

Projeto Orientado para a Manufatura de Produtos Plásticos Injetáveis

Osiris Canciglieri Junior (PUCPR) osiris.canciglieri@pucpr.br
Alfredo Iarozinski Neto (PUC/PR) alfredo. Iarozinski @pucpr.br

Resumo

O manuseio de dados nas etapas de projeto e manufatura é uma tarefa complexa devido à heterogeneidade dessas informações. Estes dados armazenam informações de distintas naturezas (tecnológicas, geométricas, administrativas, etc). Uma das formas de enfrentar essas dificuldades está em modelar as informações necessárias durante todo o ciclo de vida do produto. Esta modelagem consiste na aplicação dos conceitos de orientação a objetos e de features de fabricação. Elas são pré-definidas e contém um número limitado de elementos os quais carregam informações relativas ao projeto e às atividades de fabricação. Dentro do ambiente de projeto e fabricação baseado em features, é necessário definir estruturas de dados de maneira flexível adequando-se a cada situação imposta. Este trabalho propõe uma metodologia para a obtenção, definição e combinação das features de fabricação em função dos elementos do Paradigma de Objeto. Esta metodologia, que já causou revolucionárias mudanças na programação de computadores, pode aportar novas formas de pensar nas mais heterogêneas áreas da engenharia. No caso do Projeto orientado para a Manufatura e com o uso de um Modelo de Produto e de Manufatura, o conceito de Objeto provocará um aumento na produtividade dessa área, pois a obtenção e manuseio de tais entidades fornecerá um referencial comum para projetar novos componentes e facilitar a padronização dos processos de fabricação de tais componentes.

Palavras chave: features de fabricação, modelo de produto, modelo de manufatura, projeto orientado para a manufatura, objetos.

1. Introdução

As exigências de mercado buscando uma maior diversificação dos produtos manufaturados, melhor qualidade e baixo custo têm forçado as empresas, principalmente as do setor metal-mecânico, a mudanças radicais no seu comportamento. Essas mudanças têm refletido de maneira significativa, principalmente nas áreas de projeto e fabricação, provocando cada vez mais a necessidade de uma maior integração entre estas áreas. Esta integração persegue como objetivo último a Engenharia Simultânea e uma estrutura integrada através de redes computacionais (CIM).

A Engenharia Simultânea é uma filosofia importante para o desenvolvimento de novos produtos para que estes cheguem ao consumidor o mais rápido possível. Todavia, existem sérias dificuldades para o cumprimento deste objetivo. Especificamente, o manuseio de dados nos diversos estágios do projeto e da manufatura. Este manuseio é uma tarefa complexa devido à heterogeneidade das informações envolvidas, uma vez que elas devem armazenar dados de naturezas distintas (tecnológicas, geométricas, administrativas, etc.).

Uma das formas de enfrentar essas dificuldades está na utilização de um novo método de modelagem das informações. Esta modelagem consiste na aplicação dos conceitos de tradução e compartilhamento de dados entre as distintas vistas do projeto e da manufatura. Estas informações devem ser armazenadas em uma estrutura de dados que possua a capacidade de conter tanto as características geométricas quanto tecnológicas de uma forma estruturada. Estas estruturas são baseadas na metodologia de orientação ao objeto a qual pode conter um número limitado de elementos, os quais carregam informações relativas ao projeto e às atividades de fabricação.

Dentro da filosofia de Engenharia simultânea pode-se considerar embutido o conceito de um projeto voltado para a manufatura (DFM – design for manufacture), a qual deve permitir a definição destas

estruturas de maneira flexível adequando-se a cada situação imposta. À medida que os procedimentos de projeto exigem uma maior precisão estas estruturas podem ser adaptadas e combinadas de maneira a obter-se representações mais abstratas dos elementos existentes na situação real. Quanto mais complexas forem as diferentes situações durante o processo de projeto voltado para a manufatura, estas espelharão da melhor maneira a realidade que se deseja representar. Entretanto, isto se traduz numa maior dificuldade na implantação destas estruturas num sistema computacional. Este aspecto mostra que uma companhia não consegue atingir os objetivos de qualidade e custo de seus produtos isolando-se as operações de projeto e manufatura.

