

-SOLUÇÕES COMPUTACIONAIS PARA PRODUTO/FERRAMENTARIA: Projeto de produtos de formas complexas e fabricação de cavidades de moldes

**Marlon Wesley Machado Cunico, marlon.cunico@cnh.com¹
Paulo Glockner, Paulo.glockner@cnh.com**

¹Altran Technologies, R. Pedro Ivo 298, ap. 23-Curitiba/PR

Resumo: Com o constante aumento da complexidade das formas dos produtos associado à redução de tempo de projeto e de lançamento de produto, ferramentas computacionais vem ampliando sua participação em diversas áreas da engenharia, como projetos e manufatura, exercendo, atualmente, papel fundamental no processo de desenvolvimento de produtos. Este artigo visa apresentar algumas dessas ferramentas computacionais que auxiliam projetistas e engenheiros em grande parte das fases e atividades do desenvolvimento de produtos, como projeto conceitual, projeto detalhado e produção. Estas técnicas possibilitam a criação e correção de modelos 3D de forma rápida e simples, realização de análises de produto tanto em aspectos construtivos quanto em aspectos ergonômicos e visuais, reduzindo desta forma erros de projeto e tempo de lançamento de produto. Projeto de cavidades e componentes de molde, assim como o planejamento e simulação da fabricação, também são contemplados por estas soluções computacionais, aumentando a confiabilidade de projeto e otimizando os processos envolvidos com estas atividades. Neste trabalho são apresentadas algumas ferramentas empregadas na modelagem e análise de produtos, como Rapid Blue, uma nova técnica de modelagem 3D, onde cujos benefícios e exemplos de aplicação também são apresentados. Em seguida são definidas algumas características e ferramentas necessárias à geração de cavidades, assim como o projeto de moldes e seus componentes. Serão também apresentadas algumas soluções relacionadas ao planejamento, simulação e interface de fabricação de produtos e moldes, ambos usinados ou fabricados por eletroerosão a fio.

Palavras-chave: Moldes, projeto manufatura

1. INTRODUÇÃO

As necessidades da indústria têm direcionado as empresas de desenvolvimento de soluções computacionais, que buscam por ferramentas que minimizem as dificuldades encontradas pela indústria. Um dos principais fatores que têm contribuído para as fortes mudanças ocorridas nos processos de projeto e manufatura é o aumento da complexidade de forma dos produtos.

Uma solução para essas mudanças, são simulações computacionais, que exercem papel fundamental no processo de desenvolvimento de produtos, atuando em um grande número de etapas do desenvolvimento de produtos, como em projeto de produtos, através de sistemas CAD (Computer Aided Design); em planejamento de ciclo de vida e portfólio, e retirada de produto, através de PLM (Product Life-cycle Manager) e em processos de fabricação, através de CAM (Computer Aided Manufacturing); entre outros (SIEMENS, 2007).

Este trabalho tem por objetivo mapear algumas soluções computacionais que podem ser empregadas na área de ferramentaria, principalmente na obtenção de cavidades de moldes de injeção de plástico. Estas soluções, apresentadas ao longo deste trabalho, abrangem desde o projeto conceitual, engenharia de produto/ferramental e engenharia de manufatura.

2. SOLUÇÕES PARA PROJETO CONCEITUAL

Nos mais diversos setores, design de produto é responsáveis pelas mais importantes características diferenciais neste, visto que afetam a aparência, forma, função e estilo do produto (SIEMENS, 2007).

Além dos recursos que já estão intrínsecos aos modeladores híbridos, como modelagem por: a) geometrias primitivas (cilindros, cones, esferas, ...); b) geometrias de revolução; c) geometrias de transição entre outras geometrias com uma ou mais secções e caminhos guias; d) modelamento de superfície; e) geometrias de arredondamento; existem recursos baseados em modelamento de superfície livre (free form surface), através dos quais a

modelagem pode ser baseada em imagens, convertendo qualquer forma geométrica em NURBS (Non-Uniform Rational B-Spline), permitindo um controle da continuidade da superfície.

2.1. Modelagem por *Rapid Blue*

Este recurso de modelamento foi gerado como uma solução intermediária entre as modelagens baseadas em sólidos e as baseadas em superfícies livres, como mostra a Fig. 1 (UGS, 2004).

