

APLICAÇÃO DA FILOSOFIA DFMA PARA A RACIONALIZAÇÃO DO PROJETO DE MOLDES DE INJEÇÃO¹

Leonardo Valentini Tonietto²
Marcos Alexandre Luciano³

Resumo

Este trabalho propõe a adoção da filosofia de Projeto para Fabricação e Montagem no projeto de moldes com o intuito de criar um produto com características apropriadas no aspecto funcional, de manufatura e de montagem, resultando em uma fabricação mais simples e vantajosa. A racionalização do projeto de um molde exige o conhecimento das características técnicas dos recursos de fabricação. Para o desenvolvimento deste trabalho foram coletadas algumas informações como, por exemplo: tipos de processos disponíveis para usinagem do fechamento, disponibilidade dos processos, custos envolvidos, qualidade, raios das ferramentas, formas construtivas. Com base nestas informações foram criados padrões de construção, a fim de otimizar o tempo de produção e reduzir os retrabalhos. Foi elaborado também um *check-list* de maneira a constatar possíveis falhas. Os retrabalhos, comuns em ferramentarias, não estão inclusos no cronograma, tendo de ser alocados entre outras atividades acarretando o remanejamento das datas do cronograma. Este trabalho sugere, como uma das alternativas possíveis para resolver este problema, a utilização da filosofia de Projeto para Fabricação e Montagem, de modo a elaborar um projeto específico para cada cliente. A integração entre o projetista e a fabricação resulta na diminuição no tempo de manufatura, menos retrabalho nos projetos, maior produtividade e confiabilidade nas informações trocadas entre as áreas.

Palavras-chave: DFMA; Moldes de injeção; Projeto de moldes.

IMPLEMENTATION OF PHILOSOPHY DFMA FOR THE DESIGN FOR RATIONALISATION INJECTION MOULD

Abstract

This work proposes the adoption of the philosophy of Design for Manufacturing and Assembly in mould design with the purpose of create a product with suitable characteristic in functional aspect, of manufacturing and assembly, resulting the more advantageous and more simple. The rationalizing of the mold design demands the knowledge of technique characteristic of manufacturing means. For development this work was collect any information like, for example: process type available for closure machining, availability process, wrap up costs, quality, tools radius, building forms. On the basis of this information was created construction standard, in order to optimize the time of production and reduce the re-work. In this work was made a checklist of way to note fault possible. The re-work, common in tooling, is not include of schedule, have to be allocated between others activity bringing changes of schedule dates. This work suggests like the possible alternative for to resolve the problem, the utilized the philosophy of Design for Manufacturing and Assembly, of way to elaborate a specific design for each client. The integration between the designer and manufacturing results in the reduction in the time of manufacturing, less re-work in design, more production and reliability in changed information between the area.

Key words: DFMA; Injection mould; Mould design.

¹ *Contribuição técnica ao 6º Encontro da Cadeia de Ferramentas, Moldes e Matrizes, 20 a 22 de agosto de 2008, São Paulo, SP*

² *Engenheiro Mecânico (Tech Tools Moldes de Injeção)*

³ *Dr. Eng. (Departamento de Engenharia Mecânica - Universidade de Caxias do Sul)*

1 INTRODUÇÃO

As principais vantagens da integração entre o ambiente de trabalho dos projetistas e a fabricação são a diminuição no tempo de manufatura, menos retrabalho nos projetos, maior produtividade e confiabilidade nas informações trocadas entre as áreas.

Devido à exigência do mercado, o tempo para elaboração do projeto do molde está vinculado ao aumento de prazo de entrega do projeto. Por sua vez, os contratos de serviço vêm acrescidos de multas por atraso. Assim sendo, para a empresa é importante garantir os prazos de entrega, bem como, a qualidade final do molde. Atendendo também as exigências do cliente, é necessário personalizar o projeto em função das características dos recursos de fabricação, desde sua concepção, passando pelo planejamento do processo, detalhamento do projeto, até a produção.