O projeto orientado para a manufatura (DFM) engloba considerações de manufatura no projeto para que haja comunicação entre todos os componentes de um sistema de manufatura, o qual permite que o projeto seja adaptado a cada estágio da realização do produto (Boothroyd *et al.*, 1993). Atualmente é oferecida uma certa resistência por parte da fabricação às decisões tomadas no projeto antes que os produtos e seus processos de fabricação sejam continuamente analisados. Todavia, os objetivos de um projeto voltado para a manufatura são identificar na fase concepção do produto os meios para se obter uma fabricação do produto de forma mais fácil, enfatizando dessa forma uma integração dos processos de manufatura e o projeto do produto, assegurando de maneira eficaz a união das necessidades e os requerimentos do produto. Este trabalho propõe uma metodologia para obtenção, definição e combinação das estruturas de dados de um projeto voltado para a manufatura em função dos elementos do Paradigma de Objetos. Este paradigma permite a visualização dos elementos constituintes ou *features* de uma forma mais estruturada como se estas fossem objetos, os quais poderão ser combinadas formando *features* mais complexas, incorporando assim o conceito de classe e subclasses de objetos.

Esta metodologia vem causando mudanças revolucionárias na criação de sistemas computacionais, pois ela apresenta uma estrutura de dados em áreas heterogêneas da engenharia. No caso do projeto voltado para a manufatura, o conceito de objeto vem provocando um aumento significativo na produtividade dessa área, pois, a obtenção e o manuseio de tais informações fornece um referencial comum para o projeto de novos componentes e simplifica a padronização dos processos de fabricação de tais componentes. Esta pesquisa proporciona uma contribuição na área de sistemas baseados em decisões com o uso de um modelo de produto e de manufatura para o fornecimento de informação apropriada para as diferentes aplicativos e também oferece subsídios para a estruturação de um sistema inteligente para solucionar as interações existentes entre as diferentes vistas do produto.

2. Múltiplas Vistas de Projeto e Manufatura

Os sistemas de Projeto orientado para a manufatura do futuro deverão oferecer suporte para múltiplos processos de fabricação uma vez que estes sistemas devem envolver considerações de diferentes perspectivas do produto em um ambiente integrado de manufatura. Esta integração tem sido explorada por Rosenman e Gero (1996) na área de arquitetura. Esta abordagem de um projeto orientado para a manufatura é baseada no uso de sistemas agentes (Agents Systems), os quais tem sido definidos diferentemente pelos pesquisadores. Neste trabalho a definição de sistemas agentes que mais se adequa: “o sistema agente é visto como um sistema capaz agir genericamente inteligente ou ele é um tipo de sistema baseado no conhecimento” (Wooldridge e Jennings 1995). Todavia, a comunicação ou a conversão de informações entre domínios distintos vem causando problemas devido a diversidade dos tipos de informação existentes num ambiente baseado em múltiplas vistas.

O desenvolvimento de aplicações do projeto orientado para a manufatura tem sido tipicamente explorado utilizando simplesmente um ponto de vista (Gupta *et al.* (1997), Krause *et al.* (1995), Boothroyd (1994) e Fauvel (1994). Por exemplo, Gupta *et.al.* (1997) e Sanchez *et al.* (1997) abordam o projeto orientado para a manufatura sob o ponto de vista da usinagem enquanto que Boothroyd (1994) concentra-se num projeto orientado para a montagem. Através destas pesquisas

pode-se visualizar que cada vista requer sua própria estrutura de informação. Mais a diante, a estruturação das informações do produto é similar para a estruturação explorada na área de “features technology”, isto é, usinagem, montagem, fixação, etc.

A modelagem do Produto é um outro aspecto importante envolvendo o desenvolvimento de sistemas de engenharia auxiliados por computador (CAE – Computer Aided Engineering). Isto realça que ambos a comunidade de pesquisa e a comunidade engenharia, por vários anos vem identificando que é necessário um sistema avançado de informação, que integre e coordene as considerações durante a realização do produto durante os vários estágios do ciclo de vida do produto (Krause *et. al.* 1993). Nesta linha de pensamento e que por mais de uma década, a ISO (International Organization for Standardization) tem desenvolvido o STEP standard o qual está rigidamente focado na troca de dados entre sistemas. É também importante citar que os modelos de produto no futuro sejam capazes de trabalharem com múltiplas representações do produto. Um importante aspecto desta pesquisa é que as informações manipuladas num sistema CAE, é todavia, desenvolvida num modelo de produto, o qual pode capturar diferentes perspectivas do produto. Com isso cresce-se a funcionalidade do sistema o qual consegue através de compartilhamento de informações relacionadas com os diferentes aspectos do produto dentro do modelo de produto (Fowler 1995). Atualmente, a comunidade STEP reconhece que existe a necessidade de compartilhamento de informações e integração entre diferentes perspectivas do produto como evidencia do trabalho desenvolvido pelo grupo WG10 (ISO TC184/SC4/WG10 N219).