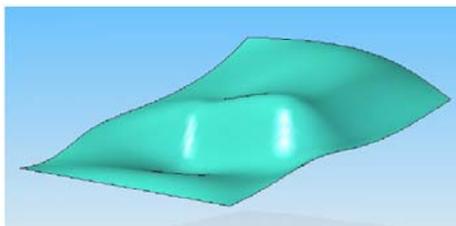


Figura 1- Representação de superfície livre

Seu conceito baseia-se em conectar diversas curvas e perfis (de base de criação bi-dimensional e tri-dimensional) criando pontos de interseção, chamados pontos azuis (blue dot), apresentado na Fig. 2. Estes pontos podem ser manipulados como superfícies livres, enquanto os demais perfis, como formas paramétricas. Este recurso quebra paradigmas entre 2d e 3d.

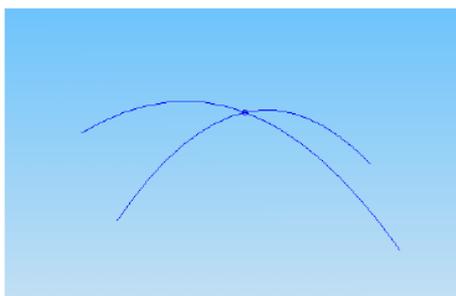


Figura 2 - Representação de Blue Dot

Após fazer essa conexão entre os pontos que devem se comportar como superfície livre, pode-se gerar uma superfície de dimensões $n \times m$, a partir das curvas geradas, chamada superfície azul (blue surf) e apresentada na Fig. 3 (UGS, 2004).

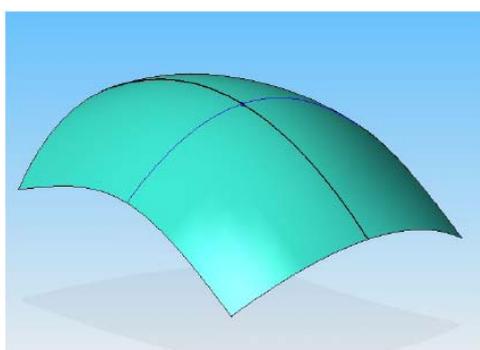


Figura 3 - Representação de Blue Surf, superfície 1x1

Este método de modelagem se baseia em curvas NURBS formadas por três tipos de pontos: a) pontos editáveis; b) pontos de vértice; c) pontos de silhueta; Fig. 4 (UGS, 2004).

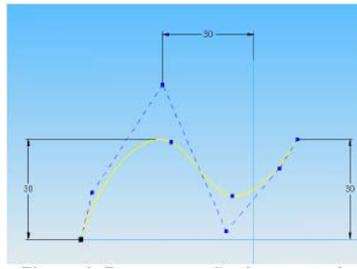


Figura 4 - Representação de pontos de amarração de NURBS em Rapid Blue

Também é possível partir de geometrias analíticas convencionais (circunferência, semi-reta, elipse, etc) e converter estas em curvas (UGS, 2004), podendo, assim, modificar geometrias “quadradas”, definidas anteriormente, transformando as em formas mais orgânicas, Fig. 5.

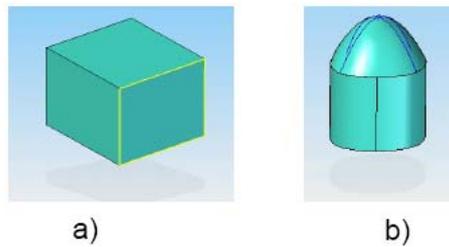


Figura 5 - Representação de transformação de geometrias analíticas em NURBS, onde "a" é a geometria analítica, enquanto "b" é a geometria transformada em NURBS

2.2. Análise de Continuidade de Superfície

Para manter a continuidade de superfície, verifica-se o alinhamento dos vetores normais à superfície e o módulo de curvatura em cada ponto. Desta forma se pode simular a incidência da luz sob a superfície. Este tipo de análise é chamado de listras de zebra (Zebra Stripes), devido a sua aparência (SOLIDWORKS, 2002), apresentada na Fig. 6.

