



# TENDÊNCIA NA REDUÇÃO DO CICLO DE DESENVOLVIMENTO DE MOLDES E MATRIZES INFLUENCIADA PELA ESTRATÉGIA DE USINAGEM E POLIMENTO<sup>1</sup>

Luiz Vicente Neto<sup>2</sup>  
André Luís Helleno<sup>3</sup>

## Resumo

Atualmente a fabricação de moldes e matrizes apresentam, como características do processo, um alto tempo agregado à etapa de polimento. Este tempo está diretamente relacionado com a estratégia de usinagem utilizado no planejamento da manufatura. Em função disto, este artigo tem como objetivo analisar a influência da estratégia de usinagem e inclinação da superfície usinada sobre o tempo de polimento. Para isto, utilizou se um corpo de prova em aço AISI P20, contendo nove regiões com dimensões de 30 mm x 22 mm, as quais foram usinadas com uma fresa de topo esférica de  $\varnothing 16$  mm, com um formato que contemplasse uma superfície plana, duas rampas ( $10^\circ$  e  $20^\circ$ ) e três diferentes estratégias de usinagem (Zig, Zig/Zag e Zig/Zag  $45^\circ$ ). O ensaio foi realizado em uma máquina ferramenta de três eixos de fresamento e a etapa de polimento, foi realizada em uma empresa especializada. As comparações foram realizadas através da medição do fator de rugosidades (RA), antes e depois da etapa de polimento, possibilitando um parâmetro de análise do ensaio.

**Palavras-chave:** Polimento; Moldes e matrizes; Estratégia de usinagem; Ciclo de vida do produto.

## TENDENCY IN THE REDUCTION OF THE DEVELOPMENT CYCLE OF MOLDS AND DIES INFLUENCED BY STRATEGY MACHINING AND POLISHING

### Abstract

At present the manufacturing of molds and dies present, such as the process characteristics, a high aggregate time the polishing step. This time is directly related to the machining strategy used in manufacturing planning. In function of this, this article is to analyze the influence of the machining strategy and inclination of the machined surface on the polishing time. For this purpose, we used a work pieces of steel AISI P20, containing nine regions with dimensions of 30 mm x 22 mm, which were machined with a ball nose mill  $\varnothing 16$  mm, with a format that includes a flat, two ramps ( $10^\circ$  and  $20^\circ$ ) and three different machining strategies (Zig, Zig / Zag and Zig / Zag  $45^\circ$ ). The test was performed on a machine tool in three axes milling and polishing step was performed in a specialized company. Comparisons were made by measuring the roughness factor (RA) before and after the polishing step, enabling an analysis of the test parameter.

**Key words** Polishing; Molds and Dies, Machining Strategy, Product Life Cycle.

<sup>1</sup> Contribuição técnica ao 9º Encontro da Cadeia de Ferramentas, Moldes e Matrizes, 10 e 11 de agosto de 2011, São Paulo, SP.

<sup>2</sup> Universidade Metodista de Piracicaba - UNIMEP, Rod. Sta. Bárbara - Iracemapolis, Km 1, Cep 13450-000, Santa Bárbara d'Oeste, SP - Brasil - Tel. +55 19 31241792 ou 31241810 - Fax +55 19 31241788; neto.lvn@gmail.com.

<sup>3</sup> Universidade Metodista de Piracicaba - UNIMEP, Rod. Sta. Bárbara - Iracemapolis, Km 1, Cep 13450-000, Santa Bárbara d'Oeste, SP - Brasil - Tel. +55 19 31241792 ou 31241810 - Fax +55 19 31241788; alhelleno@unimep.br.



## 1 INTRODUÇÃO

Atualmente a manufatura de moldes e matrizes, tem sofrido forte influência da redução do ciclo de vida do produto, da qualidade, do tempo e do custo. Para atender esses requisitos e manter o nível de competência, as empresas envolvidas nessa cadeia produtiva estão desenvolvendo soluções e inovações tecnológicas dentre as mais diversas áreas, tais como, máquinas ferramentas, CNC, ferramentas de corte, sistemas de gestão, sistemas CAD/CAM entre outras.

No entanto, apesar da eficiência pontual destas soluções, a etapa de polimento, por sua complexidade, tem sido desconsiderada na maioria dos estudos, pois, as operações de acabamento final dos moldes e matrizes requerem um grande percentual de polimento manual, processo este, que necessita da habilidade excepcional do colaborador, mão de especializada.