O projeto para manufatura e montagem (DFMA) é uma filosofia que se utiliza de diversos conceitos, técnicas, ferramentas e métodos para aperfeiçoar a fabricação de componentes ou simplificar a montagem de produtos. É planejado durante a fase de projeto para facilitar as fases de fabricação, de forma a projetar os produtos para que possam ser fabricados mais facilmente e/ou economicamente do modo mais viável. O DFMA influencia o projeto, seguindo alguns parâmetros ou características dos processos de fabricação. Como por exemplo, considerações sobre custos de ferramenta, tempo requerido, custo do processo, custo ou tempo de montagem, preocupação com as pessoas que irão fabricar o produto, avaliação do material ou do equipamento, entre outros.⁽¹⁾

Segundo Forcelli, Ferreira e Catapan,⁽²⁾ o DFM (*Design For Manufacturing*) traduz a busca durante o projeto, em tornar mais fácil à manufatura dos componentes que formarão o produto depois de montado.

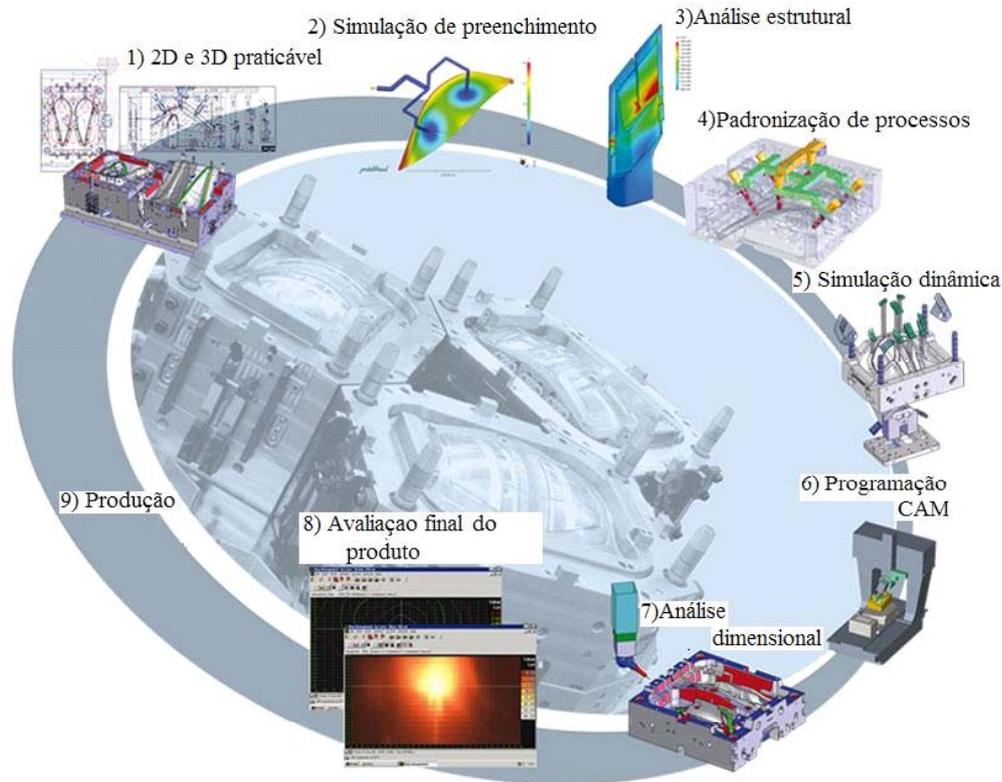
Da mesma forma, Canciglieri⁽³⁾ acredita que o DFM incorpora informações referentes à manufatura, auxiliando a comunicação entre todos os elementos e permitindo que o projeto possa ser adaptado durante cada estágio da confecção do produto. Segundo Bralla,⁽⁴⁾ os princípios que são aplicados aos processos de manufatura, ajudarão os projetistas nas especificações dos componentes e produtos, aos quais serão manufaturados com o mínimo de custo. Alguns exemplos de princípios a serem seguidos: simplicidade, materiais e componentes padrões, padrões de desenhos para produtos semelhantes, tolerância aceita, entre outras.

Enquanto, o DFA (*Design For Assembly*) avalia o produto como um todo, não só as peças individualmente. Ele tende a simplificar a estrutura da montagem, mantendo o projeto flexível, e procurando a maior eficiência no uso da função do componente, isto torna a montagem do produto menos custosa e mais otimizada possível.

O DFA permite ao projetista avaliar a montabilidade da concepção original, verificando se é ou não adequado à montagem, a partir da resposta das características das partes, sub-montagens e processos de montagem do produto. Boothroyd⁽⁵⁾ recomenda avaliar a montabilidade do produto em relação a quatro critérios: que seja montável na medida do possível; seja montável de um lado só; que seja montável com perda de tempo mínima, ou seja, simples e; se possível, montável com o mínimo ou sem ferramentas.