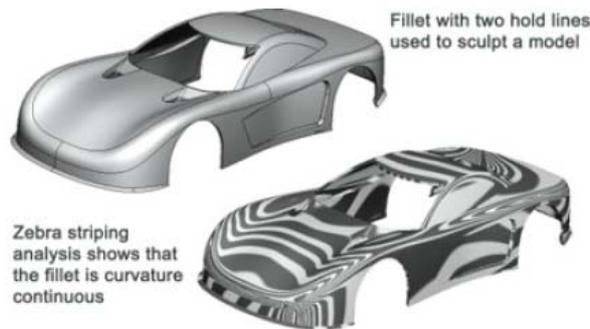


Figura 6 - Demonstração do uso de zebra stripes em continuidade de geometria de carro

Pode-se, também, visualizar este desalinhamento em curvas, podendo corrigir esta discrepância igualando e ou alinhando os vetores normais, tornando, assim, a transição entre elas mais suave, Fig. 7 (SOLIDWORKS, 2002).

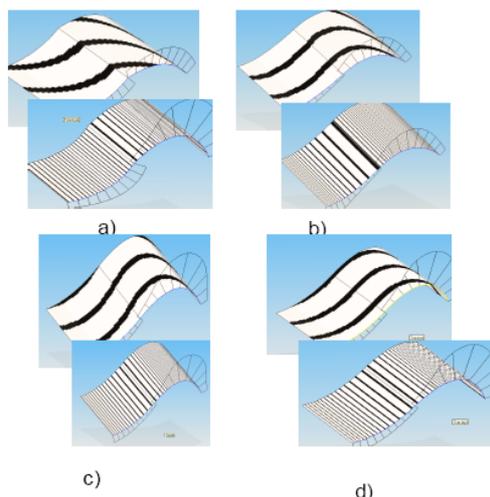


Figura 7 - Representação do emprego de zebra stripes e curvatura combo por tipos de tangência entre duas superfícies: a) sem tangência; b) vetores alinhados; c) vetores igualados; d) vetores alinhados e igualados.

3. SOLUÇÕES PARA PROJETO DE PRODUTO/FERRAMENTAL

Na fase de projeto detalhado, seguinte ao projeto conceitual, no processo de desenvolvimento de produto, existe a necessidade de fabricar componentes e ferramentas de manufatura (ROZENFELD *et al.*, 2006). Essa necessidade é atendida pelo projeto de produto ou ferramental. Nesta fase se procura projetar dispositivos que suportem o processo de manufatura, principalmente para projeto de peças plásticas. Neste caso, o mais comum processo utilizado é o de moldagem (CALLISTER, 2003).

As várias técnicas de moldagem utilizadas incluem a moldagem: por compressão, por transferência, por sopro, por injeção e extrusão. Para cada um, um plástico finamente pelotizado ou granulado é forçado, numa temperatura e pressão elevada, a escoar para dentro de uma cavidade do molde, para preenchê-lo e assumir a sua forma (CALLISTER, 2003).

3.1. Projeto de Molde

Moldagem por injeção é uma das técnicas mais usadas para a fabricação de materiais termoplásticos (CALLISTER, 2003). Uma seção reta esquemática do equipamento usado está ilustrada na Fig. 8.

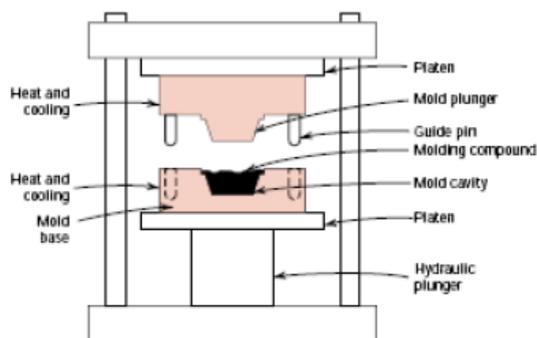


Figura 8 - Representação simples de molde

A quantidade correta de material pelotizado é alimentada a partir de um silo de carregamento para dentro de um cilindro, através do movimento de um êmbolo ou pistão. Esta carga é empurrada para a frente para dentro de uma câmara de aquecimento, onde o material termoplástico se funde para formar um líquido viscoso. A seguir, o plástico fundido é novamente conduzido através de um bocal para dentro da cavidade de um molde vedado; a pressão é mantida até que o material em moldagem tenha se solidificado. Finalmente, o molde é aberto, a peça é ejetada, o molde é fechado e todo o ciclo é repetido (CALLISTER, 2003).

