



## **FRESAMENTO POR REGIÕES COMO ALTERNATIVA NA USINAGEM DE CAVIDADES PARA MOLDES DE INJEÇÃO ATRAVÉS DE SISTEMAS CAD/CAM**

### **Mariano Saraiva da Silva Filho**

Universidade Federal de Santa Catarina, Departamento de Engenharia Mecânica  
[m\\_saraiva\\_filho@yahoo.com.br](mailto:m_saraiva_filho@yahoo.com.br) - Florianópolis, SC, Brasil

### **Carlos Henrique Ahrens**

Universidade Federal de Santa Catarina, Departamento de Engenharia Mecânica  
[ahrens@cimject.ufsc.br](mailto:ahrens@cimject.ufsc.br) - Florianópolis, SC, Brasil

### **Rolf Bertrand Schroeter**

Universidade Federal de Santa Catarina, Departamento de Engenharia Mecânica  
[rolf@lmp.ufsc.br](mailto:rolf@lmp.ufsc.br) - Florianópolis, SC, Brasil

### **Andrei Zwetsch Cavalheiro**

Universidade Federal de Santa Catarina, Departamento de Engenharia Mecânica  
[azc@zaz.com.br](mailto:azc@zaz.com.br) - Florianópolis, SC, Brasil

**Resumo.** *Em função da crescente complexidade geométrica das cavidades em moldes de injeção é cada vez maior o emprego de sistemas CAD/CAM na programação de operações de fresamento. A obtenção de programas NC capazes de assegurar uma usinagem adequada da cavidade depende, basicamente, dos recursos oferecidos pelo sistema e da experiência do programador. Desta forma, a obtenção da qualidade superficial da cavidade a ser usinada, dependerá da capacidade do programador atribuir as condições tecnologicamente mais indicadas para fresar cada forma geométrica, atividade esta, muitas vezes realizada de forma empírica. Visando apresentar uma alternativa para a problemática em questão, este trabalho apresenta os resultados de uma pesquisa que buscou avaliar o emprego do fresamento por regiões na programação NC via CAD/CAM. Com base em ensaios de usinagem, realizados em geometrias classificadas como de complexidade baixa, são apresentadas inicialmente, importantes recomendações relativas ao processo de fresamento. Além disso, o trabalho descreve um estudo de casos, realizado com um sistema CAM com recursos dedicados a área de moldes, onde foi possível avaliar a aplicabilidade das recomendações obtidas dos ensaios.*

**Palavras-chave:** CAM, Fresamento, Moldes.

## **1. INTRODUÇÃO**

Buscando obter ganhos consideráveis de produtividade e precisão no fresamento de cavidades e eletrodos, para competir com empresas estrangeiras, grande parte das ferramentarias nacionais vêm adquirindo máquinas CNC e sistemas CAD/CAM (Ahrens, 1994, Miranda & Silva, 1989, Volpato, 1993). Entretanto, a utilização de sistemas CAD/CAM ainda não é feita de forma otimizada, pois o programador, muitas vezes, não está preparado para extrair o

melhor do sistema (Cavalheiro, 1998). As etapas mais problemáticas são a programação e a execução das operações de acabamento, uma vez que demandam o maior custo para produção do molde e determinam a precisão e qualidade superficial da cavidade (Finzer, 1997).

O resultado da programação estará atrelado à entrada correta ou não de dados no sistema, podendo, assim, obter-se resultados desejados ou atraso nos serviços, quebra de ferramentas, refugos e retrabalhos. Portanto, alcançar os níveis de qualidade e prazo de entrega desejados depende, basicamente, de programadores com conhecimento em tecnologia de usinagem e da potencialidade do CAM utilizado.