Em um ambiente de múltiplas vistas de um sistema de projeto orientado para a manufatura tem que ser considerado a interdependência. A figura 1 ilustra a representação conceitual do sistema MOSES (Model Oriented Simultaneous Engineering System) com a sobreposição representada pelos símbolos de interrogação, onde existe a necessidade de suporte de cada aplicativo através do inter-relacionamento de informação. A figura ilustra nas entre linhas que dois pontos precisam ser discutidos relacionando múltiplas vistas em um ambiente de projeto orientado para a manufatura:

- i) Qual a estrutura de informação dentro de um modelo de produto necessária para dar suporte as diferentes vistas do produto?
- ii) Como podem ser definidas as relações existentes entre os conjuntos de informação?

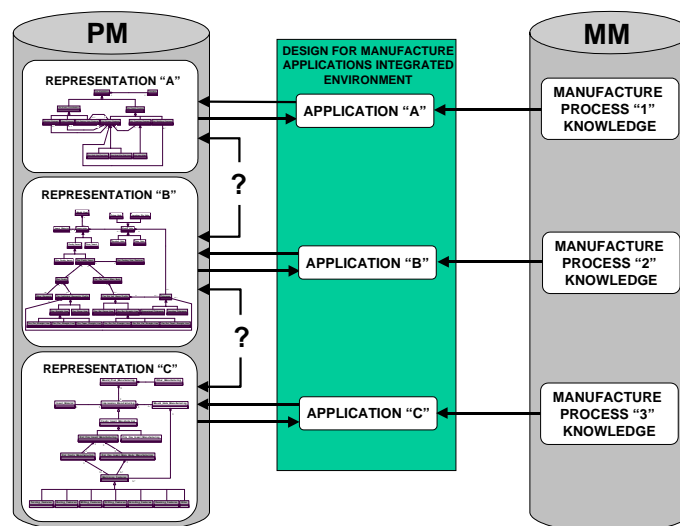


Figura 1 – Sistema CAE para o suporte os vários pontos de vista de um produto

Este artigo considera somente a relação existente entre as informações necessárias para o suporte ao projeto orientado para a manufatura de peças plásticas injetáveis.

2.1 Considerações Gerais Sobre Múltiplos Pontos de Vista em Moldes de Injeção de Plásticos

Produtos injetáveis e seus respectivos moldes são áreas que cobrem muitas sub-áreas especialistas. Com isso abriu-se oportunidades para que os pesquisadores explorassem os problemas envolvendo múltiplos pontos de vistas usando a tecnologia de “features” uma vez que existe uma grande diversidade e complexidade de informações na modelagem de informações relacionados com peças plásticas, o molde e a manufatura do molde. Pratt *et.al.* (1993) desenvolveu uma forma de testar a manufaturabilidade e a processabilidade de peças. Todavia esta pesquisa ficou limitada somente no projeto da peça plástica. Weinten e Manoochchri (1996) apresentaram uma metodologia para definição da localização da linha de partição do molde baseada na geometria da peça plástica. Chin e Wong (1996) desenvolveram um sistema baseado em conhecimento para o projeto de produtos plásticos aplicados na fase conceitual de projeto. Lee *et.al.* (1997) apresentaram uma metodologia sistemática e uma base de conhecimento para o projeto de moldes de injeção de plásticos num ambiente de engenharia concorrente. Sua abordagem era somente aplicada ao projeto do molde. Todavia este trabalho não considerava como a geometria da peça plástica era transferida para o projeto do molde.

