam este entrave, já que proporcionam maior confiabilidade e qualidade do método, tanto em visual final do produto injetado quanto na vida útil dos moldes. Por isso, o processo foi aprovado para aplicação em moldes cujos benefícios gerassem maior produtividade para a empresa.

Em relação a investimentos para desenvolvimento do processo de fabricação misto é necessária a obtenção dos equipamentos de fundição e dos equipamentos de usinagem, totalizando R\$ 280.000,00 reais. Porém, na empresa em questão este investimento já estava feito, pois a empresa trabalha com os dois processos de fabricação, fundição e usinagem, então o processo de fabricação misto veio para complementar e melhorar os sistemas de fabricação já utilizados e não gerou investimento significativo.

Desta maneira, definiu-se o fluxograma do novo processo, conforme Figura 17.

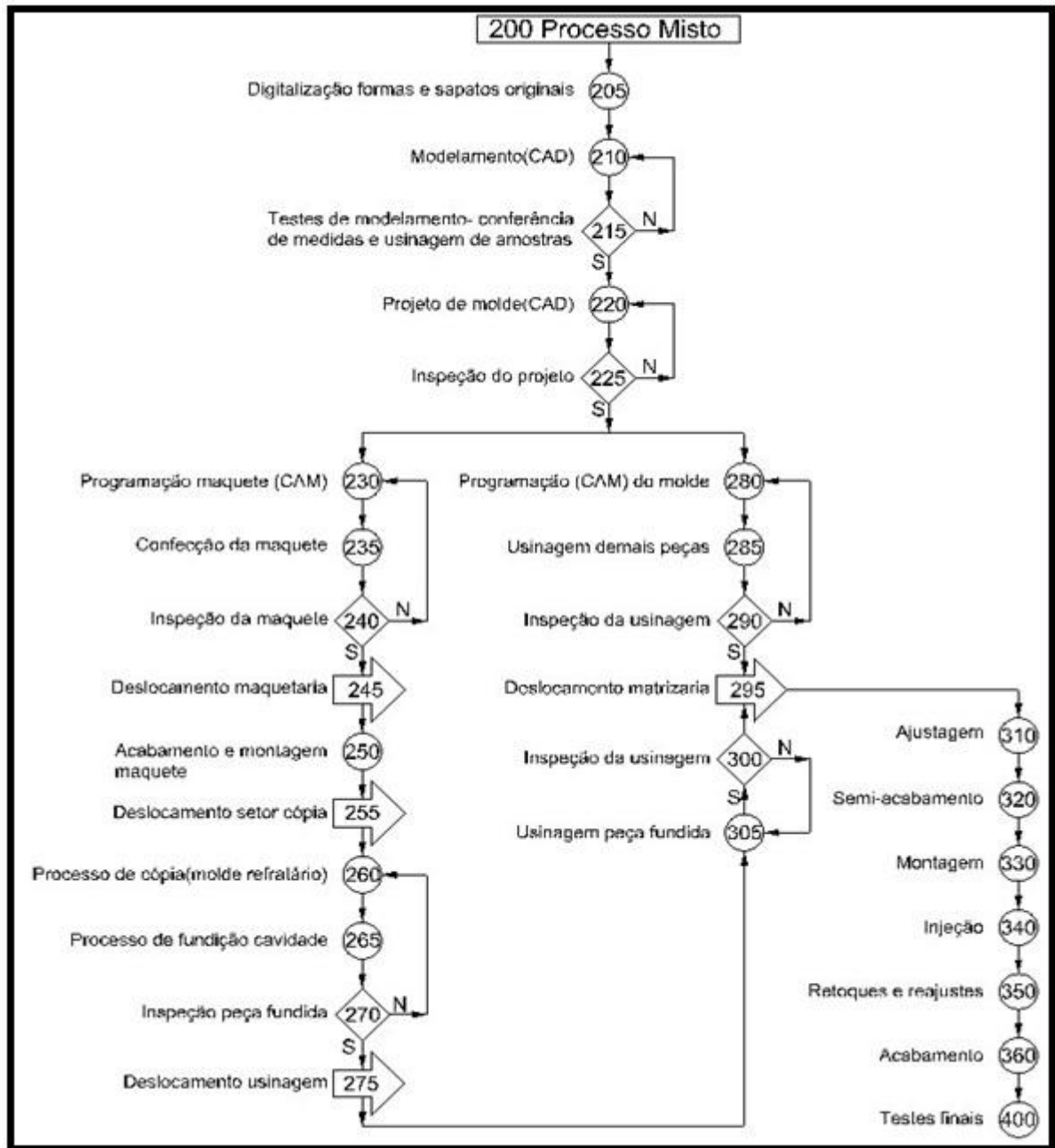


Figura 17 - Fluxograma final do processo de fabricação misto
Fonte: Elaborado pelo autor.