Fatores relacionados à movimentação da ferramenta e parâmetros de corte geram incertezas quando o programador está frente a uma tela de computador, principalmente na indústria de moldes, onde as geometrias usinadas variam muito e cada produto (molde) é único (Finzer, 1997). Alguns dos questionamentos que surgem no momento da programação do acabamento são:

- Na usinagem de superfícies inclinadas, a fresa deve cortar somente subindo, somente descendo, nos dois sentidos, na direção longitudinal ou em uma direção intermediária (Fig. 1)?
- Quais as conseqüências que cada uma destas opções terá em termos de diâmetro efetivo de corte e acabamento superficial?
- Existem vantagens em se usinar somente no sentido de corte concordante, já que este resultaria num melhor acabamento superficial?
- O menor tempo de usinagem, utilizando os dois sentidos, pode ser vantajoso? Qual a diferença, em termos de rugosidade, para a usinagem com apenas um sentido de corte?
- O que acontece com relação à força de usinagem e, conseqüentemente, às vibrações geradas para cada sentido (concordante e discordante)?

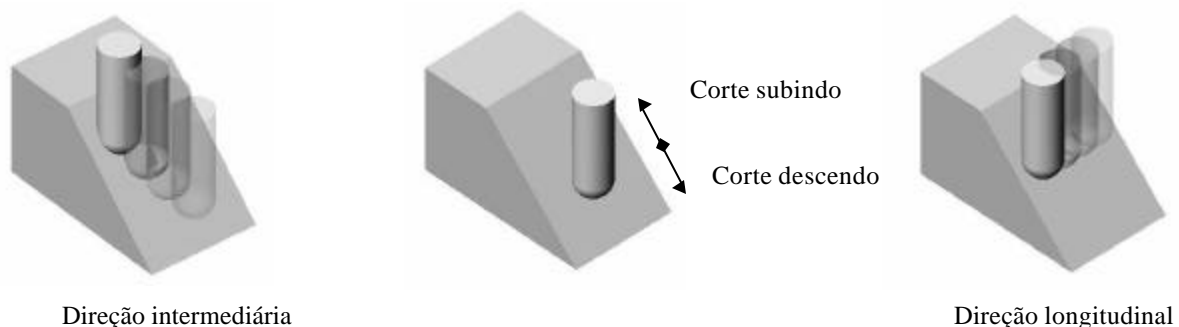


Figura 1: Direções e sentidos de corte.

Um dos maiores problemas para o programador é a escolha certa da estratégia de acabamento, pois existe um grande número destas estratégias (Finzer, 1997), e os manuais dos *softwares* não indicam qual a mais adequada em função do tipo de geometria a ser usinada.

A identificação da estratégia mais adequada para usinar certa geometria é feita, basicamente, de três formas:

- Baseada em experiências anteriores do programador, tendo este programado o fresamento de uma variedade considerável de formas geométricas;
- Utilizando uma ou duas estratégias, alegando que, se estas não são as mais adequadas, pelo menos não comprometem o trabalho;
- Ou então, por tentativas, onde o usuário do *software* executa um grande número de cálculos de trajetórias e verifica qual delas aparentemente está mais adequada.

No primeiro caso, as ferramentarias que possuem um operário qualificado e com experiência, produzem bons moldes. Entretanto, caso este funcionário vier a se afastar do serviço, a empresa perde o seu “histórico”. Na segunda hipótese, fica claro que as trajetórias não serão as melhores para todos os casos, existindo sempre uma estratégia que melhor se adapta a cada geometria. Outra técnica é a geração de várias trajetórias para escolher a melhor dentre elas, o que além de demandar um considerável tempo de programação, nem sempre leva à otimização da usinagem.

Pode-se constatar que nenhuma destas maneiras é a mais adequada para gerar um programa NC otimizado em um tempo aceitável. Portanto, buscar obter uma maneira de organizar informações sobre fresamento que direcionem a escolha da estratégia de acabamento, baseada na geometria da cavidade, constitui-se numa importante atividade.

As geometrias complexas, em alguns casos, devem ser separadas por meio de insertos e/ou gavetas para facilitar a fabricação e extração do moldado. O artifício de separar a geometria em partes, usiná-las e depois montar, foi bastante empregado quando não se dispunha de máquinas CNC, nem do auxílio computacional na fabricação do molde. Nos dias de hoje, este problema é contornado utilizando-se sistemas CAD/CAM. Todavia, é desejável que o sistema CAM possibilite separar regiões com características diferentes, em uma mesma geometria complexa, para que esta seja usinada de forma a obter a melhor condição de corte. Esta decomposição virtual da peça de certa forma se assemelha à decomposição descrita anteriormente, porém tem o objetivo de otimizar a usinagem sob o ponto de vista tecnológico.