Na área de sistemas de suporte a engenharia no projeto de moldes de peças plásticas injetáveis (Ashaab 1994 e Lee 1996) fizeram suas pesquisas no projeto MOSES. Ashaab (1994) desenvolveu o modelo de manufatura para peças plásticas injetáveis como sendo um código fonte de informação bem definido e estruturado oferecendo suporte as decisões de projeto em um ambiente de projeto orientado para a manufatura de aplicativos na área de injeção de plásticos. Lee (1996) fez uma exploração inicial do projeto orientado para a manufatura usando o modelo de manufatura dentro de um ambiente de modelo de produto. Em seu desenvolvimento foi identificado problemas de interações entre a vista de moldabilidade e as vistas de cavidade e protuberância do projeto orientado para a manufatura de produtos injetáveis. A pesquisa estava focada no relacionamento geométrico simples e suas representações no modelo do produto e sendo esta pesquisa usada como ponto de partida para o desenvolvimento desta pesquisa. Lee e Young (1998) investigaram como as informações em um projeto orientado para a manufatura podem ser trabalhadas o mais concorrentemente possível para os times de designers. Eles identificaram a necessidade de criar mecanismos de conversão de informações entre diferentes domínios em um ambiente de engenharia concorrente.

A pesquisa apresentada neste artigo enfoca duas áreas relacionadas a injeção de produtos plásticos injetáveis: o projeto e a manufatura do molde que irá manufaturar a peça plástica. Nessas áreas existem diferentes pontos de vistas que podem ser explorados (figura 2). Este trabalho de pesquisa concentra-se nas interações existentes entre as vistas do projeto da cavidade e macho do molde de injeção e da manufatura da cavidade e do macho numero.

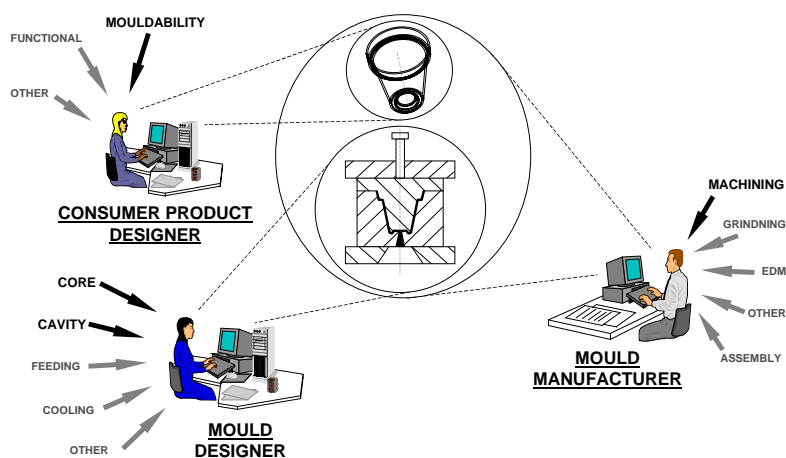


Figura 2 – Múltiplos pontos de vistas de um projeto orientado para a manufatura de peças plásticas injetáveis

2.2 Banco de Dados do Modelo do Produto

Para trabalhar com múltiplas vistas do produto no ambiente de moldes e injeção de plásticos é necessário entender que cada ponto de vista contém estruturas de informação dentro do modelo de produto que seja capaz de suportar as funcionalidades dos aplicativos. Dentro do banco de dados do produto existe a necessidade de definir as estruturas de dados que podem suportar todos os aplicativos. A sua representação tem sido explorada por duas razões: primeiramente, as representações podem oferecer suporte somente a áreas individuais de aplicação; segundo, elas podem suportar o movimento de informação de uma área de aplicação para outra. A abordagem para explorar a estrutura do Banco de dados do produto não é o foco principal deste artigo.

2.3 Definindo as Relações de informação

Considerando que as estruturas de dados foram definidas individualmente para cada vista corretamente, como descrito no item 2.1, o desafio agora é entender como a informação capturada em uma vista pode ser moldada de forma correta numa outra vista durante o processo de tradução. A pesquisa reportada neste artigo explora o entendimento de como as informações podem ser convertidas/traduzidas entre vistas, representados por “?” na figura 1. Os resultados são a exploração de Mecanismos de tradução/conversão que serão discutidos mais a frente.

