

UM ESTUDO VISANDO AMPLIAR O CAMPO DE APLICAÇÃO DO FERRAMENTAL RÁPIDO USINADO

Joel Rodrigues de Amorim

Centro Federal de Educação Tecnológica do Paraná – PPGEM/NuFER
Av. Sete de Setembro, 3165, Curitiba – PR, CEP 80230-901
joeltec@pop.com.br

Neri Volpato

Centro Federal de Educação Tecnológica do Paraná – PPGEM/DAMEC/NuFER
Av. Sete de Setembro, 3165, Curitiba – PR, CEP 80230-901
nvolpato@cefetpr.br

Resumo. *As tecnologias de CAD/CAM/CNC têm sido aplicadas na obtenção de Ferramental Rápido (FR) Usinado com sucesso, principalmente por proporcionar bom acabamento superficial e alta precisão dimensional aos insertos. Contudo, quando utilizadas somente resinas poliméricas como material para a sua fabricação, algumas dificuldades têm sido relatadas. Os principais problemas são a usinagem de cantos retos, canais profundos e geometrias consideradas negativas (undercuts). Devido à natureza do material, somada a intenção de obter rapidamente os insertos, não é possível a utilização do processo de eletroerosão, comumente empregado nestes casos em moldes de aço. Desse modo, este trabalho apresenta uma proposta para contornar estas limitações através do uso de postiços no mesmo material dos insertos (resina polimérica) nas regiões consideradas problemáticas, obtidos inteiramente pelo processo de usinagem CNC. Os postiços são usinados em separados e então inseridos nestas regiões. Para isto, uma metodologia envolvendo projeto e fabricação dos postiços foi criada e testada em uma aplicação prática. Os resultados indicam, que apesar de alguns problemas, a metodologia possibilitou a fabricação dos insertos do molde protótipo em um tempo relativamente baixo indicando a viabilidade do seu uso.*

Palavras-chave: *Ferramental Rápido, Prototipagem Rápida, Usinagem CNC, Postiços*

1. INTRODUÇÃO

Durante o desenvolvimento de um produto muitas vezes se faz necessário o uso de protótipos funcionais para a realização de ensaios, que atestem a qualidade e a funcionalidade do mesmo. No caso de peças de plástico que são injetadas, estes protótipos podem ser obtidos através de uma ferramenta de injeção, projetada e fabricada especialmente para esta finalidade. Neste caso, ao invés de se construir um molde completo, contendo todas as características de uma ferramenta de produção, é fabricado um molde protótipo, contendo apenas os insertos (macho e cavidade) que darão forma ao produto. Estes insertos podem ser fabricados através das tecnologias de manufatura por camadas conhecidas como Prototipagem Rápida (PR), ou através da usinagem CNC (*Computer Numeric Control*), aliada a sistemas CAD/CAM (*Computer Aided Design and Manufacturing*), juntamente com materiais de fácil usinabilidade (por exemplo, algumas resinas poliméricas). O emprego destas tecnologias, principalmente as de PR, para a obtenção de moldes protótipo, deu origem a uma área denominada de

Ferramental Rápido (FR) que é definida como um conjunto de processos de fabricação que tem por objetivo construir um molde protótipo a partir de materiais de baixo custo, em um pequeno intervalo de tempo⁽¹⁾.

Ambas as tecnologias possuem vantagens e desvantagens na aplicação em FR. No caso da PR, os seus aspectos positivos estão ligados à facilidade na fabricação de geometrias complexas e a automatização do processo. Apesar disso, este método ainda é incapaz de fabricar peças com baixas rugosidades e tolerâncias dimensionais apertadas, fatores estes geralmente requeridos em protótipos funcionais. Em contrapartida, a usinagem CNC em máquinas 3 eixos pode garantir um melhor acabamento superficial e tolerâncias dimensionais mais adequadas⁽²⁾. Contudo, no caso da fabricação de geometrias complexas esta tecnologia apresenta algumas dificuldades. Por exemplo, somente as regiões da peça onde a ferramenta de corte efetivamente consegue alcançar é que a usinagem se faz possível. Além disso, devido à própria geometria da ferramenta, canais contendo cantos retos ou com pequenas larguras e grandes profundidades não podem ser obtidas por usinagem⁽³⁾. No caso de moldes feitos em material metálico estas dificuldades podem ser contornadas pelo uso de gavetas e pelo processo de eletroerosão. Todavia, com o emprego apenas de resinas poliméricas na fabricação do molde, torna-se impossível a aplicação deste processo, tendo em vista que as resinas poliméricas não conduzem corrente elétrica.

Mesmo com as dificuldades citadas, as vantagens da usinagem CNC são vistas como um diferencial importante na fabricação de protótipos funcionais, principalmente quando estes possuem geometrias de baixa complexidade. Esta afirmação foi comprovada no estudo feito por Volpato *et al*⁽⁴⁾ utilizando uma máquina CNC de 3 eixos para a usinagem de insertos com geometrias simples. Em outro estudo, Yang e Ryu⁽⁵⁾ também tiveram sucesso com o mesmo processo porém utilizando uma máquina HSM (*High Speed Machine*).