Os principais fatores que constituem o custo de produção de uma ferramenta de moldagem são a usinagem e o acabamento, sendo que as reduções desses custos são de grande auxílio para que as empresas se tornem competitivas, reduzindo assim o tempo de retorno dos investimentos e assim, podendo investir em pesquisa e desenvolvimento, atendo produtos cada vez mais inovadores de acordo com Mesquita e Barbosa.<sup>(1)</sup>

Na produção dos moldes e matrizes são de 12% a 15% dos custos e de 30% a 50% do tempo gasto com a fabricação estão associados com a atividade de polimento, conforme Willenborg e Ostholt.<sup>(2)</sup> O trabalho de acabamento final (polimento) das ferramentas de moldagem contém uma interface de subjetividade na constituição desse trabalho. As práticas profissionais aplicadas ao polimento têm a capacidade de modificar os padrões dominantes de qualidade e, portanto, de alterar o modo de pensar e buscar encontrar uma relação direta entre esses dois fatores.

De acordo com Altan, Lilly e Yen,<sup>(3)</sup> por um longo período este cenário refletia o longo tempo de produção dos moldes e matrizes, que formam os componentes do interior de um veículo automotivo, onde são utilizados moldes complexos, que tem uma demora de seis a nove meses para serem fabricados. Atualmente este é o período usado pela indústria automobilística no desenvolvimento de um componente para um modelo novo de automóvel.

Os avanços tecnológicos na Tecnologia HSC (*High Speed Cutting*), surgem como uma proposta de soluções, pois apresenta como características, a alta remoção de material e grande qualidade superficial, otimizando assim os tempos de fabricação, custos e demonstrando uma melhora significativa no acabamento superficial do produto final como demonstra a abordagem dos autores Schultz, Abele e Sahn<sup>(4)</sup> e Schutzer et al.<sup>(5)</sup>

A estratégia de usinagem e o polimento contribuem bastante para essa redução do ciclo de produção dos moldes e matrizes. Em função disso, este estudo procura relacionar as diferentes estratégias de usinagem com o tempo da etapa de polimento, assim como, a influência na qualidade final do produto.

## 2 MOLDES E MATRIZES – MANUFATURA

O grande aumento das exigências dos projetos, design cada dia mais singulares, tem gerado superfícies cada vez mais complexas. Nos últimos séculos tivemos um forte desenvolvimento tecnológico, o que proporcionou inúmeras vantagens, benefícios a população e produção.



Graças a todas essas inovações dos sistemas CAx a indústria consegue criar, desenvolver e principalmente utilizar essas tecnologias, para gerar formas mais harmônicas, com requisitos estéticos para satisfazer melhor os clientes – produtos do setor automobilístico, eletroeletrônico, aplicações aeroespacial e médico odontológico.<sup>(6)</sup>

A manufatura qualifica as ferramentas segundo a sua área de atuação: as que trabalham com os polímeros e elastômeros são chamadas de moldes, enquanto as matrizes são utilizadas para a conformação metálica.

A produção dos moldes e matrizes é caracterizada pelo processo que a utilizará, pelo material, suas propriedades e a quantidade de peças (produto final) a ser produzidas.<sup>(7)</sup>

- para a produção de matrizes para forjamento a utilização do aço AISI H13, com dureza na faixa de 48 HRC à 52 HRC;
- para os moldes de injeção é predominante o uso do aço AISI P20, com uma faixa de dureza na ordem entre 30 HRC e 55 HRC;
- no setor de estamparia tem se como principal produto o aço AISI D2 com dureza na entre 55 HRC e 62 HRC.

Os sistemas CAx evoluíram proporcionando a oportunidade de um elevado grau de dificuldade das geometrias a serem usinadas. Basicamente essas empresas trabalham utilizando a manufatura, de acordo com modelos gerados nos CAD, e que depois é enviada para um software CAM, capaz de parametrizar as variáveis para a fabricação como, o avanço, velocidades de corte e geometria da ferramenta, depois de concluído o software oferece a opção de da geração dos programas CNC que será descarregado no centro de usinagem. Diversas opções de estratégias de corte também são oferecidas para uma boa relação entre os tempos de produção e o acabamento do produto final.

## 2.1 Usinagem

No passado, a manufatura de um molde, era realizada utilizando se uma fresadora copiadora, com o auxílio de moldes de madeira ou argila, construídos por artesãos. Um dispositivo pantográfico era montado ao lado do equipamento, que transmitia a trajetória para a ferramenta executar a usinagem, assim, na medida em que a mesa movimentava se o dispositivo em contato com o modelo transferia o formato o para a ferramenta. As características que mais destacavam se nesse processo de acordo com Glanvill e Denton<sup>(8)</sup> eram:

- imprecisão da peça final, bem como a baixa qualidade superficial;
- limitação para a execução de superfície complexas, devido ao tipo de modelo e dispositivos;
- baixa flexibilidade;
- desgaste fisco do modelo pantográfico; e
- grandes ambientes para armazenagem dos modelos.