Neste fluxograma notam-se todos os processos e as operações que andam paralelos durante a produção, os quais são os responsáveis pela redução do tempo de entrega dos moldes. Se comparado aos demais, as operações referentes ao processo de usinagem e as operações referentes ao processo de fundição se destacam facilmente, o que torna fácil o entendimento e a aplicação deste novo método no meio produtivo.

4.2.3 Situação atual

Com os dados obtidos ao longo da pesquisa, observou-se que a utilização somente do novo processo para a fabricação dos moldes não é a melhor escolha, pois os métodos convencionais, em muitos casos, são a melhor opção, pois proporcionam custos mais interessantes. Devido a isso, criou-se a Tabela 7, que resume e compara as informações dos três procedimentos utilizados, hoje, na empresa, facilitando a escolha de qual aplicar para a fabricação dos moldes, dependendo da situação.

Tabela 7 - Comparação dos tempos e custos dos métodos de fabricação aplicados na empresa

Operação	Quantidade moldes coleção 6			Processo fundição		Processo usinagem		Processo Misto	
	Valor (R\$/h)	Tempo (h)	Valor total (R\$)	Tempo (h)	Valor total (R\$)	Tempo (h)	Valor total (R\$)	Tempo (h)	Valor total (R\$)
Digitalização: formas e sapatos	R\$ 70,00	3	R\$ 35,00	3	R\$ 35,00	3	R\$ 35,00	3	R\$ 35,00
Modelamento produto (CAD)	R\$ 30,00	20	R\$ 100,00	20	R\$ 100,00	20	R\$ 100,00	20	R\$ 100,00
Testes modelamento e visual	R\$ 50,00	4	R\$ 33,33	12	R\$ 100,00	4	R\$ 33,33	4	R\$ 33,33
Projeto de molde	R\$ 30,00			3	R\$ 90,00	3	R\$ 90,00	3	R\$ 90,00
Verificação do projeto	R\$ 30,00			2	R\$ 60,00	2	R\$ 60,00	2	R\$ 60,00
Programação (CAM) do modelo	R\$ 30,00	2	R\$ 60,00			2	R\$ 60,00	2	R\$ 60,00
Confecção do modelo	R\$ 50,00	12	R\$ 600,00			12	R\$ 600,00	12	R\$ 600,00
Inspeção do modelo	R\$ 25,00	0,3	R\$ 7,50			0,3	R\$ 7,50	0,3	R\$ 7,50
Deslocamento maquetaria	R\$ 25,00	0,17	R\$ 4,25			0,17	R\$ 4,25	0,17	R\$ 4,25
Acabamento e montagem maquete	R\$ 25,00	8	R\$ 200,00			8	R\$ 200,00	8	R\$ 200,00
Deslocamento setor cópia	R\$ 25,00	0,17	R\$ 4,25			0,17	R\$ 4,25	0,17	R\$ 4,25
Operação de cópia	R\$ 25,00	1	R\$ 25,00			1	R\$ 25,00	1	R\$ 25,00
Operação de fundição cavidade	R\$ 25,00	0,42	R\$ 10,50			0,42	R\$ 10,50	0,42	R\$ 10,50
Inspeção peça fundida	R\$ 25,00	1	R\$ 25,00			1	R\$ 25,00	1	R\$ 25,00
Preparação cavidade fundição tampa	R\$ 25,00	2	R\$ 50,00						
Operação de fundição da tampa	R\$ 25,00	0,42	R\$ 10,50						
Inspeção peças fundidas	R\$ 25,00	0,5	R\$ 12,50						
Deslocamento usinagem	R\$ 25,00					0,17	R\$ 4,25	0,17	R\$ 4,25
Programação (CAM) do molde	R\$ 30,00			3	R\$ 90,00	3	R\$ 90,00	3	R\$ 90,00
Usinagem bloco fundido	R\$ 50,00				R\$ 0,00	5	R\$ 250,00	5	R\$ 250,00
Inspeção da usinagem	R\$ 25,00				R\$ 0,00	0,17	R\$ 4,25	0,17	R\$ 4,25
Usinagem demais peças/usinagem molde	R\$ 50,00			35	R\$ 1.750,00	10	R\$ 500,00	10	R\$ 500,00
Inspeção da usinagem	R\$ 25,00			0,5	R\$ 12,50	0,5	R\$ 12,50	0,5	R\$ 12,50
Deslocamento matrizaria	R\$ 25,00	0,17	R\$ 4,25	0,17	R\$ 4,25	0,17	R\$ 4,25	0,17	R\$ 4,25
Ajustagem	R\$ 25,00	12	R\$ 300,00	3	R\$ 75,00	3	R\$ 75,00	3	R\$ 75,00
Semiacabamento	R\$ 25,00	6	R\$ 150,00	4	R\$ 100,00	4	R\$ 100,00	4	R\$ 100,00
Montagem	R\$ 25,00	10	R\$ 250,00	5	R\$ 125,00	5	R\$ 125,00	5	R\$ 125,00
Injeção	R\$ 25,00	0,5	R\$ 12,50	0,5	R\$ 12,50	0,5	R\$ 12,50	0,5	R\$ 12,50
Retoques na ajustagem	R\$ 25,00	3	R\$ 75,00	2	R\$ 50,00	2	R\$ 50,00	2	R\$ 50,00
Acabamento	R\$ 25,00	9	R\$ 225,00	6	R\$ 150,00	6	R\$ 150,00	6	R\$ 150,00
Injeção	R\$ 25,00	0,5	R\$ 12,50	0	R\$ 0,00				
Montagem Final	R\$ 25,00	5	R\$ 125,00	0	R\$ 0,00				
Testes finais	R\$ 25,00	1	R\$ 25,00	1	R\$ 25,00	1	R\$ 25,00	1	R\$ 25,00
Valores totais		102,15	R\$ 2.357,08	100,17	R\$ 2.779,25	97,57	R\$ 2.657,58		

