

parametric parts
Rozenfeld

Aplicação de uma solução CAPP para peças parametrizadas: um caso prático

A utilização do sistema CAPP (de computer aided process planning) dá mais agilidade e qualidade aos planos de processo. Este artigo apresenta o resultado obtido com o uso deste sistema na fabricação de bronzinas automotivas, que são peças parametrizáveis.

Henrique Rozenfeld, Carlos E. S. Ribeiro, Haroldo T. Kerry Jr. e Eduardo Pieber

A competitividade cada vez mais acirrada e globalizada tem forçado as empresas a desenvolverem produtos com maior qualidade em menor tempo. Para isto, elas passaram a utilizar tecnologia de ponta na manufatura de seus produtos, adotando técnicas que envolvem desde a concepção do produto até a sua efetiva produção. O processo de desenvolvimento de novos produtos é vital neste contexto.

Atualmente aplicam-se várias ferramentas

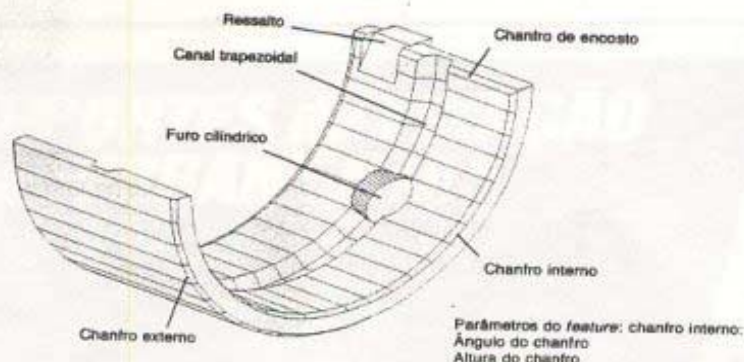
para se encurtar os ciclos de desenvolvimento de produtos, garantindo-se, ao mesmo tempo, mínimo custo e maior qualidade. As tecnologias mais conhecidas e utilizadas são CAE, CAD e CAM. Atualmente se aplicam também sistemas PDM (de *product data management*) para gerenciamento do ciclo de desenvolvimento. Estas ferramentas, no entanto, devem ser utilizadas em conjunto com técnicas e métodos apropriados para que o sucesso de sua implantação seja garantido.

A aplicação do CAD de maneira sistematizada, ou seja, com o apoio de uma estratégia de gerenciamento de desenhos e recuperação de informações, juntamente com técnicas para levantamento de padrões e objetos parametrizáveis, mostra-se produtiva. Assim também acontece com o CAM, quando se definem programas automáticos para realizar operações repetitivas e se tem uma base de dados de ferramentas e condições de corte organizada.

Existe, entretanto, uma lacuna entre o CAD e o CAM: a geração de planos de processo, que são essenciais para uma série de departamentos da empresa. A tarefa de elaborá-los e mantê-los atualizados é um gargalo em muitas fábricas.