De acordo com Choi e Jerard,<sup>(6)</sup> entre os anos de 1950 e 1960, a evolução das máquinas NC e dos computadores, levaram ao desenvolvimento dos moldes padrão feito pelos artesãos, fosse representado em uma nuvem de pontos digitais, que em seguida eram interpolados para algoritmos matemáticos gerando assim, a superfície que em seguida era passada para a máquina.<sup>(8)</sup>

Nas décadas seguintes essas limitações foram sendo superadas pelo desenvolvimento dos sistemas - CAD (*Computer Aided Design*), que substituem o modelo físico do artesão por modelos virtuais, sistemas CAM (*Computer Aided*



*Manufacturing*), que são capazes de interpretar modelos virtuais e com eles gerar programas NC, otimizando a trajetória da ferramenta, conseguindo obter melhores estratégias de corte.

A manufatura de moldes e matrizes tiveram grande auxílio da tecnologia de usinagem HSC (*High Speed Cutting*), cuja pesquisa iniciou se em 1931, com Salomon para a empresa Krupp AG que em seguida deu origem a patente nº523594.<sup>(5)</sup>

No seu estudo Salomon, usinou se diversos materiais com variação da velocidade de corte e notou que a temperatura de usinagem aumenta à *“medida que se aumenta a velocidade de corte até atingir uma determinada faixa de velocidade de corte em que a usinagem não pode ser realizada devido à alta temperatura na região do corte. Após esta faixa, a temperatura começa a reduzir à medida que se aumenta a velocidade de corte”*.<sup>(9)</sup>

Historicamente o desenvolvimento da tecnologia HSC, intensificaram a partir de 1950, mais só apresentaram resultados satisfatórios a partir de 1970, com o aumento da produtividade na usinagem de alumínio. Os estudos com usinagem de superfície complexa e HSC cresceram a partir das décadas de 1980 e 1990 do século.

De acordo com Schulz, Abele e Sahm,<sup>(10)</sup> as vantagens da aplicação da tecnologia HSC na manufatura estão:

- no aumento da qualidade:
  - melhor qualidade superficial;
  - baixas forças de corte;
  - baixo empenamento na usinagem; e
  - usinagem com baixa vibração.
- na redução dos tempos de produção:
  - elevada velocidade de corte;
  - altas taxas de avanço;
  - elevadas taxas de remoção de material; e
  - baixo tempo inativo.
- na redução dos custos:
  - menor tempo de produção por peças;
  - baixo tempo de operação de máquinas; e
  - alta performance do ferramental.

A velocidade de produção dos moldes e matrizes está diretamente atrelada à geração da estratégia de usinagem pela integração dos sistemas CAD/CAM – após a modelagem tridimensional das superfícies em um sistema CAD, faz se necessário a transferência desse modelo geométricos para um CAM, onde se realizará o estudo das diferentes estratégias, bem como a otimização da trajetória e um pós processamento para a geração do programa NC e um posterior envio para a Máquina.

Escolhida a estratégia para a usinagem, deve conter todos os dados a respeito do caminho da ferramenta (trajetória), parâmetros de corte e deve ser observada se o programa esta isento de interferências e colisões. Por isso, a integração dos sistemas CAD/CAM/CNC deve ser analisada para encontrar o melhor desempenho para a produção dos moldes e matrizes.





## 2.2 Polimento

É uma das tecnologias que, confunde se com a história da humanidade. Recentemente, com demandas crescentes por geometrias cada dia mais complexa, o polimento tem sido reconhecido como uma tecnologia aplicada aos materiais da indústria dos componentes de máquinas de precisão, componentes ópticos, e componentes eletrônicos e dos ferramentais para modelação por injeção. Por exemplo, polimento de ultra precisão é uma tecnologia que produz exatamente formas geométricas e superfície lisa, ou sem danos a qualquer camada superficial ou tensão, que são as necessidades básicas para os produtos baseados na injeção polimérica.

O polimento é realizado sem deixar que as partículas abrasivas extremamente finas, gerem fraturas na superfície de trabalho, enquanto a remoção do material dá se por meio da deformação plástica do material, produzindo assim um “efeito” espelhado na superfície. O acabamento superficial dos produtos injetados são divididos em: acabamentos ou texturas especiais, que para serem conseguidos envolvem técnicas também especiais que envolvem desde o processo elétrico, processos químicos e manual para os diversos tipos de superfícies sendo que a técnica manual exige muita prática principalmente no caso de superfícies planas espelhadas. As peças e objetos de plásticos necessitam ter um aspecto visual final agradável, brilhante e para que a peça atinja este objetivo faz se necessário um polimento perfeito.