Não é possível atingir a excelência na qualidade e no custo da fabricação do produto quando as engenharias de projeto e de manufatura não estão interligadas. Segundo Canciglieri e Young⁽⁶⁾ o projeto tem de ser bem orquestrado e integrado, por isso nas duas últimas décadas vem crescendo o interesse pela engenharia simultânea.

Atualmente os lançamentos dos produtos estão cada vez mais recentes, por conseqüência disto, os prazos de entrega do projeto e fabricação estão cada vez mais curtos, sendo inaceitáveis retrabalhos, oriundos da falta de comunicação entre projeto e fabricação. O ambiente de engenharia simultânea é usado no processo de desenvolvimento de produtos injetados, pois requer equipes multifuncionais conforme visto na Figura 1.



Fonte. www.inglass.it

Figura 1. Ciclo de desenvolvimento do projeto para o molde.

No item 1 da Figura 1, pratica-se o esboço conceitual, levando em considerações projetos similares, quando estes projetos são inovadores é feita uma análise para as possíveis causas de falha (FMEA – *Failure Mode and Effect Analysis*). Nos itens 2, 3 e 5 são feitas as análises e simulações acompanhadas por programas específicos, é nestas fases que se pode comprovar se as definições iniciais do pré-projeto estavam coerentes. Por exemplo, o local do ponto de injeção, a eficiência do ciclo de refrigeração, os cursos dos mecanismos, entre outros. O item 4 tem a função de otimizar e padronizar os processos aplicados, e no item 6 se trata da fabricação virtual das peças para a futura produção.

Os projetistas de produto injetado, geralmente, não têm uma visão sistêmica da fabricação do mesmo, preocupando-se principalmente com a forma, estilo e montagem no seu conjunto e assim, deixando de fora, a viabilidade de fabricação. Quando este produto chega ao projetista do molde, tem-se que fazer modificações necessárias para possibilitar elaboração do projeto de molde e assim garantir a fabricação e a qualidade do mesmo. Este mesmo descaso pode ocorrer quando o projeto do molde não segue os padrões, parâmetros e normas requisitadas pelo processo de fabricação necessário para a empresa

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Identificação de Necessidades de Melhoria

Com o intuito de identificar as necessidades de melhoria, foi escolhida uma empresa fabricante de moldes de injeção que apresente um volume significativo de trabalho e que possibilite a realização de entrevistas com os responsáveis da engenharia de processo. Abaixo estão descritas as informações em ordem de importância (colhidas após a entrevista) para a aplicação do DFMA, levando em consideração o custo agregado a cada uma delas:

- melhorias no fechamento do molde, racionalizando os processos de usinagem;
- fornecimento dos desenhos de eletrodos no projeto;
- raios de ferramenta compatíveis com os existentes no molde;
- padronização de componentes relevantes;
- maior aplicação para eletro penetração à fio;
- ajuste de tolerâncias para montagem;
- lista de material otimizada; e
- referências para usinagem e modificação do componente facilitando a fabricação.

Inicialmente será aplicado o conceito de DFMA na região de fechamento do molde a principal solicitação do cliente, pelo fato das decisões implicarem em inúmeros processos e etapas de fabricação, além de melhorar a robustez do molde que é interesse do cliente final.

O orçamento para a fabricação de um molde leva em consideração o custo da hora da ferramentaria, que consiste normalmente na média entre os diversos custos dos processos de fabricação, entre eles eletro-erosão, eletro penetração à fio, torneamento, fresamento, retífica, bancada, etc. Estes processos têm custos e tempos diferentes na sua individualidade. Então, tem-se que reconhecer quando existe a real necessidade de utilizar processos menos vantajosos, restringindo sua aplicação.

A definição do tipo de fechamento do molde fica a cargo dos projetistas, que por sua vez têm objetivos de criá-los mais robustos e de fácil fabricação, de modo a suportar a força e a pressão de injeção causada pela injetora. Naturalmente os projetistas com mais experiência têm maiores chances de criar o fechamento adequado, contudo, como esta etapa é crítica em um projeto, se faz necessário estabelecer uma sistemática com as melhores práticas de projeto buscando racionalizar a fabricação e a funcionalidade do molde.