Visando resolver algumas das questões abordadas anteriormente, este trabalho propõe o fresamento por regiões como uma sistemática para a programação da usinagem de acabamento em cavidades de moldes e pretende avaliar a aplicabilidade desta alternativa utilizando um sistema CAM comercial.

## **2. SISTEMÁTICA DE TRABALHO PROPOSTA - FRESAMENTO POR REGIÕES**

Ao contrário de se aplicar uma única estratégia de usinagem para todo o modelo geométrico, com o fresamento por regiões programa-se uma estratégia específica para cada tipo de geometria que o constitui.

Seleciona-se a estratégia e os parâmetros de programação mais adequados à cada geometria, otimizando-se o fresamento do ponto de vista tecnológico. Benefícios como redução do trabalho de acabamento manual em cavidades de moldes e condições de corte mais estáveis podem ser alcançados com este método.

## **3. TRABALHO EXPERIMENTAL**

Para avaliar a aplicabilidade do fresamento por regiões foram geradas as trajetórias de ferramenta para três cavidades diferentes de moldes. Num dos ensaios procedeu-se inclusive a usinagem das cavidades, para análise do acabamento.

Nos três ensaios procurou-se fazer um estudo comparativo entre a programação por regiões e a programação que muitas vezes é realizada nas ferramentarias, onde nem sempre são considerados aspectos tecnológicos do fresamento. Foram analisados, principalmente, os recursos que o *software* de CAM *PowerMILL* oferece para facilitar a seleção de áreas para usinagem. Também se pretendeu avaliar se o *software* possibilita definir a condição de corte mais indicada para a área selecionada.

Assim, os recursos analisados em cada ensaio foram:

- Ensaio 1 - cavidades para uma peça injetada e núcleo perdido: foi realizado um estudo comparativo em termos de acabamento superficial entre os dois modos de programação (por regiões e a convencional);

- Ensaio 2 - cavidade para um fone: foram estudados os recursos para seleção automática de regiões no acabamento de arredondamentos;
- Ensaio 3 - cavidade de um pára-choque: foi realizado um estudo comparativo em relação ao tempo de programação entre a usinagem por regiões e a convencional.

Para seleção da estratégia a ser aplicada a cada região dos modelos utilizados no trabalho experimental, foram utilizadas informações recolhidas da literatura e dos resultados de ensaios de fresamento preliminares. Os ensaios preliminares serviram para verificar a aplicabilidade das estratégias de usinagem mais frequentemente oferecidas em *softwares* de CAM no fresamento de geometrias básicas como planos inclinados, superfícies côncavas e convexas.

Os resultados destes ensaios preliminares podem ser encontrados no trabalho de Silva Filho (2000) e serão objetos de um próximo artigo.

## 4. DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

### 4.1 Ensaio 1 - perfil de rugosidade obtido na usinagem

A superfície de uma cavidade fresada deve conter o menor número de elevações e reentrâncias possível. Entretanto, após um processo de usinagem, uma superfície ainda apresenta muitas irregularidades, que serão eliminadas com o acabamento manual. Para facilitar o trabalho posterior, procura-se obter uma rugosidade apropriada no fresamento, ou seja, uma superfície deve apresentar características como: ausência de reentrâncias ou o menor número possível das mesmas, com ângulo de abertura grande; elevações com ângulo de inclinação acentuado; período pequeno, ou seja, espaçamento entre picos não muito grande.

Para cavidades de moldes, talvez não seja imprescindível um valor de rugosidade baixo. Pode-se pensar que é mais importante o tipo de perfil obtido. O perfil mostrado na Fig. 2 deve ser evitado, pois, por menos profundas que sejam as reentrâncias, é necessário trabalho extra para que sejam removidas. Não pode haver marcas na superfície, pois estas são fielmente reproduzidas na peça. Por isso, tendo uma reentrância na superfície (risco), toda área ao redor desta tem de ser retirada. Em um material com dureza na ordem de 30 HRc, retirar grandes áreas com abrasivos não é fácil nem aceitável.