O espelhamento de uma superfície permite que o plástico após ser injetado tenha um brilho e uma transparência que garanta o visual ao produto final, esse processo de espelhamento é chamado de polibilidade. Assim, para podermos garantir essa polibilidade, a combinação de elementos de liga no aço, como a adição de cromo e níquel em porcentagens adequadas bem como pelos processos de produção da matéria prima com a purificação do aço, o que garanta a isotropia que é a uniformidade estrutural em todas as direções do aço. Os óxidos e os sulfetos inclusos no material podem diminuir a capacidade de ser polido dependendo do tamanho e a forma de distribuição.

Para os molde e matrizes aplicados a indústria dos polímeros, existe a necessidade de um acabamento superficial bastante rigoroso, e que também não prejudiquem a qualidade do produto final. No acabamento de matrizes para forjamento e estamparia exigem um grau de acabamento menor que os molde de injeção plástico.<sup>(11)</sup> Nesta condição o polimento é um fator de extrema importância, sendo que, além do aspecto final ele colabora para:

- redução da corrosão;
- facilita a extração das peças;
- reduz os riscos de quebra;
- altera a resistência a Fadiga; e
- desgaste dos componentes.

A rugosidade nas cavidades dos moldes para injeção de termoplásticos, mesmo que invisível a olho nu podem impactar diretamente as características das peças moldadas, já que no polimento manual, uma área de 10 mm demora cerca de 30 minutos para ser tratada. Na produção dessas ferramentas de 12% a 15% dos custos e de 30% a 50% do tempo gasto com a fabricação estão associados com a atividade de polimento (Figura 1).

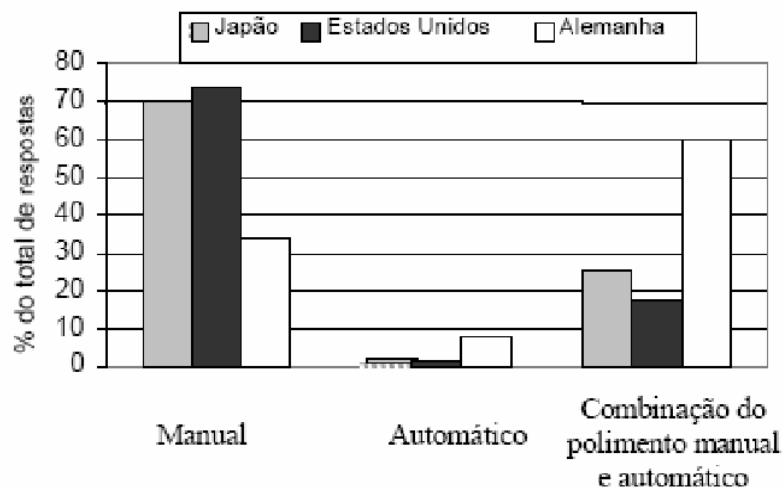


Figura 1. Percentual de utilização do processo de Polimento.<sup>(12)</sup>

Para Bengtsson,<sup>(13)</sup> a obtenção de um acabamento superficial (polimento) correto, está atrelado a quatro fatores:

- técnica de polimento – as técnicas manuais são as melhores para obter um bom acabamento, devido a capacidade de poder variar a pressão exercida ou parar, no momento e na superfície correta, mais logicamente para isso existe a necessidade de um mestre polidor experiente;
- características do material – para que obtenhamos uma superfície sem manchas ou pontos escurecidos existe a necessidade de uma limpeza e homogeneidade do material;
- tratamento térmico – o material tem que ser endurecimento de forma correta, para evitar a carburação e a formação de partículas oxidas que possam desenvolver sobre a superfície; e
- áreas de soldagem – as áreas soldadas podem causar danos ao polimento, devido a variação de temperatura, como consequência a mudança na composição química e a variação da dureza. Como sugestão para obter melhores resultados recomenda se o pré-aquecimento da região a ser trabalhada e pós-soldagem um alívio das tensões residuais.

Durante a obtenção do acabamento superficial alguns problemas podem surgir no processo de acabamento (polimento), que são chamados de *overpolishing*, onde notasse o aumento da rugosidade com o aumento do tempo de polimento, surgindo dois fenômenos:

- *Orange Peel* – aspecto superficial como uma casca de laranja, causada pelo superaquecimento da superfície devido às altas pressões e o elevado tempo de polimento;<sup>(13)</sup> e
- *Pitting* - são pequenas cavidades derivadas das inclusões não metálicas, geralmente são extraídos os sulfetos e os óxidos. Sendo a principais causas disso: o tempo e a pressão de polimento, homogeneidade do material, tipos de ferramentas e o abrasivo utilizado.<sup>(13)</sup>

Geralmente, o polimento é avaliado a olho nu, o que significa dizer que a superfície examinada dever estar totalmente livre de riscos, porosidades e abrasivos utilizados durante a execução. No caso de polimentos espelhados, a avaliação final do resultado da superfície poder também ser feita através da utilização de instrumentos ópticos. Muitas vezes um polimento, visto através destes instrumentos, mostrará riscos que, entretanto, poderão ser aceitáveis a olho nu e, conseqüentemente, não

aparecerão na peça pronta. Na verdade uma análise final da qualidade do polimento dependerá muito da experiência do polidor.