Apesar dos resultados citados, a fabricação de insertos com geometria complexa é uma necessidade, tendo em vista que os produtos atuais apresentam formas cada vez mais arrojadas. Neste sentido, busca-se contornar as dificuldades da usinagem CNC em 3 eixos com uma modificação no processo de fabricação dos insertos. A idéia é inserir postigos nas regiões onde a usinagem não é possível de modo a reproduzir a geometria do produto. Para isto, os postigos são projetados em um sistema CAD e fabricados em resinas poliméricas, assim como os insertos, através da usinagem CNC. Após a fabricação ocorre a montagem entre insertos e postigos e o conjunto é enviado para a injeção dos protótipos. Neste trabalho, um estudo de caso inicial é relatado, onde a geometria de uma peça foi escolhida e os insertos obtidos e testados. Apresenta-se ainda, uma discussão sobre a metodologia proposta para o processo de fabricação do conjunto (insertos e postigos), e os resultados alcançados.

2. METODOLOGIA

Para o desenvolvimento do trabalho foi criada uma metodologia englobando as fases de projeto e fabricação dos insertos, sendo a mesma constituída das seguintes etapas:

- Aquisição dos insertos em um sistema CAD comercial a partir de um produto modelado
- Análise dos insertos e identificação das áreas onde a usinagem 3 eixos não é possível
- Projeto e criação de postigos que possam reproduzir as áreas verificadas anteriormente
- Desenvolvimento de um processo de usinagem para os insertos e para os postigos utilizando um centro de usinagem 3 eixos
- Criação das estratégias de usinagem e geração dos programas CNC através de um aplicativo CAM
- Usinagem dos insertos e dos postigos
- Montagem das peças e análise dos resultados

É importante lembrar que a etapa de injeção não está inclusa na metodologia, pois o foco principal deste trabalho é verificar a possibilidade de fabricação e montagem de postigos em FR. Pretende-se posteriormente analisar o processo de injeção de um molde protótipo fabricado através desta técnica.

3. ESTUDO DE CASO

Dando continuidade aos estudos feitos por Volpato e Amorim⁽³⁾, foi escolhida a mesma geometria utilizada pelos autores (um mouse para computador). Esta geometria contém algumas das principais características de um produto injetado (clips de fixação, nervuras e torres para alojamentos de parafusos), além de cantos retos internos que não podem ser obtidos diretamente por usinagem. Um dos maiores inconveniente está na geometria dos clips de fixação, que em moldes de injeção só podem ser obtidos através de sistemas de gaveta, que funcionam se deslocando durante a abertura do molde possibilitando a extração do produto após a injeção⁽⁶⁾. A Figura 1 mostra a geometria escolhida com os detalhes citados.

3.1. Insertos

Os insertos foram criados a partir da geometria do produto utilizando para isto operações *booleanas* contidas no *software* de CAD SolidEdge, versão 14. O processo consistiu na criação de um bloco com a mesma orientação do produto e em seguida a geometria do mouse foi inserida e depois subtraída do bloco, através das operações *booleanas*. Com este processo foram criados o macho e a cavidade do molde (Figura 2 (a) e (b)). Neste estudo, somente o inserto macho apresenta dificuldades geométricas para a usinagem. Deste modo, o mesmo está direcionado a este inserto, ficando a cavidade, para ser usinada de forma direta. Na Figura 2 (a) estão indicadas as seguintes áreas que não são possíveis de serem obtidas por usinagem direta⁽³⁾: as geometrias que formam os furos das teclas (1), largura e profundidade das nervuras (mais ou menos 1x12mm) (2) e cavidades para a fabricação dos clips de fixação (*undercuts*)(3).

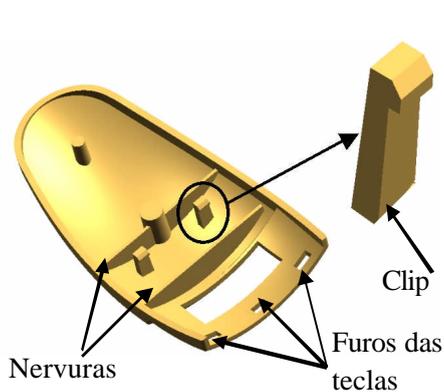


Figura 1. Geometria do mouse

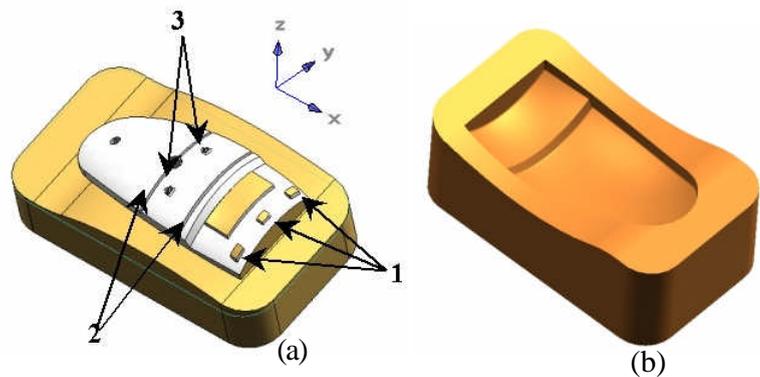


Figura 2. Insertos, macho (a) e cavidade (b)