2.2 Determinações dos Principais Tipos ou Formas para Fechamentos

Definidas algumas informações no pré-projeto, como número de peças e o tipo de injeção, as peças são posicionadas para favorecer o balanceamento da injeção, a extração, a refrigeração e a fabricação. Por consequência, o fechamento é função de todas estas definições, podendo ter formas simples ou complexas. Basicamente existem três tipos de fechamento. O primeiro é o de topo, ou seja, as superfícies de contato se encontram no sentido normal à abertura do molde. O segundo é o fechamento em cunha também bastante utilizado, e em alguns casos, ajuda na centralização das cavidades. Já o fechamento de aresta é o menos indicado por se tratar do encontro entre as superfícies da cavidade superior, cavidade inferior e do produto, ocasionando uma região crítica no ajuste. Respeitando as particularidades

e necessidades de cada projeto, deve o projetista, sempre que possível procurar minimizar os custos de fabricação como um dos preceitos fundamentais do DFMA.

2.3 Simplificação e Análise das Superfícies Pertencentes ao Fechamento

Deve-se simplificar ao máximo o número e a complexidade das faces no produto e no fechamento, pois estas serão processadas posteriormente na fabricação dos eletrodos ou mesmo na programação de usinagem, como recomendado pela filosofia de Projeto para Manufatura e Montagem. O excesso de superfícies sem o alisamento necessário causa um transtorno no momento da usinagem. Normalmente os vincos formados entre as superfícies não permitem que o fechamento da cavidade superior fique ajustado com a inferior, pois a ferramenta não consegue usinar o vinco. Quando isto ocorre numa região de produto notam-se marcas que necessitam passar pelo processo de polimento.

2.4 Reconhecer a Necessidade de Utilização de Eletro-erosão no Molde

Alguns eletrodos podem ser eliminados com o uso de raios onde existam “cantos vivos”, possibilitando o fresamento desta região, reduzindo tempo e custos de fabricação, possibilitando uma racionalização dos processos de fabricação e montagem. Algumas vezes, a necessidade de eletro-erosão fica somente em um lado das cavidades, ou seja, quando a ferramenta acompanha a parte externa do “canto vivo” não é necessário, porém na região interna fazem-se necessários.

Quando o projetista adiciona raios nos “cantos vivos” do fechamento, ele evita a utilização do eletrodo. Porém, deve utilizar raios condizentes com as ferramentas existentes na fábrica. Por exemplo, para utilizar uma fresa esférica mostrada na Figura 2(a) deve existir um raio mínimo de 0,5 mm no fundo, e a altura do alojamento não ultrapassar 6 vezes o diâmetro da ferramenta, sendo utilizada geralmente em regiões que possuam pouca ou nenhuma inclinação das paredes. A Figura 2(b) apresenta o modelo de fresa esférica escalonada, que necessita também do raio mínimo de 0,5 mm no fundo, porém com a altura do alojamento 20 vezes o diâmetro da ferramenta. Ela é utilizada quando o alojamento possui inclinação da parede considerável. Desta forma, quando o raio mínimo ou a altura do alojamento estiver fora das especificações será imprescindível o uso de eletro-erosão nesta região.

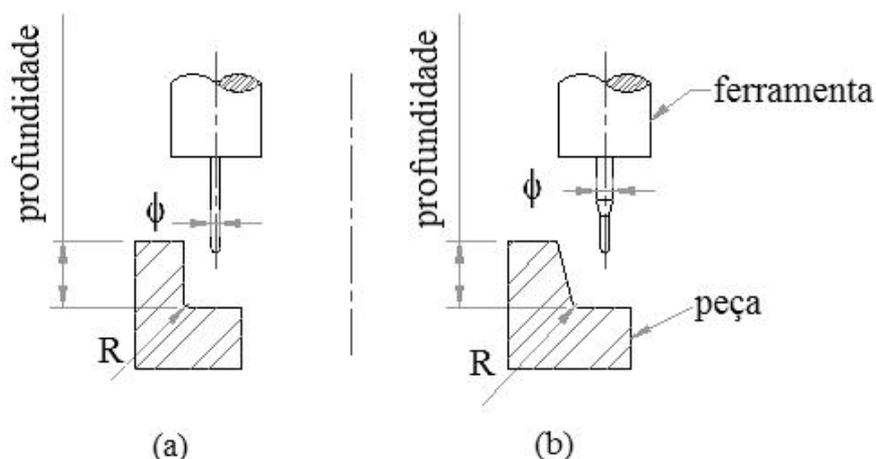


Figura 2. Tipos de ferramentas esféricas: (a) fresa convencional; (b) fresa escalonada