As reentrâncias são formadas pelo arrancamento de material ou pelo amassamento do mesmo. As causas são o desgaste da ferramenta, que altera a formação do cavaco, bem como diferenças na dimensão dos dentes da fresa, devido a desvios oriundos de sua fabricação. Este problema ocorre, principalmente, no fresamento de superfícies planas com fresa de topo reto.

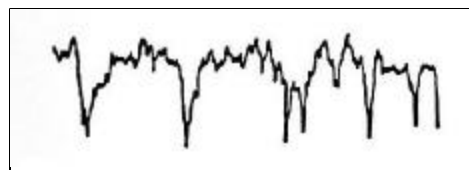


Figura 2: Perfil com reentrâncias.

Assim, utilizar ferramentas de melhor qualidade, com pequenos desvios dimensionais e ter controle sobre a vida útil das fresas, são as maneiras de minimizar estas irregularidades superficiais. Caso não se disponha de uma fresa de topo reto em condições para efetuar o acabamento de superfícies planas, é preferível que a usinagem seja feita com uma fresa esférica, apesar do tempo de usinagem aumentar significativamente. No entanto, evitam-se as reentrâncias indesejáveis.

Reentrâncias menos profundas e com maior frequência podem aparecer, devido à maneira com que a fresa efetua o corte e às forças e vibrações geradas. Estas são mais fáceis de serem eliminadas que as citadas anteriormente; entretanto, pode-se diminuir consideravelmente o aparecimento destas irregularidades, utilizando trajetórias e condições de corte apropriadas

para cada tipo de geometria.

## 4.2 Ensaio 1 – trajetórias da ferramenta

As trajetórias definem a maneira com que o corte será executado, ou seja, de acordo com a trajetória, a ferramenta pode estar submetida a condições mais estáveis ou mais severas, com forças excessivas e vibrações grandes. Num corte estável, obtém-se ganhos, principalmente, em termos de rugosidade de processo. Quando a ferramenta efetua o corte em condições adequadas, a qualidade superficial da peça é melhor e o desgaste da fresa torna-se menos intenso. Por outro lado, trajetórias com passes equidistantes possibilitam que a rugosidade cinemática mantenha-se próxima do valor programado.

Uma trajetória inadequada para a geometria pode originar amplitudes grandes com elevações bastante largas, como é o caso da usinagem mostrada na Fig. 3. Desvios deste tipo necessitam abrasivos com granulometria maior ou retificadoras manuais para retirá-los. Com isso, os erros dimensionais são mais suscetíveis, pois podem ocorrer retiradas acidentais na base do material. Principalmente nas cavidades de peças em que a tolerância dimensional é fator culminante, precisa-se evitar a formação deste tipo de perfil. Nestas situações, provavelmente compense despendendo maior tempo na programação via CAM para obter uma qualidade superficial melhor.

Para o acabamento de arredondamentos convexos, não existe nenhuma estratégia específica que possibilite a usinagem em separado destas geometrias. Isto pode ser feito delimitando a região manualmente e escolhendo uma estratégia ou estendendo a usinagem de uma região próxima até o ponto em que esta também seja usinada.

Perfil de rugosidade indesejado, com grande amplitude.

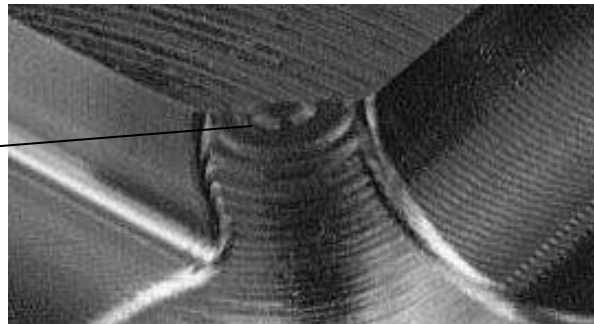
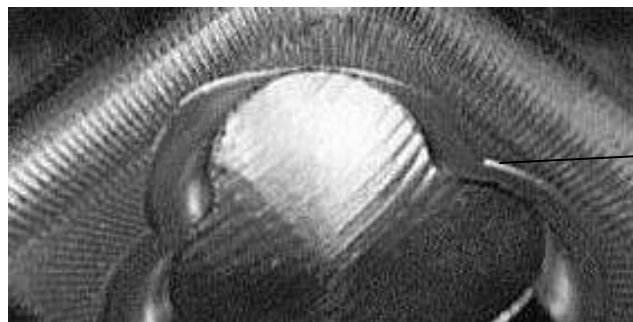


Figura 3: Elevações com amplitudes grandes.