2.5 Conversão entre as Vistas de Projeto e de Manufatura do Molde

Para converter informação entre as vistas do projeto do inserto do macho e a manufatura vários pontos devem ser considerados. Este item discute a importancia desses pontos no contexto de qual informação contida da vista de projeto do macho deve ser convertida em termos de features de manufatura (machining Features). Neste caso o autor assume que o inserto do macho foi projetado corretamente e suas informações estão guardadas no banco de dados modelo de produto. A figura 3 ilustra as informações críticas que devem ser convertidas entre estas vistas. A figura realça informações como: corpo principal do macho (core main body), o macho (core), furos de posicionamento (locating pin hole), furos de extração (ejection holes) e furos de fixação (fixing holes).

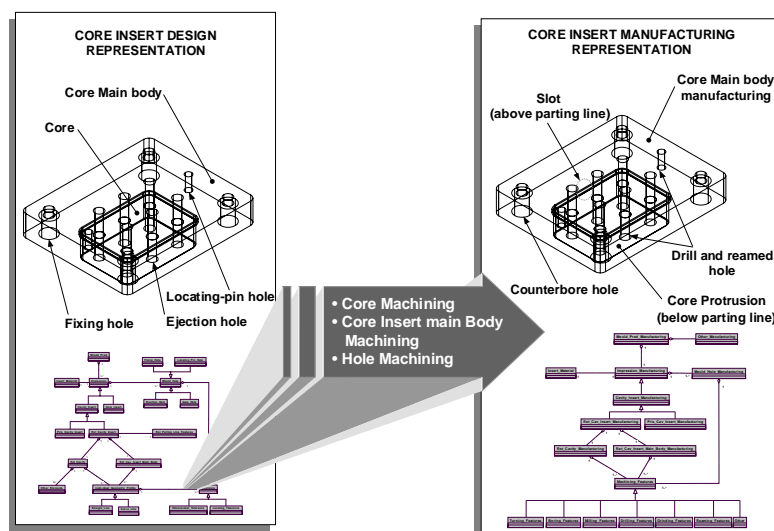


Figura 3 – Informação convertida entre as vistas de projeto e manufatura

2.5.1 Cavity Design Features to Machining Features

Para converter as informações contidas na classe *Rotational Cavity* para a classe *Rotational Cavity Manufacturing*, utilizando como exemplo uma cavidade rotacional, a classe *Cavity Individual Geometric Profile (Cav_Individual_Geometric_Profile)* devem ser convertido em termos da classe de features de manufatura (*Machining_Features*). O perfil geométrico individual possui sua definição geométrica e o material do inserto associado. A informação de tolerância está contida na

classe tolerância (*Tolerance*) enquanto que as informações referentes ao material na classe material do inserto (*Insert_Material*). A figura 4 ilustra as informações que estão contidas na classe *Cavity Individual Geometry Profile (Cav_Individual_Geometric_Profile)* com seus objetos associados (tolerance e insert material) sendo convertidos em termos de features de manufatura (*Machining_Features*). Estas features de manufatura estão associadas a classe *Rotational Cavity (Rot_Cavity)*, com a classe Tolerância (*Tolerance*) e a classe do material do inserto (*Insert_Material*), e serão convertidas em features de faceamento interno (*Facing_Boring*). Esta conversão pode ser executada considerando todos os perfis que compõem o perfil completa cavidade ou considerando cada perfil individualmente. O exemplo apresentado na figura 4 considera conversão individualmente.