3.2. Projeto dos Postigos

Para permitir a usinagem dos detalhes acima mencionados propõe-se a utilização de postigos. Nesta proposta, um postigo é um recorte da geometria do inserto em regiões problemáticas tornando-as geometrias mais simples e possíveis de ser usinadas.

A criação dos postigos envolveu uma análise minuciosa da geometria, pois os recortes no modelo CAD precisavam ser exatos para não haver perda de informações geométricas do produto. Além disso, o formato dos postigos deveria ser condizente com o processo de fabricação a ser empregado. Uma

informação geométrica importante está relacionada ao ângulo de desmolde que permite a extração da peça depois de injetada. Para isto os recortes foram feitos a partir das linhas que delimitam a inclinação do ângulo, garantindo que estes fossem preservados e que a geometria original não sofresse alterações.

Devido à localização dos clips e ao seu formato, foi necessário criar posições que imitassem um sistema de gaveta para a moldagem e posterior extração dos mesmos. Após a injeção estes posições serão extraídos juntamente com a peça moldada e então retirados de forma manual sem danificar o produto. Este sistema é melhor compreendido na Figura 3 que mostra a região dos clips junto com os posições que os forma.

Outro fator importante considerado foi à geometria dos alojamentos dos posições no inserto. Para que estes pudessem ser usinados, com uma ferramenta de corte, foram empregados raios de arredondamento em seus cantos (Figura 4).

Definido a posição dos recortes para cada um dos posições, estes foram feitos individualmente no plano XY, perpendicular a geometria do inserto macho. O passo seguinte foi à delimitação da altura de cada posição através de um corte transversal em um plano inferior. A altura deste corte foi definida prevendo-se a geração de duas regiões no processo de usinagem, sendo uma formada pelo fresamento CNC que servirá de guia para a acomodação dos posições nos alojamentos e a outra que será obtida pelo lixamento posterior a usinagem, na base dos posições (Figura 5). As paredes laterais da base de cada posição deverão ser ajustadas manualmente podendo no final ficar com uma espessura menor sem prejuízo para a montagem. Este detalhe facilita o trabalho de ajustagem necessitando de menos esmero do operador. A guia de ajuste, após a usinagem, deverá ficar com uma dimensão igual a dos canais dos alojamentos onde cada posição deve ser montado com um ajuste com interferência.

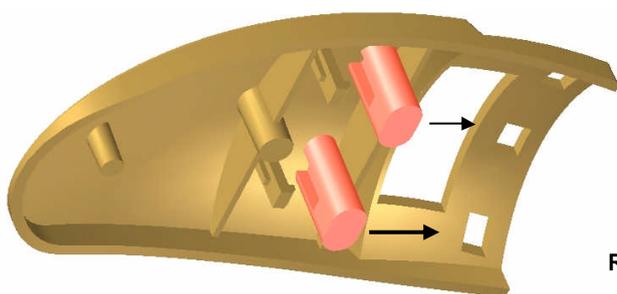


Figura 3. Sistema para moldagem dos clips

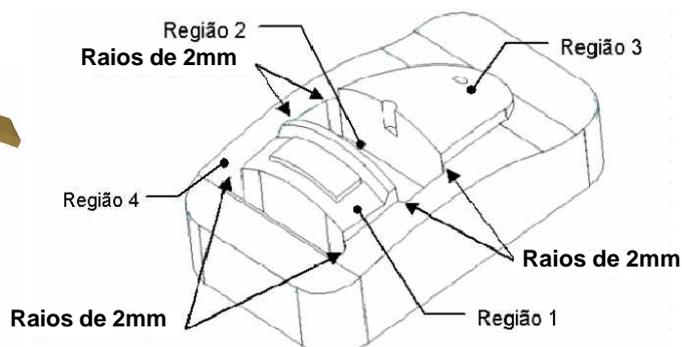


Figura 4. Alojamentos e regiões no inserto macho

No projeto foi previsto o uso de parafusos para a fixação dos posições no inserto. No entanto, está idéia será melhor analisada durante os futuros testes de injeção, pois se pretende verificar a real necessidade deste tipo de fixação. O questionamento que se faz é de que se os posições estiverem ajustados sem folga nos alojamentos, de modo a não se moverem durante a injeção, os parafusos possam ser descartados sem prejudicar a qualidade do produto injetado.