2.5 Alívios e Folgas nos Fechamentos

A adoção de um alívio de 0,3 mm entre a placa porta cavidade superior e a placa porta cavidade inferior, garante que o contato entre as cavidades ocorra, e desta forma o polímero fique retido entre elas. Adota-se também, a folga nas laterais das cavidades, quando estas avançam para dentro do alojamento da outra cavidade, isto evita a colisão entre as paredes por não terem inclinação, conforme pode ser visto na Figura 3. Outra tarefa importante são os alívios de fechamento do molde, por exemplo, pode-se adotar para os fechamentos principais do molde, uma faixa de 20 a 30 mm de contato entre as cavidades. Isto facilita o trabalho posterior de bancada para um eventual ajuste e contribui também para a usinagem que pode adotar tolerâncias maiores nestas regiões, ou seja, pode optar por deixar estas regiões com o acabamento bruto, somente o desbaste, conforme pode ser visto na Figura 3. Isto pode permitir um aumento na velocidade de fabricação pela liberação das tolerâncias, bem como, um aumento na velocidade de montagem pela reduzida área de fechamento que precisa ser ajustada.

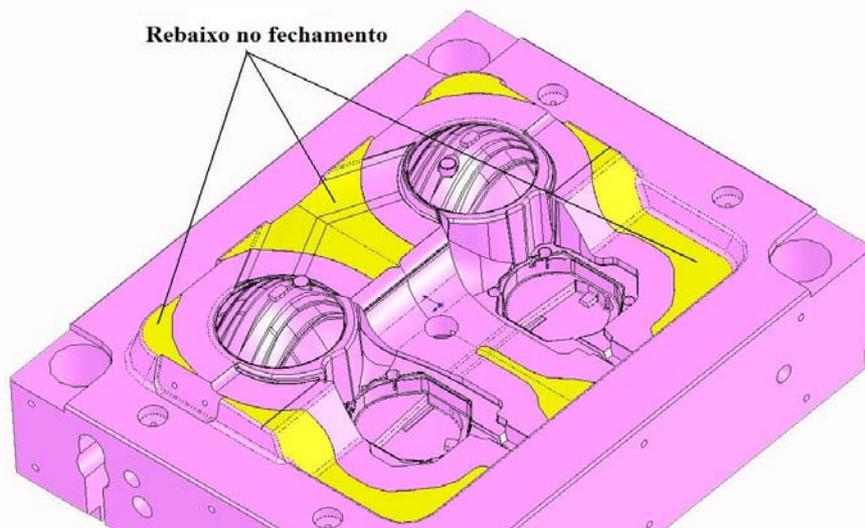


Figura 3. Exemplo de folga no fechamento

2.6 Utilização de Postiços

Existem vários motivos para a utilização dos postiços no molde, quando é desejável reduzir a espessura das cavidades, para facilitar futuras manutenções, duas ou mais versões do produto, refrigeração e também pela redução dos custos do molde, pelo uso de materiais especiais somente em regiões realmente técnicas. Os postiços de forma geral contribuem significativamente para o êxito na fabricação do molde, no entanto deve-se lembrar que sua colocação gera linhas que marcam o produto, e, portanto, deve-se conhecer o produto para saber se são permitidas estas marcas.

2.7 Adoção de Cunhas em Fechamentos

As cunhas servem para garantir que as cavidades superiores e inferiores estejam centradas e apoiadas na hora da injeção evitando que a pressão de injeção possa danificar ou mesmo reduzir a vida útil do molde. Algumas vezes, o molde apresenta desbalanceamento no preenchimento do produto, e as cunhas servem justamente

para compensar esta diferença no gradiente de pressão. Além disso, o uso das cunhas pode corrigir uma eventual folga nos alojamentos das cavidades. A presença das colunas e buchas principais não é suficiente para garantir a centralização do molde, pois sua função pode estar comprometida pelo desgaste, transporte ou dilatação térmica do molde. Por isto, existe necessidade de colocar centradores no molde, que geralmente ficam alojados no centro das placas porta cavidades, e são capazes de proteger os fechamentos que possuem menores inclinações de cunhagem. Mesmo aumentando o número de componentes a serem fabricados e montados, os centradores garantem bons resultados quanto à funcionalidade do produto, ou seja, a racionalização dos processos de fabricação e montagem, pressuposto básico da filosofia DFMA, deve ser ponderada em função dos ganhos de qualidade e produtividade do molde. A Figura 4(a) mostra os centradores fêmeas, retangulares sem inclinação. Já a Figura 4(b) mostra os centradores machos, retangulares sem inclinação.