Outro problema é o desnível, ou seja, diferença na altura de duas ou mais regiões delimitadas (Fig. 4), o qual se torna mais freqüente quando não é utilizada a mesma fresa, e o sistema de zeramento da ferramenta é ineficiente. Métodos tradicionais, como usar um pedaço de papel, não são precisos e dependem da habilidade do operador. Utilizar dispositivos eletrônicos para zerar as ferramentas pode ser uma solução para minimizar estes desvios.



Diferença de altura entre duas regiões usinadas com estratégias e ferramentas distintas.

Figura 4: Desnível entre duas regiões usinadas com ferramentas diferentes.

A usinagem realizada no estudo de caso provou que utilizar uma única estratégia para características geométricas diferentes pode gerar perfis de rugosidade indesejáveis e afetar as dimensões da cavidade. Os ensaios mostraram que em certas regiões das peças usinadas, com uma estratégia apenas, a quantidade de material é excessiva para um processo de acabamento. Sob este ponto de vista, a programação por regiões voltada para aspectos tecnológicos, pode diminuir a rugosidade e garantir uma precisão dimensional maior na cavidade.

### 4.3 Ensaio 2 - geração automática de limites

O *software* utilizado gera resultados satisfatórios na delimitação automática de arredondamentos côncavos. Entretanto, detectaram-se algumas falhas em regiões que deveriam estar inclusas dentro dos limites. Existem duas possibilidades para este defeito na geração das trajetórias: um erro na rotina de cálculo ou uma falha no modelo importado do CAD, que não pode ser detectada, uma vez que o *software* CAM em questão não oferece este recurso. Como, aparentemente, o modelo não apresentava falhas, presume-se, então, que há um problema no algoritmo que calcula a fronteira (*boundary*). A Figura 5 mostra, em detalhes, algumas das regiões que apresentaram as falhas na delimitação dos arredondamentos. Contudo, aumentando a tolerância no cálculo de *fillets* 3D, o problema é amenizado. Já em arredondamentos retilíneos, paralelos ao eixo X ou Y, esse tipo de erro não foi constatado, talvez pelo fato de ser um recurso novo do *software*.

Em se tratando de opções de movimentação da ferramenta, as três alternativas disponíveis no *software*, preenchem as necessidades na usinagem de arredondamentos. Porém, sendo a usinagem dependente dos limites criados, tem-se como consequência dos defeitos na delimitação, trajetórias incompletas e a impossibilidade de uso destas. Com o desenvolvimento do *software*, nas próximas versões, estes problemas (*bugs*) já deverão estar solucionados.

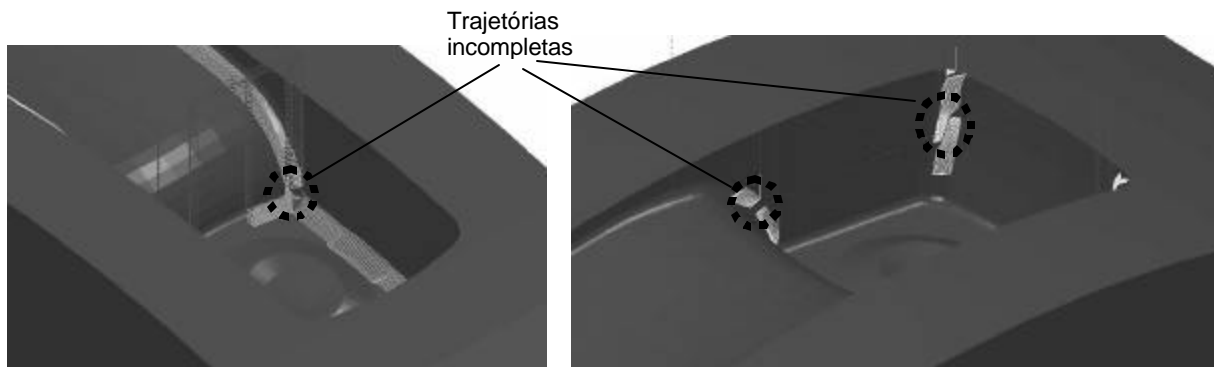


Figura 5: Defeito na criação das trajetórias para acabamento de arredondamentos.