Para projeto de moldes são necessárias: a) recursos de projeto de cavidades, b) recursos de projeto de componentes de molde (SOLIDWORKS, 2004; SIEMENS, 2007).

3.1.1. Projeto de Cavidade de Molde

Para a geração de cavidades, são necessárias basicamente, ferramentas de determinação e ou criação de linha de partição, ângulo de saída, superfície de separação e subtração booleana entre sólidos. É interessante poder modificar modelos importados de outros sistemas, ou de arquivos neutros, por ainda não estar disponível a árvore de operações destes e daqueles (SIEMENS, 2008b).

Um recurso muito utilizado é geração da linha de partição a partir da silhueta mais externa da peça, criando a partir desta uma aresta, Fig. 9 (SIEMENS, 2008b).

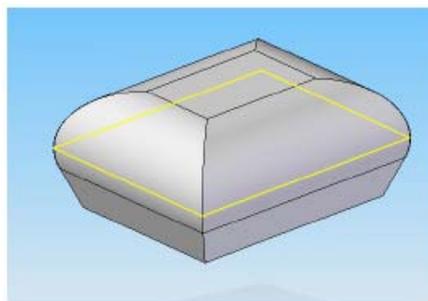


Figura 9 - Representação de extração de linha de partição

Esta aresta serve de base para a criação da superfície de separação e, da mesma maneira, para a geração de ângulos de saída, Fig. 10, quando o projeto conceitual não contempla estes requisitos de projeto, podendo ser verificados através de análise de ângulos de saída Fig. 11 (SOLIDWORKS, 2004).

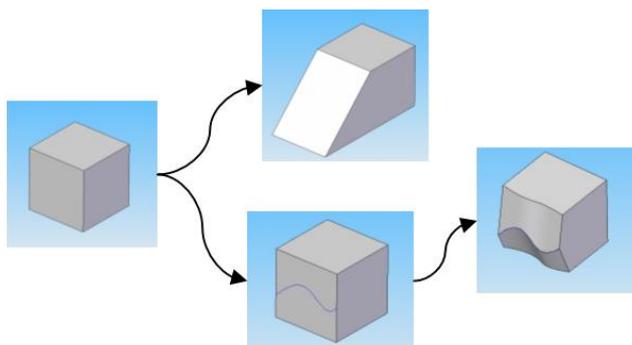


Figura 10 - Criação de linha de partição a partir de arestas, superfície de partição, e linha de partição

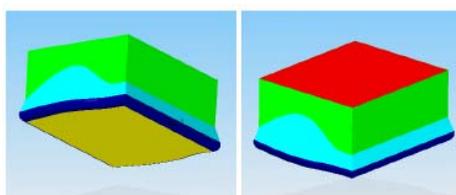


Figura 11 - Representação de análise de ângulo de saída, onde em verde é representada faces verticais, em vermelho faces positivas, em amarelo faces negativas, em ciano, faces entre 0 e ângulo determinado por usuário, e em azul faces com parte negativa e positiva

Após determinar a linha de partição e a superfície de separação, é subtraída a peça, que pode ter fator de contração em todos os sentidos, da cavidade bruta, assim como separada em uma fase posterior, pela divisão criada pela superfície de separação, conforme Fig. 12. Esta superfície pode também, ser utilizada para geração de gavetas e insertos, embora existam recursos específicos para isso (SOLIDWORKS, 2004).