Fonte: Elaborado pelo autor.

Como se observa na Tabela 7, os custos totais de produção dos três processos são bem aproximados, desde que o tempo esteja dentro dos valores nela lançados.

Embora o custo total de fabricação do processo misto seja superior à 12,7% que o custo do processo de fundição, há dois fatores que colaboram para aplicação cada vez maior deste processo:

- a) o aumento da velocidade de produção dos moldes, pois o processo de usinagem favorece a redução do tempo nas operações de matrizaria;
- b) redução do retrabalho ou risco de perdas das partes do molde, devido ao molde ser projetado (no CAD) e usinado, gerando menor probabilidade de falhas humanas nas operações de ajustagem e de acabamento.

Analisando a fabricação pelo processo de usinagem, onde o tempo de usinagem do molde é o custo mais impactante para o processo (caso este valor seja superior as trinta e cinco horas lançadas na tabela), o custo final do processo se elevaria, tornando o procedimento menos eficiente se comparado ao processo misto. Porém, se o tempo de usinagem for de vinte e cinco horas, o processo seria o mais eficiente dos três, devido à qualidade fornecida e à velocidade na entrega.

No caso de moldes fabricados pelo processo de fundição, há a possibilidade dos modelos serem desenvolvidas manualmente, o que baixaria o custo de produção em aproximadamente 25%, devido às oito primeiras operações serem substituídas somente pelo valor do modelo, que tem custo aproximado de R\$ 500,00, o que torna este processo o mais econômico da empresa.

Normalmente, a utilização de maquetes manuais é aplicada somente para moldes simples, onde a complexidade do fechamento e dos detalhes de desenho é baixa. No momento em que se necessitam da alta qualidade do molde e de desenhos complexos, é interessante utilizar maquetes usinadas, porém estes custos adicionais elevam os custos do processo de fundição (como visto na Tabela 7), deixando o custo final do processo mais aproximado ao do processo misto, o que leva a empresa a optar pela aplicação do segundo método, já que a velocidade de entrega do molde é mais rápida e confiável, gerando retorno para a empresa com maior velocidade.

Hoje, a escolha do processo de fabricação é determinada pela dificuldade do projeto e pela opção do cliente. Ao enviar o orçamento, o cliente recebe duas opções de preços, pois, normalmente, há a possibilidade de fabricar os moldes

utilizando dois dentre os três processos aplicados pela empresa. O preço mais baixo sugere ao cliente um molde simples, com qualidade média e tempo de entrega mais elevado, o outro preço dá a opção de um molde com alta qualidade em tempo reduzido. Desta maneira, a empresa se torna mais competitiva pela alternativa de preços baixos e de deixar que o cliente avalie a sua necessidade e a sua capacidade de investimento.

A criação do processo misto possibilitou à empresa a fabricação de moldes complexos em tempo reduzido, diminuindo os estoques *WIP* devido às operações que ocorrem em paralelo, facilitando o processo produtivo e aumentando a produção e a velocidade de retorno financeiro.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com base na proposta inicial deste trabalho, juntamente com a pesquisa bibliográfica e as informações coletadas através da pesquisa-ação, realizou-se o estudo com o propósito de analisar a melhoria do processo de fabricação de moldes mediante a aplicação de um processo inovador.