Apesar de que o processo de polimento ser na sua maior parte manual, existem estudos para um desenvolvimento automatizado do polimento, utilizando braços robóticos, laser para o trabalho, que no devido momento do estudo não será observado.

### 2.3 Objetivos e Justificativa

O devido estudo tem por objetivo geral, identificar e analisar a relação entre as diferentes estratégias de usinagem e o tempo de polimento, no processo de manufatura dos moldes e matrizes. As ações propostas para avaliar essas relações, propõem executar um corpo de prova em aço AISI P20, contendo nove regiões com dimensões, as quais foram usinadas com uma fresa de topo esférica, com um formato que contemplasse uma superfície plana e duas rampas (10° e 20°), para um efeito comparativo e três diferentes estratégias de usinagem (Zig, Zig/Zag e Zig/Zag 45°), e uma revisão bibliográfica, buscando mediante a observação direta descrever a relação entre as estratégias de usinagem e o tempo de polimento.

De acordo com Fallbomer et al.<sup>(12)</sup> e também Olling, Choi e Jerard,<sup>(14)</sup> a maior parte do tempo é consumido pelas operações de usinagem e acabamento manual. Isto ocorre em razão da baixa qualidade superficial do molde após o processo de usinagem com velocidades convencionais, sendo necessário as etapas de acabamento manual (polimento), realizadas por artesões, que visa obter o acabamento superficial necessário para o ferramental começar a produzir (Figura 2). A pesquisa auxiliará a esclarecer possíveis relações entre essas diferentes estratégias e o tempo gasto para o polimento. E indicando possíveis ganhos de *lead time* na manufatura de moldes e matrizes.

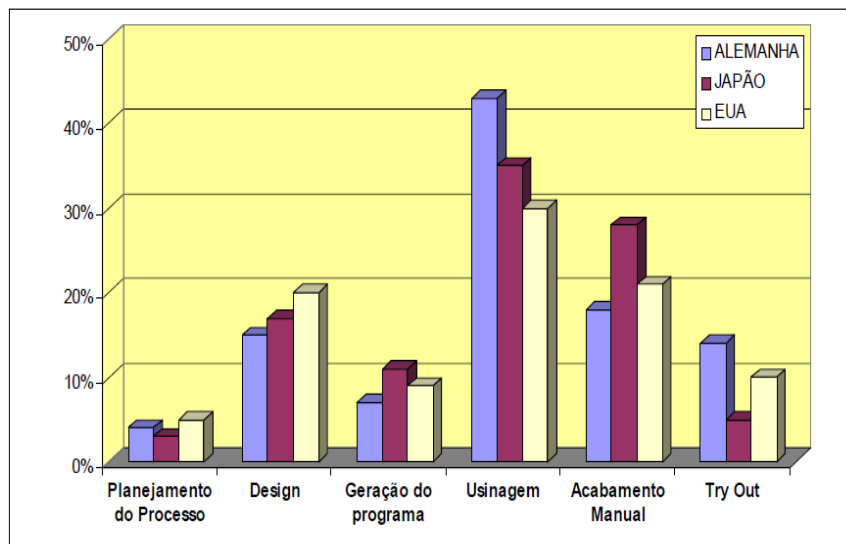


Figura 2. Porcentagem do Tempo consumido na Manufatura de Moldes e Matrizes.<sup>(12)</sup>

### 3 METODOLOGIA

Para atingir os objetivos propostos foram realizados, ensaios no corpo de prova e uma pesquisa bibliográfica abordando a manufatura de moldes e matrizes, Tecnologia HSC, Sistemas CAD/CAM e Polimento. Essa pesquisa foi realizada



através livros sobre estes temas, artigos de revistas especializadas (nacionais e internacionais), artigos de congressos e seminários e artigos.

De acordo com Souza,<sup>(15)</sup> as pesquisas experimentais tratam de um estudo sobre a relação causal entre duas ou mais variáveis. A estratégia de Usinagem e o Polimento são as variáveis, em relação ao acabamento superficial encontrado após a usinagem e depois da execução do polimento.