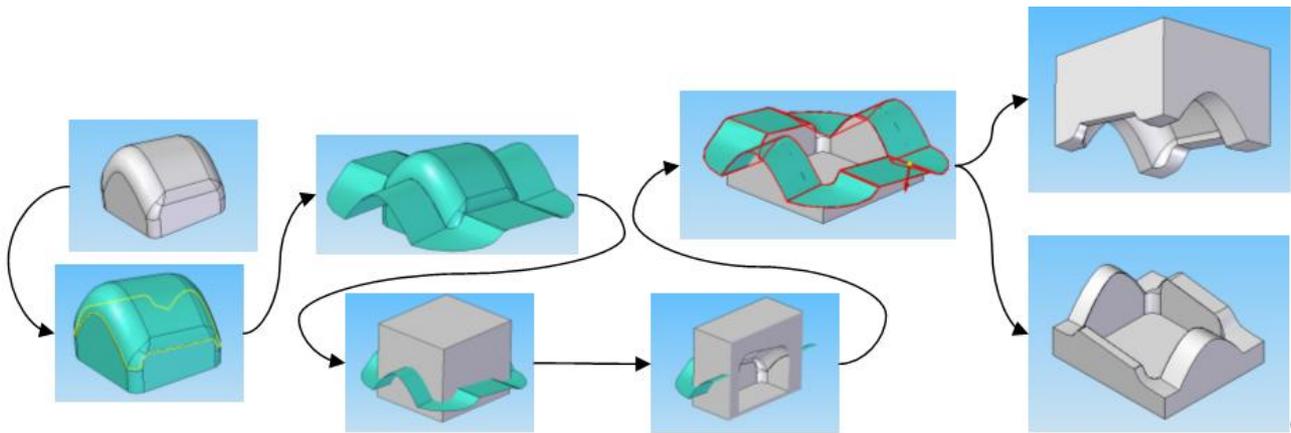


Figura 12 – Representação do processo de geração de cavidades a partir de um modelo CAD.

3.1.2. Projeto de Componentes de Molde

A geração dos componentes de molde devem considerar a inclusão de diversos componentes na composição do molde, desta forma, devem ser gerados canais de refrigeração, distribuição e injeção a partir do produto modelado, assim como inserção de gavetas, pinos-ejetores, canais de alimentação, canal de injeção, parafusos, pinos-guia, travas, entre outros componentes padronizados, conforme Fig. 13 (SIEMENS, 2007).

Para o desenvolvimento desses componentes é importante que haja previamente uma biblioteca com os principais dispositivos e componentes padrões, como DME, Hasco, Futaba, LKM, Misumi, JK, existindo a possibilidade de personalização pelo projetista. Posicionando-os automaticamente, ou por fácil posicionamento.



Figura 13 - Representação de componentes de molde, padrão JK

Deve-se permitir fácil criação de canais de refrigeração e alimentação, e ejeção, conforme Fig. 14.

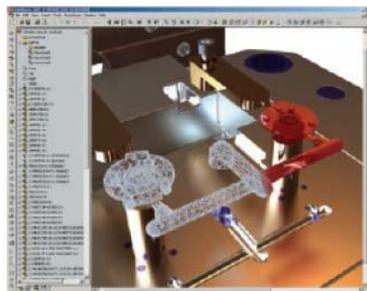


Figura 14 - Representação de canais de refrigeração, alimentação, e injeção, modelados em Solid Works

3.2. Projeto de Eletrodo para Eletroerosão

A aplicação de eletro erosão se destina às formas de cavidades que apresentam maiores dificuldades de fabricação pelo processo de usinagem, principalmente em furos de grande diâmetro e comprimento, assim como em formas muito pequenas (KOSHAL, 1993).

Uma solução empregada atualmente no projeto de eletrodos se baseia em seleção de fronteira (arestas, rascunhos, curvas), sólidos, faces e superfícies do modelo para a criação da ponta do eletrodo, e a partir deste ponto criando mais fácil e intuitivamente outras partes do eletrodo, facilitando a geração de documentos, permitindo a geração de eletrodos simples e compostos, conforme Fig. 15 (SIEMENS, 2008b).

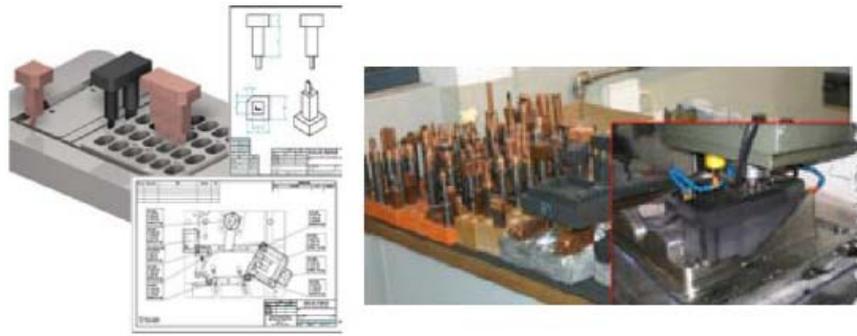


Figura 15 - Representação de modelo computacional de eletrodos, documentação, e eletrodos no chão de fábrica

4. SOLUÇÕES PARA PROJETO DE MANUFATURA

Nesta subfase do projeto detalhado é especificado como será fabricada a peça, sendo normalmente utilizados sistemas CAM (Computer Aided Manufacturing) que são utilizados no desenvolvimento e escrita de programas para máquinas CNC (Computer Numerical Control), sendo interessante a integração destes dois sistemas aos sistemas CAPP (Computer Aided Process Planning), que auxilia na obtenção de parâmetros de processo (LEONDES, 2001; ROZENFELD *et al.*, 2006).