A aplicação de sistemas CAPP (de compu

Fig. 1 - Exemplos de features de bronzinas



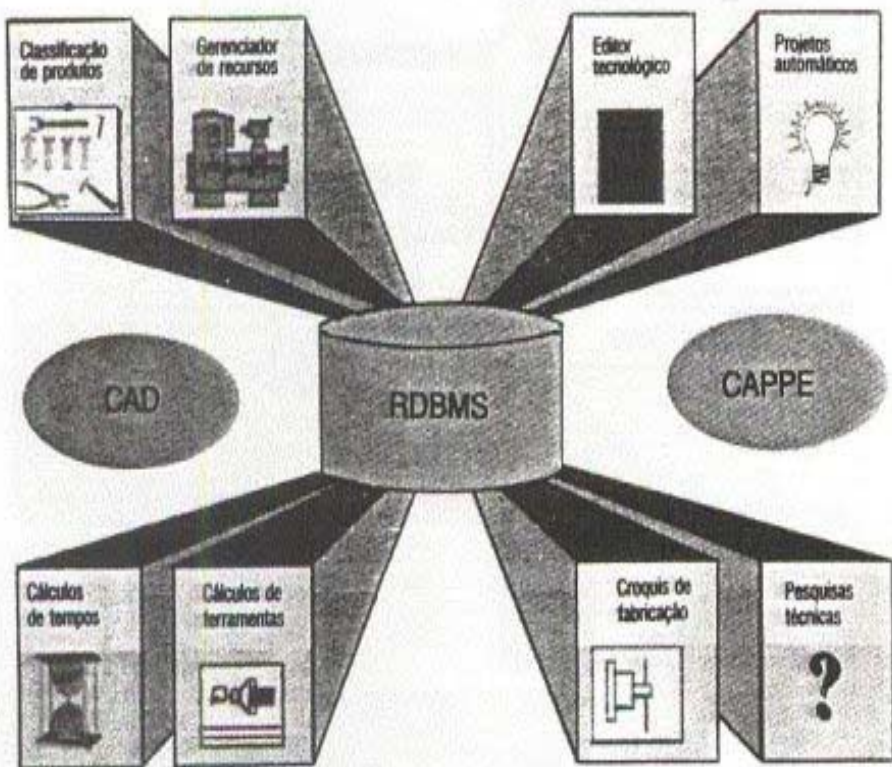


Fig. 2 - Sistemas do ambiente CAPPE customizado para a Metal Leve

ter aided process planning) cobre esta lacuna, dando maior agilidade e qualidade à geração das informações contidas nos planos de processos. Cada empresa, porém, possui uma cultura particular de criação, documentação e emissão de planos de processos. Desta forma, é necessária a implantação de um sistema CAPP flexível que se adapte ao ambiente em que ele está inserido. Até hoje esta tecnologia foi pouco difundida devido às suas limitações, pois cada usuário tem necessidades específicas de processo. Com o advento das arquiteturas cliente-servidor e a popularização do padrão GUI (de graphical user interface),

no entanto, já se consegue desenvolver sistemas CAPP realmente flexíveis.

Aqui apresentamos um caso prático da aplicação da tecnologia CAPP no Brasil, com ênfase no planejamento de peças parametrizadas, que é um dos possíveis métodos de planejamento. Esta aplicação aconteceu em uma indústria mecânica de autopeças de alta produtividade e qualidade fabril.

EMBASAMENTO TEÓRICO

Aqui serão apresentadas apenas as informações importantes para se mostrar qual foi a solução CAPP adotada dentre as opções possíveis (maiores detalhes estão disponíveis na bibliografia citada ao final do artigo).

O planejamento de processo é uma atividade de engenharia que transforma as informações de projeto em sequência de operações, lista de equipamentos e ferramentas, tempos de usinagem e preparação, croquis de set-up de máquina, croquis de qualidade, entre outras informações.

O plano de processo influencia diretamente uma série de atividades da empresa. Um exemplo é a determinação da carga-máquina no PCP (planejamento e controle da produção), que utiliza a sequência de operações e seus tempos. A sequência de operações é essencial para os sistemas de PCP que trabalham com ordens de produção. No chão-de-fábrica, o plano de processo indica ao operador qual o

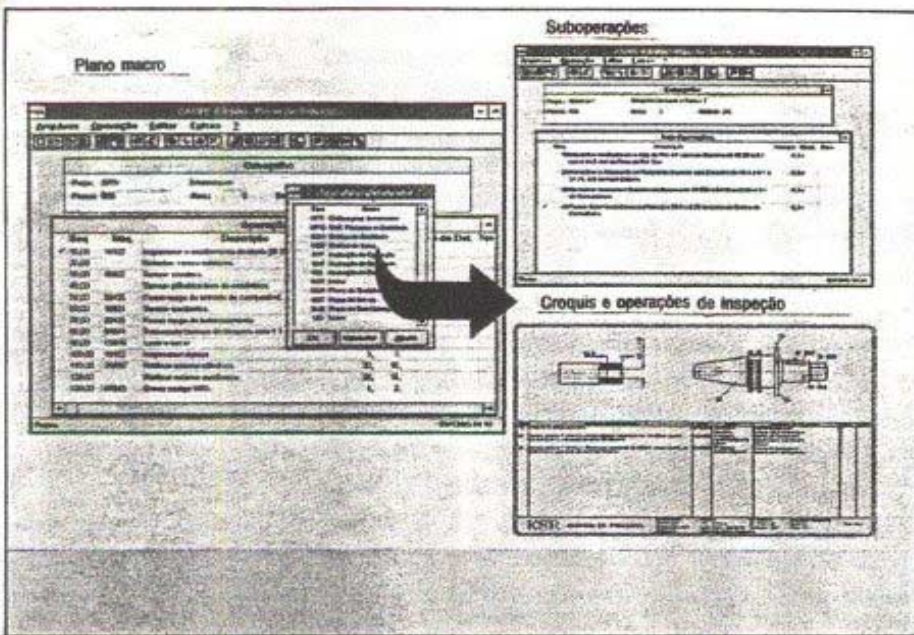


Fig. 3 - Plano macro e seus detalhes com o ambiente CAPPE

melhor método de confecção de um produto. Tal plano tem influência direta na qualidade, pois fornece informações precisas sobre os operadores e os métodos de inspeção ou controle. Além disso, com os planos de processo é possível estudar os fluxos de peças fabricadas, escolher novos layouts ou montar células de fabricação através da análise do fluxo.