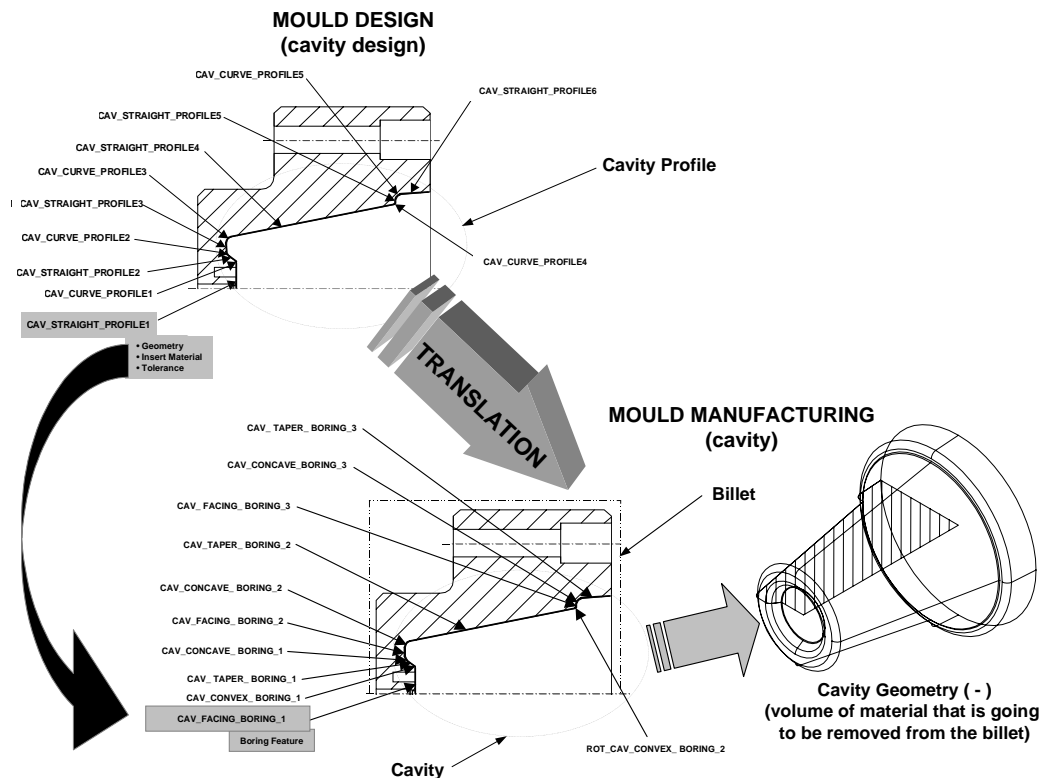


Figura 4 – Exemplo de conversão entre projeto e manufatura de uma cavidade rotacional

Para a cavidade rotacional cada perfil da *Cavity Straight Line* e da *Cavity Curve Line* devem ser convertidos em termos de *Boring_Features* para gerar as features de manufatura (*machining features*) que serão utilizadas para a usinagem da cavidade. Os perfis da *Cavity Straight Line* podem ser paralelos, perpendiculares ou formando ângulo diferente de 90° com a linha de partição do molde, enquanto que as *Cavity Curve Line* pode somente ser uma curva. Sempre que a *Cavity Straight Line* for paralela (*Cav_Par_Straight_Line*) a linha de partição do molde ela será convertida em uma feature interna de faceamento (*Facing_Boring*) devido ao perfil ser perpendicular ao eixo de revolução da feature. Quando a *Cavity Straight Line* for perpendicular (*Cav_Per_Straight_Line*) a linha de partição do molde ela será convertida em uma feature horizontal interna de torneamento (*Horizontal_Boring*) por que o perfil, neste caso, é perpendicular ao eixo de revolução da feature. Se a *Cavity Straight Line* for em ângulo em relação a linha de partição do molde (*Cav_Taper_Straight_Line*) ela será convertida em uma feature interna cônica (*Taper_Boring*). A definição dos mecanismos de conversão de uma *Cavity Straight Line* está ilustrada na figura 5a. O mecanismo inicialmente irá pesquisar os perfis retos no banco de dados do modelo do produto, pegará cada perfil, seus objetos associados como tolerância e o material do inserto. Então converterá cada perfil *cavity straight* em faceamento interno, torneamento cilíndrico interno ou em um torneamento cônico utilizando os critérios descritos no início deste parágrafo.

Para transformar as features *cavity curve lines* em features de manufatura é necessário converter cada *Cavity Curve Line* (*Cav_Curve_Line*) em torneamento esferoidal interno côncavo ou convexo features de manufatura (*Concave_Boring* e/ou *Convex_Boring*). Se o ângulo de referência da *Cavity Curve Line* estiver entre 90 e 270 graus o mecanismo de conversão irá converter como sendo uma feature interna convexa (*Convex_Boring*), caso contrário ela será convertida em uma feature interna côncava (*Concave_Boring*) como ilustrado na figura 5b. O mecanismo inicia pesquisando as features *cavity curve lines* no banco de dados do modelo de produto e captura seus objetos associados com a tolerância e o material do inserto.