Do ponto de vista do processo de usinagem, às pequenas dimensões dos posições poderiam dificultar e prolongar o tempo de fabricação se fossem usinados individualmente. Desse modo, optou-se por agrupar todos os posições e usiná-los juntos em um único bloco. Segundo Farias *et al*⁽⁷⁾, em um estudo preliminar com a mesma geometria, o agrupamento dos posições pode ser facilmente realizada no Solidedge e se apresenta atrativa ao processo de usinagem. Além disso, foi verificado posteriormente que em trabalhos feitos por uma empresa alemã⁽⁸⁾, utilizando uma técnica semelhante, foram obtidos bons resultados na usinagem de partes dos insertos em um molde tipo quebra cabeça. Na Figura 5 é mostrada a forma com que os posições foram montados no CAD para serem usinados em um único bloco. A disposição e a distância entre os mesmos foi escolhida de forma a possibilitar acesso para as ferramentas de corte escolhidas para a fabricação.

Utilizando esta forma de usinagem devem ser consideradas algumas etapas a mais no processo, como a separação dos postigos e ajustes dos mesmos para que possam ser montados no inserto. Para isto, foi previsto que os postigos fossem recortados utilizando uma serra fita e ajustados através de lixamento nas laterais da base de forma manual, com ou sem auxílio de algum equipamento elétrico. Como mencionado anteriormente, a ajustagem desta superfície pode ser feita de forma mais grosseira, não interferindo na montagem no alojamento. Chama-se a atenção ainda que a face inferior da base não precisa ser lixada, pois a altura dos postigos usinados já está de acordo com o recorte feito no CAD.

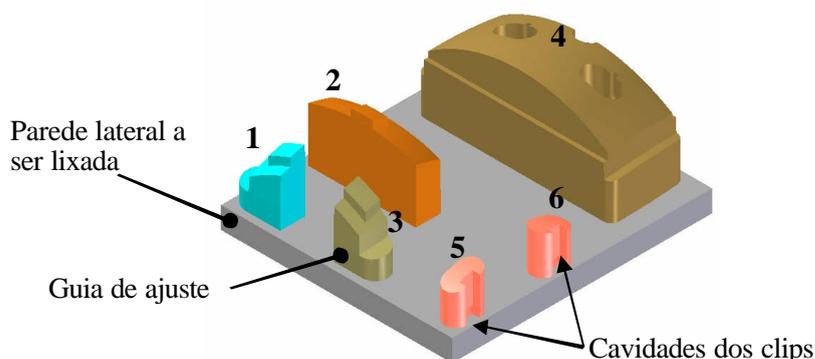


Figura 5. Montagem dos postigos para usinagem

O material escolhido para a fabricação de todas as peças foi a resina polimérica Ren Shape 460 da fornecedora Vantico. Segundo Volpato *et al*⁽⁴⁾ esta resina é de fácil usinabilidade podendo ser empregado altas velocidades de corte e de avanço, minimizando assim, os tempos de usinagem. Cabe lembrar que esta resina não é indicada para o processo de injeção de plástico, mas foi escolhida neste estágio inicial do trabalho apenas para se verificar a viabilidade da metodologia em se obter os postigos, deixando-se a injeção para uma etapa posterior.

3.3. Processo e Programação

Durante a elaboração do processo, buscou-se o menor número de fixações para diminuir o tempo de preparação e facilitar a fabricação. Para os postigos o processo teve de ser dividido em dois, pois como mostrado na Figura 5, os postigos que dão origem aos clips possuem uma cavidade que se encontra em uma posição diferente das demais geometrias. Desta forma, a usinagem precisou ser realizada em duas etapas em uma morsa. Na primeira foram usinadas as cavidades para os clips com o bloco de material fixado na vertical e na segunda fixação, na horizontal, foram usinadas as demais geometrias.

A geração dos programas CNC foi realizada com auxílio do sistema CAM PowerMill da empresa Delcam. A usinagem do inserto foi feita primeiramente com uma estratégia de *raster* para o desbaste e aproximação do formato da geometria, utilizando para isto uma ferramenta de topo reta de 10mm de diâmetro e passes verticais de 3mm. Na sequência, também com uma estratégia de *raster* mas com uma ferramenta de topo reta de 3mm, foi desbastado o canal que aloja os postigos 1, 2 e 3 e na sequência criadas as estratégias de acabamento. Chama-se a atenção para a usinagem direta de acabamento sem um passe de pré-acabamento. De acordo com Volpato e Amorim⁽³⁾ a resina Ren Shape 460 não induz grandes esforços na ferramenta de corte podendo ser acabada diretamente após o desbaste.

As estratégias de acabamento foram feitas combinando o uso de ferramentas de ponta esférica (*ball nosed*) e ferramentas de topo reto. As de ponta esféricas foram usadas na superfície de fechamento, nas faces superiores e nas faces laterais onde existe o ângulo de desmolde. Para a retirada dos raios de cantos deixados por este tipo de ferramentas, foram utilizadas as ferramentas de topo reto com o auxílio de estratégias específicas para a usinagem de cantos.