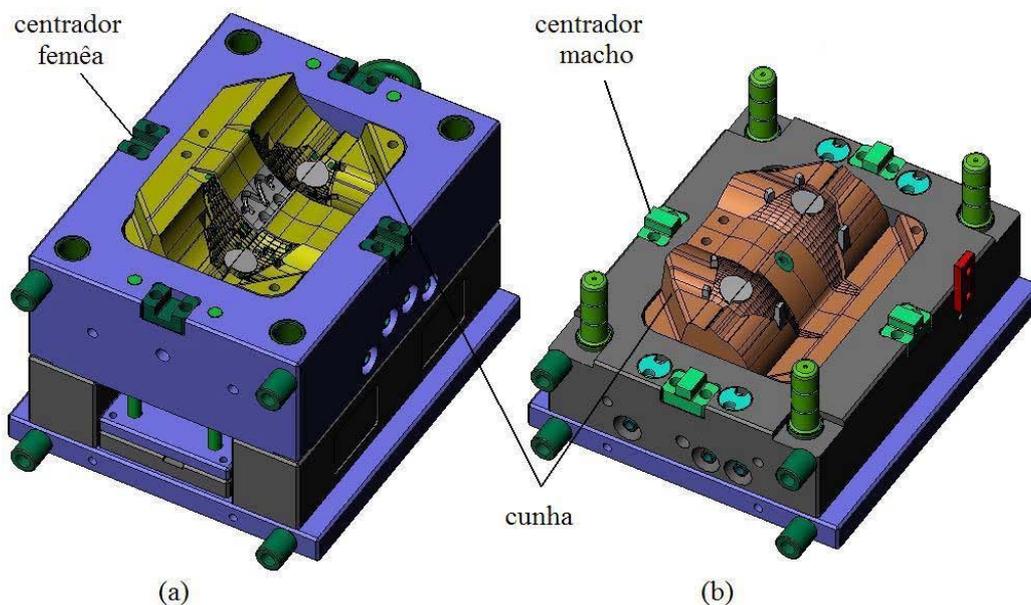


Figura 4. Vista isométrica do molde aberto: (a) centrador fêmea; (b) centrador macho

2.8 Modificação do Produto para Racionalizar a Fabricação do Molde

A realização de qualquer melhoria no fechamento do molde requer o conhecimento do nível de exigência da peça injetada, ou seja, aparência, precisão, produtividade e aplicação do produto. A partir dessas informações é possível modificar o produto para possibilitar o melhor fechamento possível, contudo, deve-se fazer um estudo cuidadoso, da relação entre projetar para uma melhor fabricação e projetar para uma funcionalidade adequada do produto. Nos moldes que possuem injeção sobre canal, e geralmente mais de uma cavidade, pode-se criar uma região plana de forma a facilitar o fluxo do polímero na injeção. A Figura 5(a) apresenta área da secção transversal constante, enquanto na Figura 5(b) observa-se que o comprimento percorrido pelo polímero para preencher o canal é maior, aumentando a chance de solidificar o material precocemente. Contudo, no ponto de vista da fabricação, o fechamento ideal seria o apresentado na Figura 5(b), pois o processo envolvido seria o eletro penetração à fio com corte lateral na cavidade; já a Figura 5(a) foi desenvolvida usando o processo de fresamento.