Finalmente, o plano de processo influi também no planejamento estratégico, na simulação de futuras demandas baseadas na previsão de vendas, na necessidade de contratação de pessoal, na compra de material e equipamentos e até na ampliação das instalações.

Normalmente um plano de processo tem dois níveis de detalhamento:

- Plano de processo resumido ou macro (*process plan*) - Este documento apresenta um resumo das operações, equipamentos necessários e tempos de fabricação. Esta etapa do planejamento do processo tem como função básica obter as informações necessárias ao PCP.

- Detalhamentos (*operation plan*) - A etapa de detalhamento tem por objetivo fornecer aos operadores e preparadores de máquinas todas as informações necessárias à fabricação de um produto. Deste modo, consegue-se atingir um nível de qualidade e produtividade dentro das necessidades planejadas pela engenharia. Dentre os tipos de detalhamentos encontram-se os croquis de fabricação, controle e preparação de máquinas e ferramentas, instruções de qualidade, preparações, subope-

rações e qualificação de operadores, listas de ferramentas, fotos, vídeos, entre outros.

Para emitir um plano de processo, principalmente se for detalhado, é necessário realizar diversas funções básicas. As principais são: cálculos de tempos produtivos e improdutivos, cálculos de condições de usinagem e montagem, especificações de ferramentas e vida planejada, especificações dos métodos de fabricação e inspeção e geração de croquis.

Para gerar as informações descritas acima, o processista (técnico ou engenheiro que confecciona o plano de processos) realiza quatro ações básicas: escrever, recuperar informações (verificar se uma ferramenta pode ser adaptada em uma máquina ou encontrar uma máquina através de um catálogo), calcular e pensar. Conforme estudos, sabe-se que 60% do tempo é empregado em escrever o plano de processo e 20% em recuperar informações. Ou seja, 80% do tempo é dedicado a tarefas burocráticas e repetitivas que não agregam valor ao processo.

Os sistemas de apoio ao planejamento do processo (CAPP) buscam cada vez mais organizar e agilizar as atividades descritas acima, além de efetuar cálculos e decisões, aumentando a precisão das informações geradas.

Alguns dos sistemas CAPP existentes são:

- **Interativo** - O CAPP interativo confecciona um plano a partir do zero, ou seja, implementa-o a partir de uma "folha em branco". Este tipo de sistema CAPP é bastante utilizado onde os planos de processo não possuem dados semelhantes que permitam reaproveitamentos de informações. Ele possibilita a geração de qualquer plano de processo, porém o tempo de sua confecção não é muito satisfatório. Um aumento da produtividade e da qualidade com este tipo de sistema pode ser promovido pela utilização de padrões de planejamento.

- **Variante** - Um sistema variante permite encontrar e copiar um plano semelhante que sirva de base ao novo plano de processo. Este plano pode ser obtido a partir de um produto com geometria próxima à do produto original ou através da parametrização de planos de produtos semelhantes em famílias. Com isso, se consegue uma padronização maior dos planos de processo e uma elevada velocidade de geração de planos de processo. As

alterações ou ajustes nos planos de processo podem ser realizados utilizando o sistema CAPP interativo.

- **Automático** - O sistema CAPP automático gera um plano de processo a partir do reconhecimento de *features* e do processamento de regras ou algoritmos baseados nos *features*. Os *features*, de maneira simplificada, podem ser considerados como a descrição técnica e geométrica de regiões de um produto, normalmente gerada por um sistema CAD. Tal sistema pode gerar informações de alta precisão em velocidades elevadas, mas raramente é abrangente, sendo, por isso, mais aplicável a indústrias com itens muito semelhantes e de baixa complexidade. Um grande problema desta opção é o tempo de implantação elevado, somado à dificuldade de se levantar a "inteligência", ou seja as regras do sistema automático. Esta "inteligência" deve ser flexível para se ajustar às constantes alterações de ferramentas, projetos, materiais, máquinas e técnicas de produção.