Como descrito anteriormente, o processo de fabricação dos postigos previu a usinagem de todos em um mesmo bloco, porém em duas fixações. Na primeira fixação foi usada uma ferramenta de topo reta de 2mm de diâmetro para o desbaste inicial. Na seqüência, com uma ferramenta de ponta esférica de 0,8mm, foram usinadas as partes mais baixas desta geometria. Em seguida, realizou-se o acabamento de todas as paredes com ângulo de desmolde, usando para isto a estratégia de usinagem Z constante. Por último, a fresa de 2mm, retirou os raios deixados pela ferramenta de 0,8mm.

Na segunda fixação, o desbaste foi feito com uma ferramenta de topo de 10mm de diâmetro usando passes verticais de 2mm. Na seqüência foram acabadas as superfícies superiores e as paredes laterais que contém ângulo de desmolde, usando uma estratégia de *raster* de acabamento e Z constante, respectivamente. Ambas as estratégias usaram a mesma ferramenta de ponta esférica de 4mm de diâmetro. Os alojamentos onde são montados os postigos 5 e 6, foram desbastados com uma estratégia de *raster* usando uma ferramenta de topo reta de 4mm. As paredes sem ângulo de desmolde e os cantos retos foram acabadas com uma ferramenta de topo reta de 3mm de diâmetro. Para os postigos 5 e 6, as paredes foram acabadas com uma ferramenta de topo reta de 1mm de diâmetro.

Após a criação das estratégias, foram feitas simulações dos percursos e verificado que não haveria colisões das ferramentas com as peças. Os programas CNC foram gerados através de um pós-processador do Powermill e então enviados à máquina para a usinagem.

3.4. Fabricação

O início do processo se deu com a preparação da matéria-prima (corte e esquadrejamento dos blocos) e na seqüência envio do material a usinagem. Todas as peças foram usinadas em um centro de usinagem Romi Discovery 4022 com comando Mach 9, cedido pelo SENAI (Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial) do Paraná.

O bloco para a usinagem dos postigos foi preso na máquina da mesma forma que o inserto macho, tanto para a primeira quanto para a segunda fixação. Apesar do uso do mesmo dispositivo para fixar as duas etapas de usinagem (morsa), foi necessário utilizar origens de programação (zeros peça) diferentes no eixo Z. Isto porque o bloco dos postigos possuía alturas em Z diferentes para cada uma das fixações.

Os programas foram executados de forma *on-line* com a ajuda de um sistema DNC (*Distributed Numeric Control*), instalado em um computador próximo ao equipamento.

Durante a usinagem de acabamento das paredes do postigo 5 ocorreu a quebra da ferramenta de topo reta de 1mm. Como não havia outra ferramenta idêntica para a substituição, o material restante precisou ser retirado de forma manual durante a fase de montagem e ajustes.

Após o término da usinagem os postigos foram recortados em uma serra fita (Figura 6 (a)) permanecendo, como previsto, um sobre material nas bases para serem ajustados manualmente. Os ajustes foram realizados através de lixamento nas laterais da base (Figura 6 (b)). Adicionalmente, apesar de não estar previsto, houve a necessidade de um ajuste nas paredes laterais usinadas para possibilitar a montagem dos postigos. Terminados os ajustes, todos os postigos foram montados nos alojamentos finalizando a etapa de fabricação.

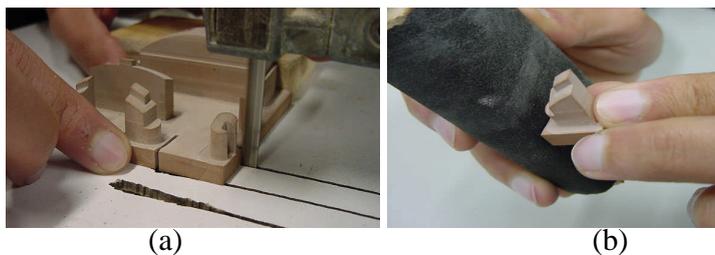


Figura 6. Recorte (a) e ajuste dos postigos (b)

4. RESULTADOS

Na Tabela 1 estão apresentados os tempos envolvidos no projeto, na definição de processo e programação, e na fabricação das peças. A etapa de projeto é composta pelos tempos de preparação das geometrias dos inserts (macho e cavidade) e projeto dos postigos. Na fase de processo e programação estão contidos os tempos de elaboração do processo e criação das estratégias de usinagem para as peças. Por fim, a etapa de fabricação está dividida em três partes: usinagem do macho, usinagem dos postigos e montagem e ajustes dos mesmos. Nas sub-etapas de usinagem são considerados os tempos de preparação dos blocos, bem como os tempos de preparação da máquina. Finalmente, na sub-etapa de montagem e ajustes, também está incluso o tempo de recorte dos postigos.