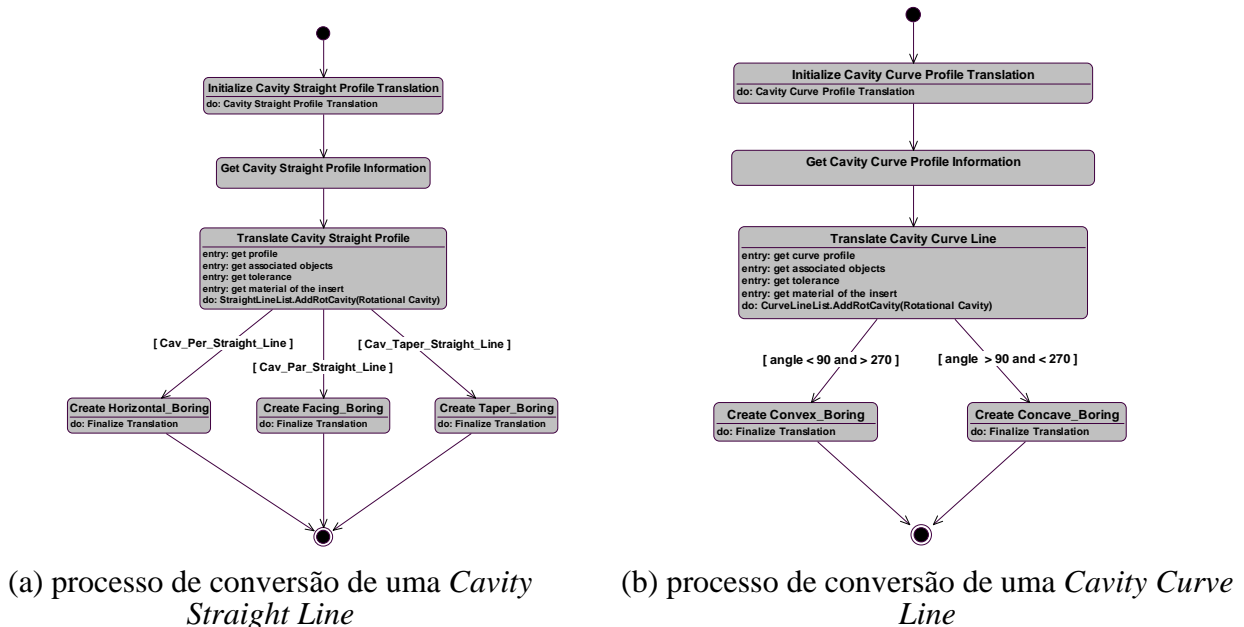


Figura 5 – processo do mecanismo de conversão das features

3. Discussão e Conclusão

Este artigo apresentou as necessidades de futuros sistemas de projeto de produtos precisam suprir os times de projeto através de ferramentas computacionais oferecendo suporte à diferentes vistas do produto. A vantagem de se utilizar modelagem de informações na forma de bancos de dados dos modelos de produto e manufatura como precursor para o suporte de decisões em um ambiente baseado em múltiplas vistas foi enfatizado. A pesquisa mostrou que é possível converter informações entre duas vistas uma vez que as relações de informações existentes entre as vistas foram definidas. Dependendo dos tipos de relacionamentos as informações poderão ser compartilhadas ou convertidas de uma vista para outra.

A conversão de informação é mais complexa que o compartilhamento, pois é necessário utilizar o conhecimento dos relacionamentos entre as vistas para se conseguir que as informações de uma vista ganhe significado na outra. A pesquisa mostrou a ligação entre a vista de projeto da peça plástica (*mouldability features*) e a vista do projeto do molde em termos de cavidade e macho (*cavity e core design features*) e também entre a esta última e a vista da manufatura do molde (*machining features*). Existe a necessidade de se estender esta pesquisa que possa oferecer uma interação maior do numero de vistas, como por exemplo, a vista de projeto funcional do produto plástico, projeto dos outros sistemas do molde (alimentação, resfriamento, ejeção, entre outros) e a vista de outros processos de fabricação como eletroerosão, retificação, entre outros. A exploração de “sets” de vistas promoveria um extensão do problema apresentado nesta pesquisa, isto é, a conversão de informação entre um numero maior que duas vistas. Teria um significativo valor em explorar os conceitos da pesquisa versus as alternativas de projeto e manufatura através de tipos mais complexos de peças plásticas injetadas.