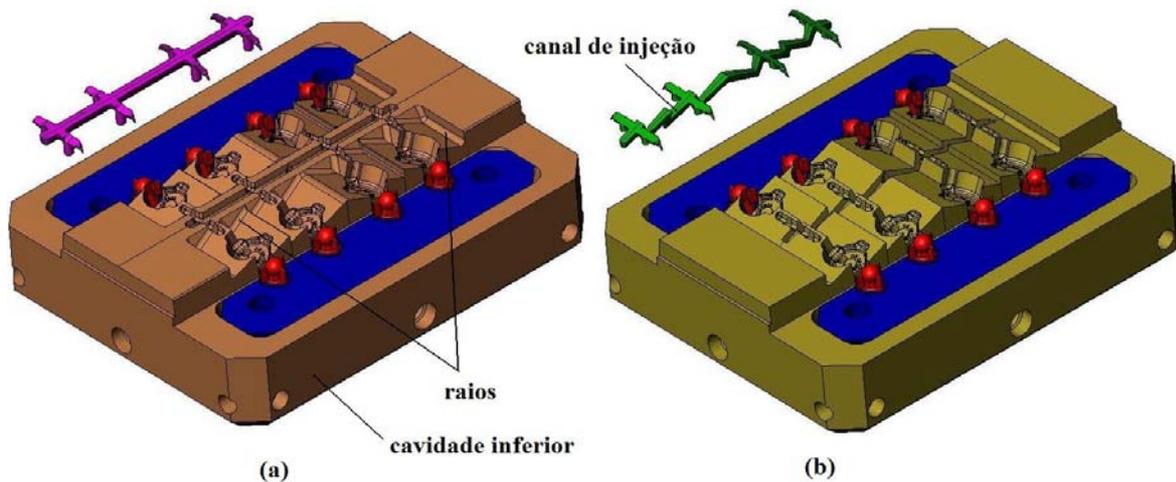


Figura 5. Fechamento: (a) ideal para o projeto; (b) ideal para a fabricação

3 RESULTADOS

Para a aplicação da filosofia DFMA, ou seja, simplificar os processos de fabricação e montagem sem interferir na funcionalidade e qualidade do produto, foi necessário criar padrões para o fechamento do molde, como aqueles citados nos itens 2.2 a 2.8, a fim de otimizar o tempo de fabricação e reduzir os retrabalhos. Para tanto, foi elaborado um *check-list* que possibilite constatar uma possível falha no projeto do fechamento. Além disso, este roteiro permite que projetistas menos experientes possam usar o conhecimento da empresa associado ao fechamento de moldes. Os principais itens do *check-list* são:

A posição dos produtos a serem injetados é a mais adequada para fabricação do fechamento? Caso não seja, existe alguma restrição quanto à mudança do posicionamento, como a presença de robô para retirar o produto do molde, espaçamento entre as colunas da injetora insuficiente, etc.

Foram feitas ou analisadas modificações no produto para possibilitar a construção do fechamento ideal? Possivelmente este item seja o mais importante da lista. É ele que nos possibilita atingir melhoras consideráveis na usinagem do fechamento, assim como a qualidade final da peça a ser injetada. É importantíssimo que nesta etapa o projetista já esteja familiarizado com a aplicação do produto.

Todas as modificações geradas no produto foram devidamente aprovadas e registradas pelo cliente? Só ele tem uma visão sistêmica do conjunto que engloba o seu produto, como produção, vendas, qualidade, visibilidade, problemas relativos a peças semelhantes, entre outros.

Foi respeitada a norma de não construir fechamentos retos, pois estes causam colisão durante a abertura e fechamento do molde? Os fechamentos devem conter o mínimo de 0,3 mm de desencontro, devido ao ângulo de cunha, e desta forma pode ser considerado um fechamento delicado. Caso exista fechamento delicado, estes foram protegidos com a colocação de centradores com ângulo inferior ao do fechamento, para garantir que no momento que o molde fecha as primeiras superfícies a terem contato, seja dos centradores.

Caso a injeção seja sobre o canal e/ou o molde possua mais de uma cavidade pode-se criar uma região plana mais simples de ser fabricada.

É possível ou necessário, criar uma região plana para melhorar o fluxo do material, facilitar a fabricação e possíveis ajuntes no fechamento do molde?

Foram feitas regiões de cunhagem no molde nos dois sentidos do molde? A pressão de injeção, junto com a força de fechamento causado pela injetora, pode causar um desbalanceamento no molde, por isso devem ser reforçadas as cunhas neste sentido. Garantir que o molde não apresente regiões negativas em relação à extração da peça, bem como, entre as faces de fechamento e movimento dos mecanismos.

Foram colocados todos os postigos necessários no molde, visando o funcionamento, fabricação, manutenção, refrigeração e outras versões do produto?

Foram levados em consideração os padrões do cliente no momento de construir o molde? Raios de ferramenta disponíveis, processos de fabricação preferidos, etc.