Tabela 1 Tempos envolvidos no trabalho

Projeto	Processo e Programação		Fabricação		
	Macho	Postigos	Usinagem Macho	Usinagem Postigos	Montagem e Ajustes
1800 min	162 min	378 min	157 min	135 min	90 min

A Figura 7 (a) e (b) mostram respectivamente, o inserto macho e os postigos antes da etapa de montagem e ajustes e a Figura 7 (c) mostra todas as peças montadas.

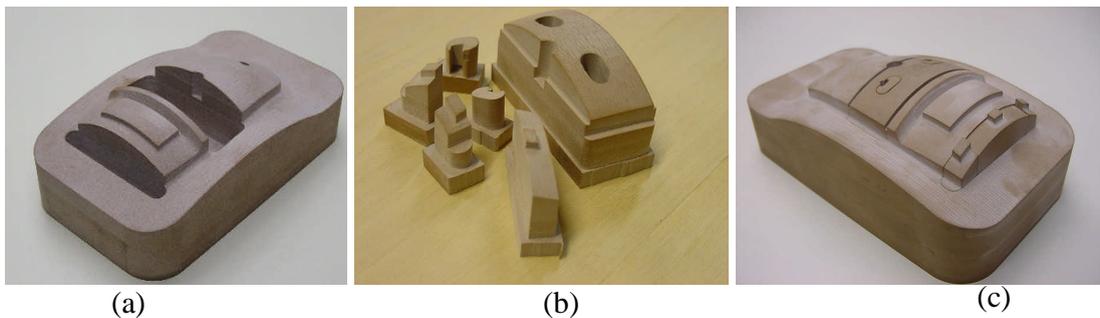


Figura 7. Inserto e postigos após a usinagem (a) e (b). Montagem das peças (c)

Após a montagem, foi verificado que um dos postigos (postigo número 2) apresentou um problema de altura, ficando abaixo dos demais postigos (Figura 8). Se não corrigida esta diferença acarretará em um problema dimensional quando o produto for injetado.

Devido à quebra da ferramenta de 1mm, durante o acabamento dos postigos 5 e 6, foi necessário lixá-los de modo que os mesmos pudessem ser encaixados em seus alojamentos. Durante o lixamento ocorreu uma retirada excessiva de material em uma das faces ocasionando uma pequena folga entre estes postigos e os alojamentos (Figura 9). Essa folga poderá gerar rebarbas no produto final injetado e também dificultar a retirada destes postigos no momento da extração do moldado.

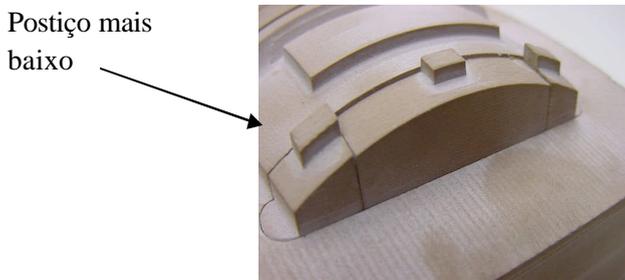


Figura 8. Diferença na altura do postigo 2

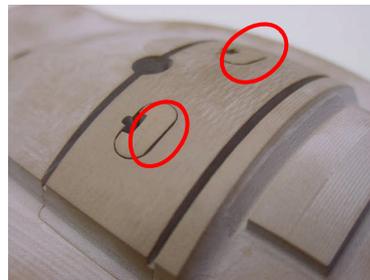


Figura 9. Folga na montagem dos postigos 5 e 6

5. DISCUSSÃO

A fase de projeto dos postigos se mostrou bastante demorada por ser determinante para as demais etapas do processo de fabricação. A definição da localização dos contornos que delimitaram os recortes precisou ser bem analisada para se ter certeza de que as suas posições não acarretariam em perdas de informações geométricas ou que gerassem geometrias que não pudessem ser usinadas. Desse modo, o maior tempo gasto durante o trabalho foi durante a etapa de projeto (cerca de 30 horas), pois houve diversas discussões a respeito da localização dos recortes e de como fazê-los sem prejudicar o produto e facilitar a usinagem. Além disso, a metodologia empregada precisou ser ajustada em alguns momentos durante esta fase abrangendo um leque maior de características do processo. Com isso, a geometria e os ângulos de desmolde se mantiveram os mesmos após os recortes, indicando que os contornos foram empregados de forma correta. Uma vez definida a geometria dos insertos, a criação dos alojamentos no sistema CAD, utilizando operações *booleanas*, se mostrou bastante simples.