Os sistemas CAM permitem a maior complexidade de formas no processo de fabricação, aumentando a eficiência, por diminuir o tempo de programação, tempo de usinagem e aumentando o tempo de vida da ferramenta.

Para atender as necessidades do cliente, é necessário alinhar os recursos CAM com os recursos dos CNC, tal como funções para usinagem em altíssimas velocidades, HSM (high speed machines), usinagem em cinco eixos e equipamentos multifuncionais (fresamento e torneamento) (SIEMENS, 2008a).

Além dos recursos CAM estarem alinhados aos CNC, deve-se ter associatividade entre soluções CAM, CAD, CAPP, entre outros (LEONDES, 2001; ROZENFELD *et al.*, 2006 ; SIEMENS, 2007).

Os sistemas CAM buscam automatizar a definição de trajetórias, escolhas de ferramenta e condições de corte, a partir de entradas de informações básicas, reaproveitando parâmetros predefinidos (ROZENFELD *et al.*, 2006 ; SIEMENS, 2007).

Pode-se gerar trajetórias e a sua simulação, criando o programa NC (Numerical Control) a partir de: a) modelos sólido; b) operações (features); c) superfícies; d) curvas; e) pontos; f) nuvem de pontos, largamente utilizada em engenharia reversa; g) e através da seleção de cores e layers (camadas), como geometrias de peça, como é exemplificado na Fig. 16.

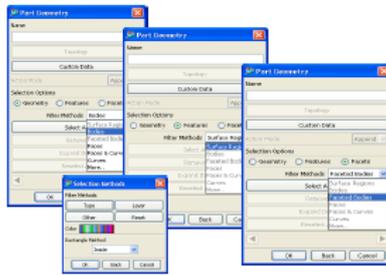


Figura 16 – Representação de menus de seleção de geometria de corte (peça) em NX 3

Da mesma forma, pode-se proceder na definição da geometria de matéria-prima, e sua fixação, com: a) geração de bloco automático, que baseia a matéria-prima a partir de pontos mais externos da peça, podendo modificar sobremetal em qualquer face do bloco; b) geração de sobre-metal de peça, para peças fundidas ou forjadas, conforme Fig. 17.

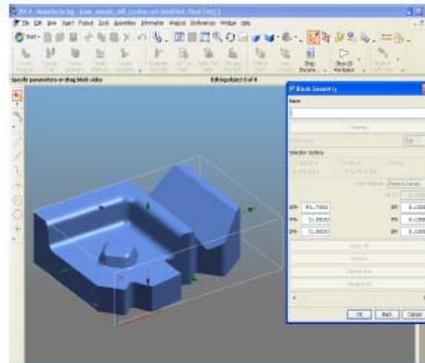


Figura 17 - Representação de seleção de matéria-prima por bloco automático

Para seleção de ferramenta se deve ter opção de criação de ferramentas, desde ferramentas simples até de grande complexidade, podendo ser armazenadas em biblioteca, simulando o magazine do CNC, conforme Fig. 18. Isto aproxima a realidade de chão de fábrica ao projeto de manufatura, garantindo redução de tempo e repetibilidade.