### 4.4 Ensaio 3 - Tempos de programação

Com a estimativa de tempo gasto na programação, pôde-se constatar quais as etapas que necessitam de maior disponibilidade de tempo, utilizando a programação por regiões. No planejamento, houve um acréscimo considerável de tempo, cerca de duas vezes maior que o gasto na programação convencional. Este número era esperado, pois o diferencial das duas maneiras de programação é estabelecido nesta etapa, onde são definidas as áreas a serem

usinadas e as ferramentas e estratégias a serem utilizadas.

A criação dos limites, dentro da execução da programação, é que gerou a maior diferença entre as duas programações. Como a tarefa é bastante trabalhosa e requer ajustes, o tempo cresce exponencialmente com o número de regiões que se delimita. Na cavidade estudada, houve um aumento de 6 vezes no tempo necessário para executar a etapa.

O tempo de cálculo das trajetórias aumenta devido aos ajustes realizados nos limites. Mas, por limitar uma área menor, o reconhecimento da região é mais rápido. Assim, ao dividir uma região em 5 partes, não significa que o tempo de cálculo das trajetórias irá aumentar em 5 vezes. As etapas de simulação e pós-processamento também sofrem as consequências do maior número de programas gerados.

A Tabela 6.1 resume os tempos parciais estimados e o total, para as duas maneiras de programação utilizadas. Nota-se que o tempo total de programação foi quase 2,5 vezes maior, quando são observados os aspectos tecnológicos.

Tabela 6.1: Estimativa de tempo para as duas formas de programação.

Etapa	Programação convencional	Programação por regiões	
	Tempo de programação	Tempo de programação	Relação entre tempos de programação por regiões:convencional
Planejamento	60 minutos	120 minutos	2:1
Delimitação das áreas	30 minutos	180 minutos	6:1
Cálculo das trajetórias	120 minutos	150 minutos	1,25:1
Simulação e pós-processamento	30 minutos	45 minutos	1,5:1
<b>Total</b>	<b>240 minutos</b>	<b>550 minutos</b>	<b>2,3:1</b>

## 5. CONCLUSÕES

Os ensaios comparativos entre o fresamento por regiões e o método convencional de programação permitiram as seguintes conclusões:

- Os tempos de usinagem pelos dois métodos não apresentam diferenças significativas.
- Obteve-se uma diminuição média da ordem de 20% no parâmetro  $R_y$ . Embora à primeira vista isto não pareça expressivo, deve-se ressaltar que o tipo de perfil obtido na programação por regiões é consideravelmente melhor que na convencional, facilitando a etapa posterior de acabamento manual.
- O tempo de programação é significativamente mais alto quando é usado o método do fresamento por regiões, pois é despendido um grande tempo para construir os limites de forma adequada. No estudo realizado, o aumento no tempo na programação foi em torno de 250%. Porém, pode-se claramente presumir que o aumento dependerá dos recursos do *software* e da complexidade geométrica do modelo.

Analisando-se conjuntamente estes três aspectos conclui-se que o fresamento por regiões só será vantajoso quando:

- O tempo de acabamento manual reduzido pelo melhor acabamento, obtido na etapa de fresamento, suplantando o tempo adicional de programação necessário ou, mesmo sendo menor, ainda assim reduzir o tempo total de fabricação do molde;
- A exigência de precisão dimensional, sempre que relacionada à qualidade do acabamento do fresamento, for um fator mais importante do que o tempo de

fabricação do molde.

Portanto, com o atual nível de desenvolvimento dos sistemas CAM, a aplicação do fresamento de cavidades por regiões parece ainda não ser viável em todos os casos. Isto se deve, principalmente, ao tempo que é gasto na separação de geometrias com características semelhantes durante o trabalho no CAM.