A etapa de processo e programação foi mais extensa para os postigos do que para o inserto macho isto devido à variedade de formas geométricas contidas nesta peça. Apesar de possuir dimensões maiores que os postigos, o inserto macho não possuía diversidades de formas geométricas tão grandes. Sendo assim, este pode ser dividido nas quatro regiões mostradas na Figura 4. Como cada região possui uma geometria específica, foram escolhidas e empregadas as estratégias de acabamento que melhor se adequavam a estas características. Esta técnica facilitou a programação, pois as regiões eram trabalhadas isoladamente. As estratégias criadas no Powermill se mostraram eficientes para estas regiões sendo que todas foram usinadas sem dificuldades em aproximadamente 2 ½ horas, considerando também o tempo de preparação do bloco.

O processo de usinagem dos postigos precisou ser dividido em duas partes devido às cavidades dos postigos 5 e 6. Esta divisão acarretou em um tempo maior de preparação da máquina pois foram necessárias duas fixações para a usinagem. Apesar disso, a usinagem dos postigos pode ser realizada conforme definido no processo e demorou pouco mais de 2 horas. Mesmo com a diferença dimensional entre os postigos e o inserto macho, os tempos de usinagem foram próximos. Este fato está ligado a complexidade das geometrias dos postigos o que envolveu um número maior de troca de ferramentas para que fosse possível a usinagem. A quebra da ferramenta de 1mm acarretou em um sobre-material indesejado nos postigos 5 e 6 que acabou tendo de ser retirado de forma manual. Esta quebra possivelmente ocorreu devido a uma flexão da ferramenta em um determinado momento que todo o seu comprimento (10mm) estava em contato com o material. Neste ponto, chama-se a atenção para os cuidados extras no uso de ferramentas pequenas, que acabam sendo extremamente sensíveis, mesmo na usinagem de materiais de fácil corte.

Após o término da usinagem foi verificada uma diferença dimensional de aproximadamente 0,1mm nas regiões de montagem de todos os postigos. Este sobre-material restante precisou ser retirado de forma manual durante a etapa de ajustagem. Alguns pontos podem ter contribuído para este desvio dimensional. Um deles decorre da observação que o comprimento de balanço da ferramenta utilizada (fresa de topo reta de 3mm) era de aproximadamente 40mm, o que pode ter levado a ferramenta a fletir durante a usinagem de acabamento das duas peças. Um outro ponto é que um possível erro dimensional da ferramenta para menos pode ter deixado material na superfície acabada. Adicionalmente, observou-se que no sistema PoweMill, a tolerância utilizada no cálculo da trajetória pode ter deixado como excesso na superfície (o valor utilizado foi de 0,01 mm). É provável que a combinação destes fatores tenha gerado o problema dimensional. Neste caso, é importante verificar que mesmo utilizando uma única fresa para a usinagem dos alojamentos e dos contornos externos dos postigos, um ajuste após a fabricação deve ser considerado, principalmente em se tratando de usinagem de paredes altas. Todavia, com o ganho de experiência de usinagem, pode-se prever o excesso de material na etapa de programação CAM, alterando o diâmetro da ferramenta, por exemplo.

Os ajustes nas laterais das bases dos postigos foram feitos sem dificuldades, pois como previsto na etapa de projeto, esta região não necessitou de precisão dimensional. Nas regiões de montagem, os ajustes que não estavam previstos tiveram de ser mais precisos, o que acarretou em um tempo maior nesta etapa. Os postigos 5 e 6 tiveram suas montagens prejudicadas por uma folga excessiva numa certa região. Pode-se observar, em relação a estes postigos, que o pequeno tamanho dos mesmos dificultou o trabalho de ajuste. Dessa forma, recomenda-se que seja utilizado o maior tamanho possível para os postigos, facilitando assim os ajustes manuais.

A diferença na altura de montagem do postigo 2 ocorreu devido a um erro localizado no corte da altura do mesmo na etapa do projeto no CAD. Problemas deste tipo podem ser evitados com uma pequena alteração do procedimento dos recortes. Neste trabalho a definição das alturas dos postigos foi realizada de forma individual, mas podem ser feitos numa única operação. Este tipo de erro não inviabiliza o uso do inserto, pois o mesmo pode ser corrigido através da colocação de um calço sob o postigo. É evidente que esta atividade acarreta em aumento no tempo de ajuste e deve ser evitada.

6. CONCLUSÃO

Uma proposta para se contornar algumas limitações de utilizar somente o processo de usinagem na obtenção de insertos para moldes protótipos em resina foi apresentada e testada em um estudo de caso. A metodologia permitiu a obtenção das geometrias considerada problemáticas para o inserto do mouse em questão. Alguns detalhes puderam ser observados e indicam que a técnica pode ainda ser aprimorada. Para que isto ocorra, se faz necessário à finalização da análise desta proposta com testes que envolvam também a etapa de injeção.

Pode-se afirmar que a definição da localização e formato dos postigos foi considerada primordial para a etapa de projeto. Uma análise minuciosa dos insertos antes da realização dos recortes implica numa qualidade maior do projeto e possivelmente em um tempo menor de fabricação.