Referências

- Al-Ashaab, A.H., 1994, A Manufacturing Model To Capture Injection Moulding Process Capabilities To Support Design For Manufacture, Ph.D. Thesis, Loughborough University, Department of Manufacturing Engineering.
- Allada, V., Anand, S., 1995, Feature-Based Modelling Approaches For Integrated Manufacturing: State-Of-Art And Future Research Directions, *Int. Journal Computer Integrated Manufacturing*, Vol. 8, Number 6, pp. 411-440.
- Boothroyd, G., Dewhurst, P., Knight, W., 1993, *Product For Manufacture and Assembly*, New York M. Dekker Inc.
- Boothroyd, G., Product design for manufacture and assembly. *Computer Aided Design*, 1994, 26(7), pp. 505-520.
- Chin, K.S. and Wong, T.N., Knowledge-based evaluation for the conceptual design development of injection moulding parts. *Engng Applic. Artif.Intell.*, 1996, Vol. 9, No. 4, pp. 359-376
- Fauvel, O.R., Object-oriented design for manufacture. *Journal of Intelligent Manufacturing*, 1994, Vol.5, pp.1-11.
- Fowler J. – STEP for Data Management, Exchange and Sharing. *Technology Appraisals Ltd.* 1995 – ISBN 1871802369.
- Gupta S.K., Regli W.C., Das D. and Nau D. S. – Automated Manufacturability Analysis: A Survey. *Research in Engineering Design*, 1997, 9, pp.168-190.
- Krause F.L., Ciesla M., Rieger E., Stephan M. and Ubrich A. – Features – Semantic Objects for the Integration of Tasks in the Product Development process. *Proceedings of the Computers in Engineering Database Symposium, ASME*, 1995.
- Krause, F.L., Kimura, F., Kjellberg, T., Lu, S.C.Y., Product Modelling. *Annals of the CIRP*, Vol. 42/2/1993.
- Lee, R.J.V, and Young, R.I.M., Information supported design for manufacture of injection-moulded rotational products. *International Journal of Production Research*, 1998, vol. 36, No 12, pp. 3347-3366.
- Lee, R.J.V., 1996, A Design For Injection Moulding Strategist In An Information Modelling Environment, Ph.D. Thesis, Loughborough University, Department of Manufacturing Engineering.
- Lee, R.S., Chen, Y.M. and Lee, C.Z., Development of a concurrent mould design system: A knowledge-based approach. *Computer Integrate Manufacturing Systems*, 1997, vol. 10, No. 4, pp. 287-307.
- Pratt M. J., “Application of feature recognition in the product life-cycle”, *International Journal of Computer Integrating Manufacturing*, 6(1-2), pp. 13-19, 1993.
- Rosenman, M.A. and Gero, J.S., Modelling multiple views of design objects in a collaborative design. *Computer-Aided Design*, 1996, Vol. 28, pp.193-205.
- Salomons O.W., Van Houten F.J.A.M., and Kais H.J.J. “Review of Research in Feature-Based Design”, *Journal Of Manufacturing Systems*, Volume 12/No 2, 1993.
- Salomons, O.W., Houten, F.J.A.M.V., Kais, H.J.J., 1993, Review Of Research In Feature-Based Design, *Journal of Manufacturing Systems*, Vol. 12, Number 2, pp. 113-132.
- Sanchez, J.M., Priest, J.W. and Soto, R., Intelligent reasoning assistant for incorporating manufacturability issues into the design process. *Expert Systems with Applications*, 1997, Vol. 12, No. 1, pp. 81-87.
- Willems, R., Lecluse, D., Kruth, J.P., 1995, Object Oriented Information Storage For The Design Of Injection Moulds, Knowledge Intensive CAD, Vol. 1, pp. 188-202, Proceedings of First IFIP WG 5.2, Finland.
- Wooldridge, M. and Jennings, N., Intelligent agents: Theory and practice. *The Knowledge Engineering Review*, 1995, Vol. 10, number 2, pp.115-152.