Aqui é apresentado o sistema CAPP híbrido, que reúne vantagens dos três tipos de sistemas mencionados acima. Neste caso, ele foi

utilizado para confeccionar os planos de processo de produtos que possam ser parametrizados.

Os produtos parametrizados considerados neste artigo podem ser agrupados dentro de uma família ou conjunto com semelhanças entre seus componentes, mas com a possibilidade de serem inteiramente descritos por parâmetros. Estes parâmetros descrevem regiões específicas dos produtos, que podem ser tratadas de *features*. Os produtos em questão estão organizados em famílias, podendo então usufruir dos recursos do sistema CAPP variante. As descrições dos *features* permitem que sejam acionadas regras e algoritmos do CAPP automático. Em qualquer modificação ou atualização podem ser utilizados os padrões armazenados no sistema, obtendo-se a flexibilidade dos sistemas interativos, além de agilidade e qualidade, graças aos padrões utilizados.

REQUISITOS A SEREM ATENDIDOS

A Metal Leve S.A., que fabrica bronzinas automotivas, decidiu construir a unidade CAP (célula de alta produtividade) para fabricar o

o dentro de rigorosos padrões de qualidade e produtividade.

O objetivo traçado para o sistema CAPP é o de manter um eficiente controle das informações de fabricação da célula CAP e permitir alta velocidade e precisão na geração destas informações. A empresa concluiu que para atender a estes requisitos era necessária uma integração com o desenvolvimento do produto. Neste sentido, surgiu o primeiro requisito: classificar e parametrizar a bronzina.

A bronzina é um produto que pode ser classificado como parametrizável. Cada bronzina contém em torno de 10 *features*, cada um com cerca de cinco parâmetros. No total, são 50 parâmetros capazes de descrever os aspectos técnicos e geométricos da peça. Na figura 1 estão mostrados exemplos de alguns *features*.

Outro requisito importante para a empresa era a geração automática dos desenhos de produção das bronzinas. Uma vez que os dados de produtos foram parametrizados, o desenho de produção da bronzina deveria ser gerado de maneira automática a partir dos dados armazenados para cada peça. Além disto, o sistema adotado teria de garantir os controles de versões e revisão necessários para a rastre-

abilidade do produto.

Uma das funções críticas do planejamento do processo é o desenvolvimento de ferramentas e dispositivos de usinagem e fixação. No caso das bronzinas são necessários cálculos de cerca de 70 ferramentas. O sistema CAPP deve, portanto, ler os dados das bronzinas que já estão disponíveis em forma de *features* e calcular todas as ferramentas necessárias para fabricar uma peça específica.

Para evitar desperdícios com compras de ferramentas e dispositivos já existentes na unidade CAP, o sistema escolhido deveria permitir pesquisar sobre os diversos parâmetros todas as ferramentas já compradas ou construídas.

Cabe ao processista definir e estudar melhor a ferramenta para executar uma operação de fabricação. Esta atividade deveria se restringir à pesquisa da melhor ferramenta, uma vez que todas as ferramentas e dispositivos da célula CAP são dedicados à máquina e à operação. O sistema CAPP deve desenhar automaticamente as ferramentas específicas para uma bronzina, logo após o cálculo de suas especificações técnicas. Sob o ponto de vista do plano de processo de fabricação, os requi-