Os ensaios foram realizados utilizando o aço AISI P20 cuja composição química é a seguinte: C = 0,35%; Si = 0,30%; Mn = 1,10%; Cr = 1,7%; Mo = 0,40% e V = 0,25%. Foi utilizado um centro de usinagem vertical com três eixos Romi Discovery 760, muito utilizado no setor da fabricação dos moldes com a máxima rotação de 10.000 rpm, comando Siemens 810D configurado especialmente, devido solicitação do SCPM (Laboratório de Sistemas Computacionais para Projeto e Manufatura), permitindo além de sua configuração standard, características adicionais como: execução de funções Splines e interface para ethernet.

As dimensões externas do corpo de prova eram de 117 mm x 90 mm x 82 mm e cada superfície apresentava as medidas de 30 mm x 22 mm, conforme Figura 3, e as operações utilizadas foram de desbaste, semi acabamento e acabamento. As variáveis de corte foram selecionadas de acordo com as recomendações do catálogo do fabricante das ferramentas.

Para a usinagem foi utilizado:

- fresa *ball nose*  $\varnothing$ 16mm, com insertos intercambiáveis;
- fresa de topo de metal duro com  $\varnothing$ 8mm;
- fresa de topo de metal duro  $\varnothing$ 12mm;
- profundidade de Corte ( $A_p$ ) = 0,20mm;
- espessura de corte ( $A_e$ ) = 0,20mm;
- avanço por dente ( $f_z$ ) = 0,20mm; e
- velocidade de corte ( $V_c$ ) = 250m/min.

Na execução dos corpos de prova foram utilizadas três estratégias de fresamento (Zig, Zig/Zag e Zig/Zag 45°), para a operação de acabamento (Figura 3).

Após, concluído a seqüência de usinagem dos corpos de prova, foi medida a rugosidade  $R_a$  das três regiões (superfície plana, rampa com 10° e rampa com 20°), conforme Tabela 2. Para a medição foi utilizado um rugosímetro portátil Mitutoyo modelo Surftest 211, e a sala de metrologia encontrava se com uma temperatura média de 20,3°C, medida pelo aparelho Lutron HT – 3003.

O levantamento da rugosidade  $R_a$  (Tabela 2) proporciona avaliar o acabamento superficial das diferentes estratégias empregadas no teste, pois o mecanismo de corte varia com o deslocamento da ferramenta e em função de cada estratégia escolhida. Essa avaliação proporcionou um comparativo empírico com o polimento, assim como é realizado nas empresas de moldes e matrizes.





**Figura 3.** Ciclo de Manufatura do Corpo de Prova.

Em seguida o corpo de prova foi enviado para uma empresa especializada em polimento. O produto foi polido por um “mestre polidor” dentro das características empregadas (conhecida como espelhamento - Tabela 1), geralmente pelas empresas desse tipo de ferramental. Foi acompanhada pessoalmente todo o processo de polimento, depois de concluído o acabamento superficial, as peças retornaram para a medição da rugosidade Ra (Tabela 2). E em seguida foi levantado os tempos de polimento conforme indicado na Tabela 3.

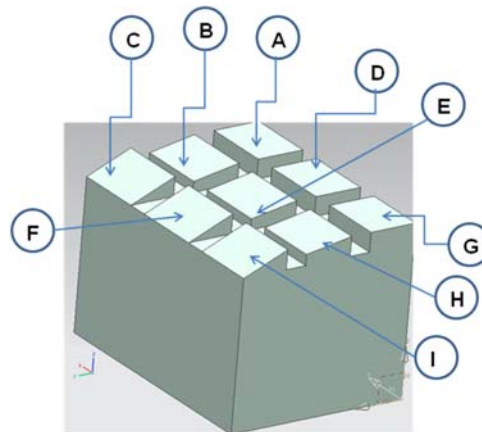
**Tabela 1.** Etapas para o processo de polimento

Item	Acabamento Superficial	Observação
1	Polimento mecanizado com Pedra Abrasiva #320	Utilizado Lapidador vibratório para moldes com avanço $f=8\text{mm}$ .
2	Polimento mecanizado com Pedra Abrasiva #400	Idem item 1.
3	Polimento manual com Lixa Abrasiva #400	Para verificar melhor o sentido dos riscos.
4	Polimento mecanizado com Pedra Abrasiva #600	Idem item 1.
5	Polimento manual com Lixa Abrasiva #400	Idem item 3.
6	Polimento manual com Lixa Abrasiva #800	Idem item 3.
7	Polimento manual com Lixa Abrasiva #1200	Idem item 3.
8	Limpeza com solvente	Para retirar todo pó abrasivo que possa estar sobre a superfície da peça.
9	Espelhamento com Pasta de Polir $15\mu\text{m}$	Polimento com disco giratório de cerda com pelos, até sumir os riscos deixados pela lixa #1200.
10	Limpeza com solvente	Para retirar todo pó abrasivo que possa estar sobre a superfície da peça.
11	Espelhamento com Pasta de Polir $15\mu\text{m}$	Polimento com disco giratório de feltro.
12	Espelhamento com Pasta de Diamantada $3\mu\text{m}$	Polimento com disco giratório de feltro.
13	Espelhamento com Pasta de Diamantada $1\mu\text{m}$	Polimento manual com algodão