A partir do referencial teórico, foram apresentadas as diferentes tecnologias para a produção de moldes. Após a consulta bibliográfica, ficou claro que a maioria dos estudos é realizada para moldes técnicos, e há pouco material ligado diretamente à área de moldes para injeção de solados. Embora estes moldes utilizem os princípios dos moldes técnicos, há características técnicas que se diferem devido à necessidade que a indústria do calçado tem em produzir novos modelos rapidamente, e com baixo custo.

Desta maneira, ficou evidente a necessidade de uma pesquisa mais aprofundada sobre os diferentes processos aplicados neste segmento, a fim de analisar a viabilidade e o nível tecnológico de cada um, já que os custos envolvidos nos processos de fabricação, atualmente, são o que determinam o nível de competitividade das empresas.

Pode-se dizer que o objetivo deste estudo foi atingido, pois os cinco objetivos específicos, definidos inicialmente, foram analisados com profundidade durante o trabalho.

Na área produtiva, a inovação do processo de fabricação mostrou-se eficiente para moldes complexos, pois reduziu o tempo de fabricação e aumentou a produtividade e a qualidade do produto. A inovação recebeu avaliação positiva dos diretores e gerentes da empresa, pois cumpriu com a função de melhoria do processo de fabricação, reduzindo o tempo de entrega dos moldes e aumentando a satisfação dos clientes.

As análises aprofundadas dos métodos de produção convencionais também receberam notoriedade frente à avaliação dos diretores, pois as planilhas apresentadas mostraram, resumidamente, o custo e o tempo envolvido em cada processo, facilitando a tomada de decisão sobre qual processo utilizar ao início de cada projeto.

Quanto à agilidade do novo processo, este mostrou-se eficiente, pois permitiu que as operações fossem realizadas paralelamente, o que facilitou o processo de fabricação e reduziu o *lead time* dos moldes, diminuindo, assim, o custo de “estoque em processo”. Segundo Slack, Chambers e Johnston (2008), a redução do “estoque em processo” já é um grande ganho para empresa, pois admite uma produção mais enxuta e organizada, aumentando a velocidade do retorno financeiro.

Em questões de confiabilidade do processo, a inovação se mostrou bastante eficaz, pois durante todo ano de pesquisa poucos moldes tiveram retrabalho. Os retrabalhos aconteceram, basicamente, por falhas operacionais dos colaboradores, e não por falhas do processo em si.

O aumento da qualidade dos moldes também foi um ponto positivo reconhecido pela direção e pelo setor de venda e pós-venda da empresa, já que os clientes que optaram por este método, ao receber o produto, avaliaram a inovação com nota máxima e repetiram a escolha para novos projetos.

Como avaliação negativa, o processo se mostrou com custo elevado para moldes simples e, por isso, não poderá ser aplicado como processo de produção padrão, o que permitirá que a empresa siga trabalhando com os métodos convencionais. Esta avaliação é importante para a saúde da organização, pois os produtos produzidos devem ser rentáveis, e não somente satisfazer a necessidade do cliente.

Quanto às dificuldades para realização do estudo, podem ser citados o longo período das análises dos processos para a obtenção dos dados, o cálculo dos custos hora/homem e hora/máquina e o fato do pesquisador trabalhar na empresa.

Devido ao tempo envolvido no desenvolvimento de uma coleção de moldes, as primeiras injeções saem dentro de vinte e cinco a trinta dias, e é somente pela análise do produto injetado que se pode avaliar a eficiência do processo aplicado. Dessa forma, para a obtenção de um bom banco de dados para ser confrontado com a pesquisa, teve de se estender por um longo período, neste caso, um ano.

A aquisição dos custos hora/homem e hora/máquina se dificultou pela necessidade de valores específicos para cada operação e a empresa possuía os custos de maneira mais genérica. Com a necessidade destes valores mais específicos, o setor financeiro recalculou os custos das operações citadas nesta pesquisa. Porém, este trabalho teve de ser apoiado pelo pesquisador, já que os

materiais e equipamentos envolvidos em cada operação devem ser apresentados previamente a fim de serem inseridos nos cálculos.

Devido ao fato do pesquisador trabalhar na empresa e atuar diretamente na melhoria do processo também é uma dificuldade, pois ele pode ter uma observação distorcida dos processos, sendo que já adquiriu a cultura de trabalho, podendo omitir informações importantes utilizadas na criação do processo.