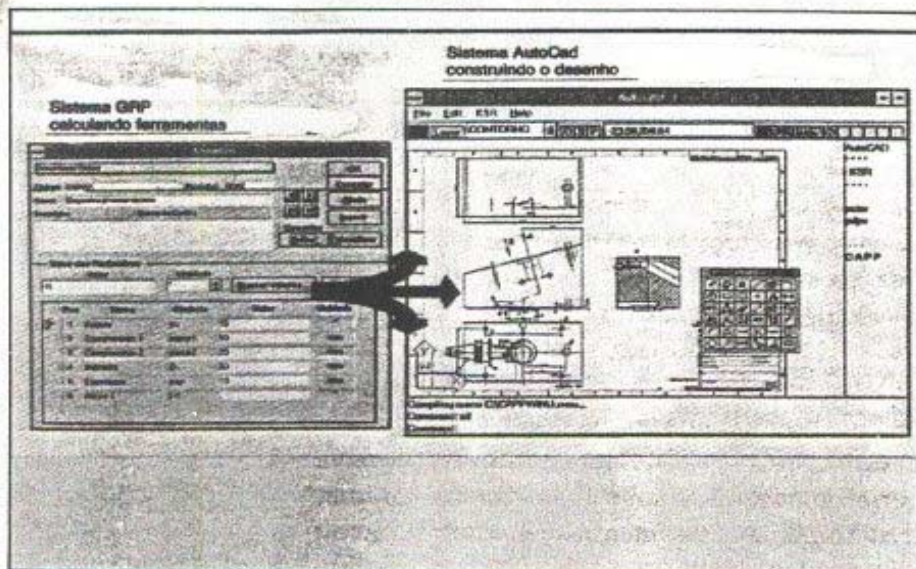


Fig. 4 - Desenho de uma ferramenta sendo construída pelo sistema CAPPE

sitos ficaram ainda mais exigentes. Como a célula CAP possui alta produtividade, o plano de processo deveria estar voltado para duas especificações:

- Manter todas as informações de preparação de ferramental e máquinas e equipamentos de maneira clara, pois a unidade CAP tem de ser eficiente nas preparações de máquinas. Ela trabalha com previsões de quatro trocas diárias de produtos.

- Manter particularidades de fabricação e qualidade buscando atender aos requisitos de cada cliente. Os critérios de qualidade (especificação de inspeção) e fabricação se alteram a cada troca de produto na célula.

O volume de informações que antecedem a ordem de fabricação de uma bronzi- na é bastante elevado. A unidade CAP tem sua produtividade afetada caso as informações dos planos de processo não cheguem à produção de maneira rápida e confiável.

A Metal Leve pesquisou, sem sucesso, alternativas convencionais, inclusive as utilizadas em suas outras plantas fabris.

SOLUÇÃO ADOTADA

Após análise, a Metal Leve adotou o ambiente CAPPE (de *computer aided process planning environment*), desenvolvido pela empresa paulista de consultoria KSR, em função de sua flexibilidade e de sua concepção. Um fator decisivo na escolha do ambiente CAPPE foi a capacidade de a consultoria desenvolver

ambientes de engenharia customizados.

O ambiente integrado CAPPE engloba uma série de sistemas voltados à concepção de um produto e à determinação dos recursos de manufatura necessários à sua fabricação. Com um conceito de integração, o CAPPE mantém todos os dados industriais dos produtos em uma base de dados RDBMS (de *relational data base management system*). Com isto, consegue-se alta conectividade com os sistemas existentes nas empresas. O ambiente CAPPE apresentado na figura 2 foi personalizado para a Metal Leve. Ele contempla:

- **Classificação de produtos** - Este sistema classifica em famílias os produtos comprados e fabricados. Desta forma encontram-se rapidamente produtos semelhantes para o reaproveitamento de processos de fabricação ou desenhos de produtos. É através dele que o usuário parametriza os produtos e dá manutenção aos *features* por ele definidos.

- **Gerenciador de recursos de planejamento** - O GRP é um dos pontos centrais do ambiente CAPPE, onde são definidos seus padrões. É através deste módulo que as operações, máquinas e ferramentas são previamente cadastradas de forma organizada e parametrizada. Ele permite montar catálogos técnicos de ferramentas associados aos respectivos desenhos ou projeto.

- **Editor tecnológico** - Este sistema possui vários módulos voltados à elaboração de planos de processos. Ele segue o padrão de um sistema CAPP híbrido, respondendo pela elaboração do plano macro e de todos os detalhes de fabricação (qualidade, *set-up*, etc). A figura 3 ilustra um plano macro e seus detalhamentos.

- **Projetos automáticos** - São sistemas especiais que automatizam as atividades de desenvolvimento de projetos, produtos, ferramentas e croquis de fabricação para o caso das bronzi- nas. Ele passa para o sistema CAD todos os dados necessários para que os programas previamente construídos sejam executados.

- **Cálculo de tempos** - Todos os cálculos de tempos de fabricação (usinagem ou montagem), preparação, movimentação ou outros são efetuados segundo as características definidas pela própria empresa, armazenadas em fórmulas e tabelas. Deste modo, se obtém de maneira pre-

cisa e rápida os tempos para os sistemas de orçamentos e para a programação de fábrica.