## 4 RESULTADOS

Os valores de rugosidade  $R_a$  das superfícies usinadas e polidas foram obtidos de acordo com a Figura 4 e a Tabela 2. Assim, foram escolhidos cinco pontos aleatórios para a tomada da rugosidade para cada uma das estratégias adotada, porém sempre no sentido transversal da profundidade de Corte  $A_p$ . O comprimento de amostragem percorrida pelo apalpador do rugosímetro (*cut off*), padronizado para as medições de fresamento é de 0,8 mm e para o polimento o *cut off* foi de 0,25 mm de acordo com as normas DIN/ISO 4288. Em geral, considerando os valores médios, independentemente de haver uma inclinação acentuada da ferramenta, os valores mostraram se na mesma ordem de grandeza. Pode se notar que nas regiões A, D e G, por utilizar a região central da ferramenta de ponta esférica para usinar o material, essa situação provoca o esmagamento, o que influencia diretamente nos valores do  $R_a$ , mais não provoca qualquer tipo de dificuldade para o polimento. Dessa forma, a solução seria utilização de um cabeçote de inclinação para que a ferramenta sempre tocasse a peça fora do seu centro onde existe uma tendência da Velocidade de corte ser nula.



**Figura 4.** Regiões de medição da Rugosidade  $R_a$  ( $\mu\text{m}$ ) para cada estratégia de corte.


**Tabela 2.** Comparativo de valores de rugosidade Ra para cada estratégia de corte

<b>Estratégia - ZIG</b>	<b>Rugosidade Ra(<math>\mu</math>m).</b>	
	<b>Usinado – Cut off 0,8mm l = 4,00mm</b>	<b>Polido – Cut off 0,25mm l = 1,25mm</b>
<b>A</b>	0,62	0,05
	0,74	0,05
	1,08	0,04
	0,96	0,05
	0,89	0,04
<b>B</b>	0,49	0,03
	0,47	0,04
	0,84	0,04
	0,44	0,05
	0,88	0,04
<b>C</b>	0,81	0,05
	0,86	0,05
	0,99	0,04
	0,67	0,05
	0,68	0,05
<b>D</b>	1,34	0,05
	1,51	0,05
	1,64	0,05
	1,57	0,05
	1,64	0,05
<b>E</b>	0,51	0,04
	0,60	0,04
	0,51	0,05
	0,47	0,05
	0,67	0,04
<b>F</b>	1,53	0,05
	1,33	0,05
	1,21	0,05
	1,50	0,04
	1,23	0,05
<b>G</b>	0,71	0,04
	0,86	0,05
	0,81	0,05
	0,90	0,05
	0,88	0,05
<b>H</b>	0,94	0,04
	1,03	0,05
	1,08	0,05
	1,02	0,05
	0,98	0,04
<b>I</b>	0,91	0,04
	1,06	0,05
	1,21	0,05
	0,99	0,04
	0,98	0,05

**Tabela 3.** Tempos de polimento

<i>Estratégia</i>	<i>Regiões</i>	<i>Tempo de Polimento (minutos)</i>
ZIG	A	24
	B	25
	C	27
ZIG/ZAG	D	26
	E	25
	F	28
ZIG/ZAG 45°	G	29
	H	26
	I	30

## 5 CONCLUSÃO

De acordo com os experimentos realizados pode se concluir que:

- os valores de rugosidade (Ra) nas superfícies usinadas variam significativamente de acordo com o ponto de contato da ferramenta de ponta esférica;
- a superfície onde o ponto de contato ocorreu no centro da ferramenta, com menor velocidade de corte, foram registrados os maiores valores de rugosidade, para as três estratégias;
- nas superfícies de maior inclinação, onde as velocidades de corte são superiores, os valores de rugosidade foram menores;
- os valores de rugosidade (Ra) nas superfícies polidas não alteraram significativamente os tempos de polimento;
- em uma análise visual, os perfis apresentaram um excelente acabamento espelhado para as três estratégias, com as características solicitadas pelos fabricante de moldes de injeção; e
- os tempos de polimento não são influenciados diretamente pela estratégia de corte, e de acordo com os “mestres polidores”, essa diferença está relacionada com a posição e ergonomia para o polimento.