Como sugestões para futuras pesquisas, recomenda-se um estudo mais aprofundado na área de tempos e movimentos, já que neste trabalho tal assunto não foi abordado, além de uma análise criteriosa do *layout* utilizado para a fabricação, somado ao estudo dos tempos e movimentos, no qual pode haver uma redução considerável no tempo dos processos de fabricação utilizados, hoje, na empresa.

Também poderia ser realizado um estudo para automatizar as operações manuais dos métodos. Durante os processos, a maioria das operações é executada manualmente, com o apoio de máquinas e equipamentos nem sempre bem dimensionados ou adequadamente ajustados para o desempenho da atividade. Com uma pesquisa voltada para a automação e a ergonomia, poderiam se obter tempos menores nas operações e melhorar a qualidade de vida dos colaboradores pela redução dos esforços.

REFERÊNCIAS

- BERINS, Michael L. **Plastics Engineering Handbook of the society of the Plastics Industry, Inc.** New York: Chapman and Hall, 1991.
- FERRARESI, Dino. **Fundamentos da Usinagem dos metais.** São Paulo: Edgard Blucher, 1985.
- GIL, Antônio Carlos. **Como elaborar projetos de pesquisa.** 4. ed. São Paulo: Atlas, 2002.
- GIL, Antônio Carlos. **Métodos e técnicas de pesquisa social.** 5. ed. São Paulo: Atlas, 2006.
- HARADA, Júlio. **Moldes para Injeção de Termoplásticos.** São Paulo: Artliber, 2004.
- LAKATOS, Eva Maria; MARCONI, Marina de Andrade. **Fundamentos de metodologia Científica.** 3. ed. São Paulo: Atlas, 1991.
- LAKATOS, Eva Maria; MARCONI, Marina de Andrade. **Fundamentos da metodologia científica.** 6. ed. São Paulo: Atlas, 2007.
- MANRICH, Silvio. **Processamento de Termoplásticos.** São Paulo: Artliber, 2005.
- MATRIZARIA POLAKO. **Manual da Qualidade: Manual redigido pelos colaboradores baseado na história do fundador da empresa, onde consta a história da empresa e os dados da certificação ISO 2001.** [S.l.]. 2004.
- OLIVEIRA, Valter Vander de. **Processo de fundição,** 2010. Disponível em: <<http://www.joinville.ifsc.edu.br/~valterv/Processos%20de%20Fabrica%C3%A7%C3%A3o/aula%202%20Processo%20de%20Fundicao.pdf>>. Acesso em: 20 mar. 2012. [Apostila da Disciplina Processos de Fabricação - Curso Tecnólogo em Mecatrônica Industrial - Instituto Federal de Santa Catarina].
- OLIVEIRA, Valter Vander de. **Processo de fundição,** 2010. Disponível em: <<http://www.joinville.ifsc.edu.br/~valterv/Processos%20de%20Fabrica%C3%A7%C3%A3o/aula%202%20Processo%20de%20Fundicao.pdf>>. Acesso em: 20 mar. 2012. [Apostila da Disciplina Processos de Fabricação - Curso Tecnólogo em Mecatrônica Industrial - Instituto Federal de Santa Catarina].
- PORTAL MOLDES. **A Influência da CONTRAÇÃO na moldagem de peças plásticas,** [s.d.]. Disponível em: <http://www.moldesinjecaoplasticos.com.br/contracao_na_moldagem.asp>. Acesso em: 2012.
- PRODANOV, Cléber Cristiano; FREITAS, Ernani Cesar de. **Metodologia do Trabalho Científico: Métodos e Técnicas da Pesquisa e do Trabalho Científico.** Novo Hamburgo: Feevale, 2009.
- ROMAN, Ademar. **Transformação do Polietileno - PEBD,** 1997. Disponível em: <http://www.romanplast.com.br/capitulo_07.pdf>. Acesso em: 13 mar. 2012.

SLACK, Nigel; CHAMBERS, Stuart; JOHNSTON, Robert. **Livro Administração da Produção**. 2. ed. São Paulo: Atlas, 2008.

STOETERAU, Rodrigo Lima. Superfícies Usinadas, 2007. Disponível em: <<http://pt.scribd.com/doc/23928361/aula-26-u-2007-1-eletroerosao>>. Acesso em: 13 mar. 2012. [Apostila da Disciplina Processos de Usinagem].

THIOLLET, Michel. **Metodologia da pesquisa-ação**. 8. ed. São Paulo: Cortez, 1998.

WIEBECK, Hélio; HARADA, Júlio. **Plásticos de Engenharia: Tecnologia e aplicações**. São Paulo: Artliber, 2005.