A fabricação de FR através das tecnologias de CAM/CNC se mostrou possível mesmo para uma geometria tão complexa como a escolhida. No entanto, algumas precauções precisam ser tomadas, principalmente quanto a usinagem e ao processo de montagem e ajuste. A utilização de ferramentas de pequeno diâmetro, como as fresas de 0,8 e 1mm, deve ser seguida de atenção redobrada, pois a definição errada em um dos parâmetros de usinagem pode acarretar na quebra das mesmas. A montagem e os ajustes exigem habilidade manual e por isto sugere-se que esta etapa seja minimizada e realizada por um operador experiente.

A altura dos postigos é um ponto crítico no projeto de FR postigado e por isto sugere-se uma etapa a mais na metodologia durante a fase de projeto. A idéia é de que seja feita uma montagem de todas as peças no sistema CAD, logo após as etapas de recortes e criação dos alojamentos. Este passo a mais deverá evitar que problemas, como o ocorrido, sejam detectados somente na fase final do trabalho.

Por fim, a possibilidade da ocorrência de rebarbas nas regiões onde houve as folgas de montagem dependerá do material a ser injetado. No entanto, em se tratando de protótipos, a ocorrência deste tipo de problema pode ser facilmente resolvido com uma rebarbação manual, uma vez que a quantidade de peças requeridas é baixa.

7. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao SENAI pela estrutura cedida e ao IFM pelo auxílio financeiro.

8. REFERÊNCIAS

1. KING, D. e TANSEY T. Alternative Materials for Rapid Tooling. **Journal of Materials Processing Technology**, n. 121, p.313-317, 2002.

2. WOHLERS, T. e GRIMM, T.. Is CNC Machining Really Better than RP? **Time Compress Technologies Magazine**, 2003. Disponível em <<http://www.timecompress.com/magazine/archives.cfm>>. Acesso em: 09 fevereiro 2005.
3. VOLPATO, N. e AMORIM, J.R. de. Limitações do Processo de Usinagem CNC para Ferramental Rápido. **Anais do Congresso Nacional de Engenharia Mecânica**, Belém-PA: CONEM, 2004. CD-ROM.
4. VOLPATO, N., AMORIM, J.R. de and MANENTE, M.M.. The Use of Epóxi Resins as Inserts for Injection Mould. **Anais do Congresso Brasileiro de Engenharia Mecânica**, São Paulo-SP: COBEM, 2003. CD-ROM.
5. YANG, M.Y. and RYU, S.G.. Development of a composite suitable for Rapid Prototype machining. **Journal of Materials Processing Technology**, n. 113, p. 280-284, 2001.
6. BLASS, Arno. **Processamento de Polímeros**. 2.ed. Florianópolis: Editora da UFSC, 1988. 189 p.
7. FARIAS, F.M.N. de, VOLPATO, N. e AMORIM, J.R. de. Proposta para Obtenção de Detalhes em Ferramental Rápido Usinado. In.: SEMINÁRIO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA E TECNOLÓGICA, DO CEFET-PR, 9., 2004, Curitiba-PR. **Anais do IX Seminário de Iniciação Científica e Tecnológica do CEFET-PR**, Curitiba-PR, p. 78-81.
8. PROTOFORM KONRAD HOFMANN GMBH. Disponível em <<http://www.protoform.com>>. Acesso em: 15 de setembro de 2004.

9. DIREITOS AUTORAIS

Os autores são os únicos responsáveis pelo conteúdo do material impresso incluído no seu trabalho.

A STUDY AIMING TO INCREASE THE APPLICATION OF RAPID TOOLING USING MACHINING

Joel Rodrigues de Amorim

Centro Federal de Educação Tecnológica do Paraná – PPGEM/NuFER
 Av. Sete de Setembro, 3165, Curitiba – PR, CEP 80230-901
joeltec@pop.com.br

Neri Volpato

Centro Federal de Educação Tecnológica do Paraná – PPGEM/DAMEC/NuFER
 Av. Sete de Setembro, 3165, Curitiba – PR, CEP 80230-901
nvolpato@cefetpr.br

Abstract. *The CAD/CAM/CNC technologies have been applied to Rapid Tooling (RT) with success, mainly due to the good surface finish and high dimensional accuracy obtained for the inserts. Nevertheless, when only polymeric resins are used as insert material, some difficulties have been reported. The main problems are the machining of corners, deep slots and undercuts. Due to the non conductive nature of the insert material, added to the idea to make the process faster, it is not possible to use electrical discharge machining (EDM), commonly used in steel moulds. Therefore, this work presents a proposal to overcome these limitations by using small resin inserts on critical regions obtained only by CNC machining. The small inserts are machined separately and assembled in the main insert. A design and manufacturing methodology was developed and tested in a case study. Despite some initial problems, the results show that the methodology allowed the manufacture of the inserts in a relative short time, indicating that it is feasible.*

Keywords: *Rapid Tooling, Rapid Prototype, CNC Machining, Small Inserts*