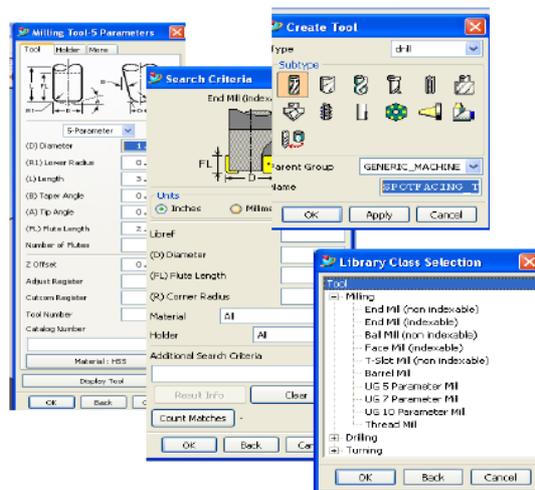


Figura 18 - Ilustração de menus seleção de ferramentas, e biblioteca de ferramentas em NX3

As condições de corte podem ser amarradas ao método de desbaste, ferramenta, operação, e tabelas. Além dessas amarrações, pode-se criar um banco de dados onde é selecionada, automaticamente, a condição ideal para cada combinação de parâmetros: a) material da peça; b) características e material de ferramenta; c) máquina; d) método de desbaste.

Um sistema CAM deve atender características específicas de comando de máquina, funções auxiliares, assim como simular mecanismo de máquina, aspectos fundamentais para usinagem em cinco eixos. Um exemplo de simulação de máquina em usinagem cinco eixos é apresentado abaixo na Fig. 19.



Figura 19 - Representação de simulação de usinagem contemplando mecanismos de máquina ferramenta

A geração de trajetórias é feita a partir de métodos pré-definidos e customizáveis. Cada estratégia apresenta sua peculiaridade em operações de desbaste, re-desbaste, semi-acabamento, acabamento, ou furação.

4.1. Operações de desbaste

Para operações de desbaste são utilizadas diversas estratégias, sendo que, abaixo, estão sendo apresentadas as principais: a) raster zig-zag; b) raster zig; c) raster zig com contorno; d) raster periférico; e) raster de contorno; f) raster trocoidal; g) raster de perfil; h) desbaste por movimentos verticais; conforme apresentada na Fig. 20.

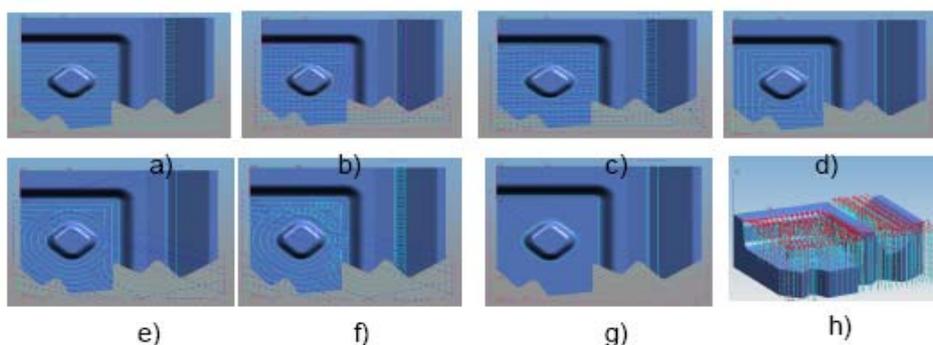


Figura 20 - Representação de Estratégias de desbaste

Cada estratégia apresenta parâmetros que permitem controlar entradas e saídas da ferramenta, direção de corte, verificar colisão de dispositivo de fixação da ferramenta, entre outros. São apresentados alguns exemplos de parâmetros na Fig. 21. É possível selecionar parâmetros que permitam que a próxima operação possa identificar o passe de desbaste anterior.

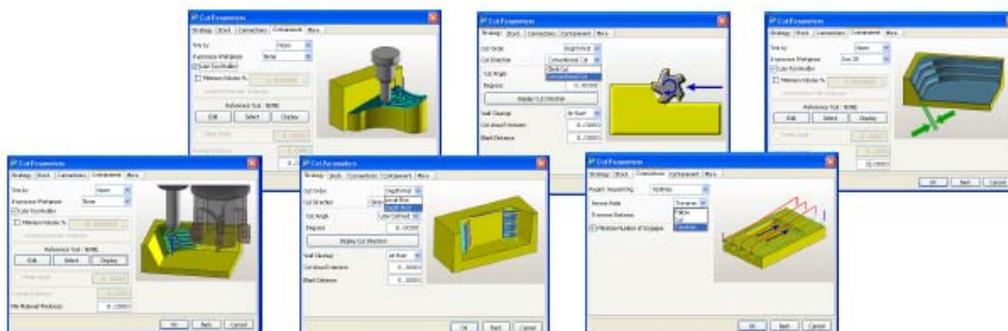


Figura 21 - Exemplos de parâmetros de configuração de estratégias de desbaste

4.2. Operações de semi-acabamento e acabamento

As operações de semi-acabamento e acabamento, são, basicamente, divididas em: a) desbaste de superfícies verticais; b) desbaste de superfícies horizontais; c) desbastes de superfícies de transições (*fillets*); como é apresentada na Fig. 22.