No fresamento de cavidades, com as condições descritas nos ensaios e estudo de casos, atingir valores de rugosidade  $R_y$  menores que  $5 \mu\text{m}$  mostrou-se inviável para quase todas as geometrias. No entanto, em paredes com apenas o ângulo de extração como inclinação, pode-se chegar a valores menores, talvez pela combinação dos ângulos da ferramenta naquela posição de contato. Entretanto, esta melhor qualidade é obtida a custo de um maior tempo de usinagem pois, para atingir a rugosidade programada, estipulando o valor do incremento e não a altura de crista, o tempo de usinagem seria menor.

A busca por eliminar etapas no processo de fabricação de moldes, como o acabamento manual e a eletroerosão, continua sendo o objetivo de engenheiros e pesquisadores. Neste sentido, são utilizados os recursos de altas velocidades de corte (HSC) e máquinas-ferramentas 5 eixos. A sistemática de programação aqui proposta, é o que se busca também no fresamento em altas velocidades. Neste tipo de fresamento, é imprescindível a ferramenta usinar da forma mais adequada a cada região, sob o risco de quebra da fresa, já que as ferramentas para HSC são mais frágeis que as utilizadas no fresamento convencional (Finzer, 1997).

Constatou-se também a deficiência em termos de conhecimento do processo de fresamento com fresas esféricas. Devido à complexidade e o grande número de variáveis envolvidas, bem como as diversas direções de trajetórias possíveis e geometrias usináveis com estas ferramentas, é que ainda não se conhece com mais clareza as características dessa variante do fresamento.

Finalmente, maiores investimentos em qualificação de recursos humanos, para treinamento de atualização dos programadores e formação de técnicos, tecnólogos e engenheiros com conhecimentos voltados para a área, são um dos caminhos para que as ferramentarias atinjam o nível de qualidade desejado para seu processo.

### ***Agradecimentos***

Aos coordenadores dos laboratórios CIMJECT e LMP, bem como ao Curso de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica da Universidade Federal de Santa Catarina e a CAPES.

Ao fabricante de ferramentas SANDVIK Coromant e a DELCAM, que desenvolve o software utilizado, pela disponibilização dos meios necessários para a execução do trabalho.

### **REFERÊNCIAS**

- Ahrens, C. H., 1994, Características desejáveis para a implantação e o emprego de sistemas CAE/CAD/CAM no setor de moldes de injeção de plásticos. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.
- Cavalheiro, A. Z., 1998, Sistematização do planejamento da programação via CAM do fresamento de cavidade de moldes para peças injetadas, Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.
- Finzer, T., 1997, High-speed machining (HSC) in die end mold manufacturing, Seminário de alta tecnologia: usinagem com altíssima velocidade de corte e alta precisão, 2., 1997, Santa Bárbara d'Oeste, Anais, UNIMEP.
- Miranda, H. J. A, Silva, R. M. F., 1989, Sistemas de CAD/CAM na indústria de moldes - ficção ou realidade, O Molde, CEFAMOL, n. 6, p.44-48.
- Silva Filho, M. S., 2000, Fresamento por regiões como alternativa na usinagem de cavidades



para moldes de injeção através de sistemas CAD/CAM, Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.  
Volpato, N., 1993, Recursos CAD/CAM voltados ao modelamento e à usinagem de cavidades para moldes, com estudo de casos de aplicação, Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.

## **MILLING-BY-REGIONS AS AN ALTERNATIVE PROCEDURE TO MACHINE INJECTION MOULD CAVITIES USING CAD/CAM SYSTEMS**

***Abstract.** Due to the growth of the geometric complexity in injection mould cavities, the use of CAD/CAM systems as an aid to free-form milling operations have been increasing considerably. The elaboration of NC programs, which are able to ensure adequate cavity milling basically depends on the resources offered by such systems, as well as the programmer's expertise. Thus the cavity's surface quality relies on the programmer's skill to assign the most suitable manufacturing conditions to mill each geometric shape. Such practice is often carried out empirically. In order to propose an alternative solution to the problem described above, this study intends to evaluate the use of CAD/CAM systems in NC programming through the "milling-by-regions" procedure. Results obtained from milling experiments of low complexity surfaces have provided recommendations for milling these shapes. Some case studies in a mould-oriented CAD/CAM system have been carried out in order to evaluate the applicability of the systematic proposed.*

**Keywords:** CAM, Milling, Mould.