Assim, não existe uma estratégia de corte ideal e única para produzir um molde com acabamento espelhado. Além disso, na indústria de moldes e matrizes a maioria das máquinas ferramenta é adotada de apenas três eixos, o que também dificulta o emprego de muitas estratégias definidas pelo software CAM.

## Agradecimentos

Este estudo foi realizado com o apoio da CAPES (Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior). E com a orientação e o apoio técnico do SCPM da UNIMEP (Laboratório de Sistemas Computacionais para Projeto e Manufatura). Agradeço também a pessoal do Sr. Rogério Bortolosso diretor da Polimaster ([www.polimastermoldes.com.br](http://www.polimastermoldes.com.br)), pelo auxílio no polimento dos corpos de prova.





## REFERÊNCIAS

- 1 Mesquita R.A., Barbosa, C.A., 2005, “Desenvolvimento de Aço com Usinabilidade Melhorada e Aços Endurecíveis por Precipitação para Moldes de Plástico”. Tecnologia em Materiais. São Paulo, v.1, n.4, p.11 – 14 – 15, abr. – jun. 2005.
- 2 Willenborg E., Ostholt R., “Re-melting with laser radiation is a new method for the automated polishing of 3D surfaces in the tooling industry and medical engineering”. Em <[http://www.optoiq.com/index/display/article-display.articles.optoiq2.lasers-for\\_manufacturing.laser-surface\\_treatment.laser-melting\\_.2009.11.polishing-metals-with-laser-radiation.QP129867.dcmp=rss.page=1.html](http://www.optoiq.com/index/display/article-display.articles.optoiq2.lasers-for_manufacturing.laser-surface_treatment.laser-melting_.2009.11.polishing-metals-with-laser-radiation.QP129867.dcmp=rss.page=1.html) >. Acesso em: 12 de Fevereiro de 2011.
- 3 Altan, T., Lilly, B.,Yen, Y.C.,2001, “Manufacturing of Dies and Molds.” In: Annals of the CIRP, v.50, n.2.
- 4 Schultz, H., Abele, E., Sahm, A., 2001, “High Speed Machining - Fundamental and Industrial Application”. In: 6<sup>th</sup> Seminário Internacional de Alta Tecnologia, Piracicaba, Brazil. pp. 25-56.
- 5 Schutzer, K., et al. 2003, “Usinagem em Altíssimas Velocidades. São Paulo: Ed. Érica, São Paulo, Brazil, 214 p.
- 6 Choi, B.K., Jerard, R.B., 1998, “Sculptured Surface Machining – Theory and Aplications”. Netherlands, Dordrecht: Kluwer Academic Publisher 368 p. ISBN 0-412-78020-8.
- 7 Dewes, R.C., Aspinwall, D.K., 1997, “Journal of Material Processing Technology” - “A review of ultra high speed milling of hardened steels.”, Amsterdam, v.69, p. 1-17, September 1997.
- 8 Glanvill, A.B., Denton, E.N., 1970, “Princípios Básicos e projetos de Moldes de Injeção”, Ed. Edgard Blücher, S.Paulo, Brazil, 309.p
- 9 Helleno, A. L., 2004, “Investigação de Métodos de Interpolação para a Trajetória da Ferramenta na Usinagem de Moldes e Matrizes com Alta Velocidade”. Dissertation (Master Degree in Production Engineering) – PPGP, University Metodista de Piracicaba, pp. 1- 140.
- 10 Schultz, H., Abele, E., Sahm, A., 2001, “High Speed Machining - Fundamental and Industrial Application”. In: 6<sup>th</sup> Seminário Internacional de Alta Tecnologia, Piracicaba, Brazil. pp. 25-56.
- 11 Ramos C.A., Machado, A.R., 2002, “Usinagem de Moldes e Matrizes”, Centro Federal de Educação Tecnológica Minas Gerais, Brazil.
- 12 Fallbohmer, P., Rodriguez, C.A., Ozel, T., Altan, T., 2000, “Journal of Material Processing Technology” High Speed Machining of Cast Iron and Alloy for Die and Molds Manufacturing V98, pp104 -115.
- 13 Bengtsson, K., 1983, “Polishing of Tool Steel”. Carl Hanser Verlag, Mold Handling Book: For the Plastic Engineer, pp 370 - 378.
- 14 Olling, G., Choi, B.K., Jerard, R.,B., 1999, “Machining Impossible Shapes. “Netherlands”, Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 1999. 386 p. ISBN 0-07-100846-2.
- 15 SOUZA, R. Linking Quality Management to Manufacturing Strategy: An Empirical Investigation of Customer Focus Practices? *Journal of Operations Management*, v. 21, n.1, p. 1-18, 2003.