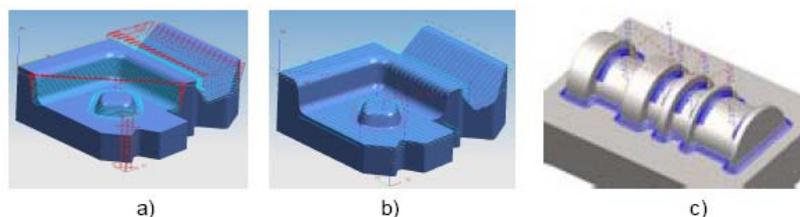


Figura 22 - Exemplo de tipos de acabamento

Deve-se enfatizar a possibilidade de customização de trajetórias de acabamento através de perfis de base. Isto proporciona um acabamento mais adequado ao produto.

5. CONCLUSÕES

Apesar das soluções computacionais já existentes para ferramentaria, ainda há necessidades a serem supridas (PAHL *et al.*, 1993). Contudo aquelas proporcionam imensa contribuição que aceleram o lançamento de produtos, ampliando a complexidade destes. É importante, também, interligar banco de dados para todas as fases de desenvolvimento de produto, permitindo maior participação de todas as partes envolvidas.

Utilizam-se, atualmente, para suprir lacunas de necessidade da indústria, soluções combinadas, onde se aplicam benefícios de cada recurso, buscando-se, também, acompanhar o desenvolvimento tecnológico de processos.

Estes processos são auxiliados por ferramentas de análise, planejamento de processo, e de processo de manufatura, ampliando a confiabilidade, qualidade e agilidade do processo.

Estas análises auxiliam na correção e geração do modelo de produto, em CAD/CAE, preparação do processo de criação de eletrodos, cavidades de molde e componentes de molde, em CAD, e fabricados com auxílio de CAM.

6. REFERÊNCIAS

Callister, W. D., 2003, "Materials Science and Engineering: an Introduction", John Wiley & Sons, Inc., 1619 p.

Koshal, D. (Ed.), 1993, "Manufacturing Engineer's Reference Book", Butterworth-Heinemann Ltd, 885 p.

Leondes, C. (Ed.), 2001, "The Design of Manufacturing Systems", CRC Press LLC, 292 p.

Pahl, G., W. Beitz, K. Wallace, *et al.*, 1993, "Engineering Design: A Systematic Approach ", Springer, 397 p.

Rozenfeld, H., D. C. Amaral, D. H. Alliprandini, *et al.*, 2006 "Gestão de Desenvolvimento de Produtos: Uma Referência para a Melhoria do Processo ", Saraiva, 542 p.

Siemens, 2007, "NX Overview", Siemens PLM Software, agosto de 2008 <www.plm.automation.siemens.com/en_us/Images/nx%20overview%20broch...>.

Siemens, 2008a, "NX CAM Express: Delivering machine tool value", Siemens PLM Softwar, agosto de 2008 <www.plm.automation.siemens.com/en_us/Images/8176_tcm53-5001.pdf>.

Siemens, 2008b, "Velocity Series", Siemens PLM Software, agosto de 2008 <www.plm.automation.siemens.com/en_us/Images/6060_tcm53-4981.pdf>.

Solidworks, 2002, "How to improve freeform modeling with SolidWorks", SolidWorks Corporation, agosto de 2008 <http://www.solidworks.com/swexpress/april/200204_techtip_01.cfm?1>.

Solidworks, 2004, "JK Mold Design: " SolidWorks, agosto de 2008 <files.solidworks.com/casestudies_eng/pdf/jk%20mold%20design.pdf>.

Ugs, 2004, "Rapid Blue: a new paradigm for complex shape design", UGS Corporation, agosto de 2008 <www.ingenea.com/Downloads/whitepapers/se_rapid_blue_wpHR22c.pdf>.