Foram feitos todos os alívios e folgas necessárias para melhorar a fabricação? Vale lembrar que eles são muito importantes na escolha do acabamento superficial necessário para fabricação e a sua montagem.

O fechamento possui alguma particularidade que nunca tenha sido aplicada, ou que você desconheça? Mesmo que os fechamentos dos moldes variam de produto para produto, não é normal acontecer procedimentos nunca antes ocorridos, a menos que seja solicitado pelo cliente.

Esta particularidade deve ser discutida com as pessoas responsáveis pelo projeto e pela fabricação? A verificação está concluída, porém depois de liberado o projeto para a fábrica, é importante uma análise dos responsáveis pela fabricação, pois quanto antes for inserido uma possível melhoria menor será o custo desta modificação.

4 DISCUSSÃO

O uso do *check-list* para orientar à racionalização dos processos de fabricação e montagem de moldes, como preceito básico da filosofia DFMA, possibilita que os projetistas tenham um nível semelhante de conhecimento, atendendo as exigências de fabricação reduzindo seus índices de retrabalhos em fechamentos. Isto permite perceber o aumento da quantidade e qualidade de moldes projetados e fabricados. Por não se tratar de uma produção seriada, torna-se difícil quantificar os ganhos. Além disso, algumas mudanças que eram percebidas apenas na etapa da fabricação, onde o custo para introdução das mudanças é elevado, foram transferidos para as fases iniciais de projeto e desta forma obteve-se resultados satisfatórios.

5 CONCLUSÃO

A elaboração de um projeto personalizado pode se tornar um diferencial na hora de escolher a empresa a qual fornecerá o projeto. Desta forma, a ferramentaria não gastará com modificações decorrentes da falta de conhecimento dos projetistas sobre sua estrutura para a fabricação e montagem, além de reduzir seus prazos de entrega aumentando sua produção.

Este trabalho apresentou os conceitos do DFMA, tendo como exemplo de aplicação o projeto do fechamento de moldes de injeção. Isto garantiu que os projetistas passem a ter uma seqüência de parâmetros capazes de garantir o funcionamento do molde, bem como, a sua fabricação. Por isso, fez-se necessário registrar os padrões de fabricação do fechamento do molde. Os parâmetros pesquisados e criados foram retirados de casos passados, ou seja, do conhecimento existente na empresa.

O projetista pode utilizar este trabalho como referência na concepção de um fechamento, auxiliando sua capacidade de decisão e identificando um possível equívoco no projeto.

Pode-se observar que o *check-list* ajudou o projetista a encontrar algumas falhas no fechamento do molde de injeção, contudo, outros estudos de caso deverão ser implementados, buscando melhorar ainda mais a sistemática para a definição do fechamento dos moldes de injeção racionalizando os processos de fabricação e montagem em relação a funcionalidade do produto.

Como trabalho futuro, pode-se aplicar a filosofia de DFMA para as outras necessidades reais do cliente. Assim, todo o projeto do molde de injeção estará de acordo com a necessidade do cliente, ou seja, um projeto personalizado conforme o processo de fabricação e montagem existente. Também, pode-se estender este trabalho a outros clientes que sejam representativos no orçamento da empresa.

REFERÊNCIAS

- 1 POLI, C. Desing for manufacturing: a structured approach. Boston: Butterworth Heinemann, 2001.
- 2 FORCELLINI, F. A., FERREIRA, C. V., CATAPAN, M. Recomendações do projeto preliminar em componentes de plásticos injetados para a definição da forma utilizando o DFMA. Anais do 5º CBGDP – Congresso brasileiro de gestão de desenvolvimento de produto. 2005.
- 3 CANCEGLIERI, O. JR. Estrutura de informação necessária em ambientes de projeto orientado para manufatura de peças plásticas. Ferramental – Revista Brasileira da Industria de Ferramentas. Ano II, nº 12 maio/junho 2007.
- 4 BRALLA, J. G. Handbook of product design for manufacturing. Jersey City, McGraw-Hill Book Company, 1986.
- 5 BOOTHROYD G. & DEWHURST P. Product Design for Assembly. Wakefield, Boothroyd Dewhurst Inc., 1989.
- 6 CANCEGLIERI, O. JR, YOUNG. Estrutura de informação como suporte em múltiplas vistas num produto orientado para manufatura. Produção. v. 6, nº 2 maio/agosto 2006.