- **Cálculo de ferramentas** - Este sistema permite que expressões matemáticas possam ser usadas para cálculos de cotas ou parâmetros de ferramentas e dispositivos. Assim, o usuário pode calcular ferramentas específicas para produtos e verificar através do GRP se elas existem na empresa. Outro recurso importante é fazer, através de regras matemáticas, relações entre ferramentas montadas, localizando-as de modo ágil e preciso.

- **Croquis de fabricação** - No caso de planos de processos detalhados, o ambiente CAPPE conta com uma profunda integração com o sistema CAD. É através deste sistema que os croquis são gerados, parametrizando modelos de documentos e todos os dados nele contidos.

- **Pesquisas técnicas** - Estes sistemas de apoio servem para evitar que as ferramentas e dispositivos pertencentes a outros produtos ativos sejam sucateados ou modificados sem a análise de impactos nos planos de processo. Além disso, permitem a troca dos recursos cadastrados no sistema GRP em todos os planos de processo,

revisando-os e documentando as modificações automaticamente.

A maioria dos sistemas descritos acima acionam o sistema AutoCad para desempenhar as funções de desenvolvimento automático de projetos. Isto ocorre através de uma programação interna do *software* conhecida como linguagem em AutoLisp.

Para este projeto foi criada uma nova rede de microcomputadores IBM/PC, conectados através de Windows for Workgroup. A base de dados adotada para o ambiente CAPPE foi o Oracle, instalada em um servidor Windows NT.

EXEMPLOS DE FABRICAÇÃO

Apresenta-se aqui um exemplo da aplicação do ambiente CAPPE customizado para a Metal Leve, com o objetivo de comprovar a funcionalidade da solução.

Desenvolvimento do produto - A atuação do ambiente CAPPE é iniciada com a parametrização das bronzinas. Foram criados, em média, 10 *features*, perfazendo um total de 50 parâmetros geométricos para cada bronzina. O

programa em CAD que desenha as bronzinas foi implementado prevendo como entrada de dados os parâmetros das bronzinas descritos acima.

A partir desta preparação dos dados o sistema ficou apto para desenvolver novas bronzinas, pesquisando peças parecidas através de filtragens na base de dados por semelhança entre os parâmetros. Uma vez encontrada uma bronzina semelhante, o sistema de classificação permite uma cópia de todos os parâmetros (50) para a nova bronzina. Após identificá-la, o usuário ajusta cotas ou parâmetros na nova bronzina e solicita ao sistema a sua construção imediatamente.

Isto se dá através da passagem de dados e acionamento dos programas internos específicos do sistema AutoCad, que passa a desenvolvê-la. Uma vez terminado, o usuário pode fazer análises e confirmar este desenho como pertencente à bronzina em questão. Ao executar tal procedimento, o desenho do produto passa a estar disponível para todos os usuários e sua edição e revisão passa a ser controlada pelo ambiente CAPPE.

Definição do ferramental - Uma vez definido o produto, inicia-se a fase de levantamento de

ferramentas e dispositivos. Incluem-se nesta categoria ferramentas consumíveis, dispositivos de fixação e controles de qualidade.

Para agilizar o levantamento do ferramental, foram criados os catálogos do ferramental envolvido na fabricação da bronzina. Este ferramental foi agrupado em cerca de 70 famílias distintas. Cada família possui suas cotas ou parâmetros específicos.

As cotas das ferramentas foram associadas inicialmente a cerca de 200 equações matemáticas, através do sistema flexível de cadastramento de equações. São contempladas expressões matemáticas, múltiplas tabelas, expressões booleanas e conversão entre unidades de medidas. Para solucionar as equações, os sistemas de cálculo buscam os dados da bronzina específica cadastrados no sistema de classificação.

Depois de ter efetuado o cálculo das cotas do ferramental, o usuário passa a pesquisar por semelhança, analisando simultaneamente dados e desenhos. Caso a ferramenta não seja encontrada, os sistemas desenvolvem seu desenho em escala e proporcionalidade às cotas calculadas. O usuário pode alterar as cotas e reconstruir o desenho da ferramenta a qualquer momento. A figura 4 apresenta o sistema automático desenhando uma ferramenta.

Uma vez aprovado o desenho do produto, o sistema de cadastro de recursos GRP passa a controlar a existência da ferramenta. Com isto, o usuário rapidamente pesquisa e desenvolve o ferramental para a nova peça. Atualmente o sistema conta com cerca de 15 ferramentas cujos projetos já estão parametrizados em função do produto. O objetivo é parametrizar todas as ferramentas.

Planejamento do processo - As especificações de ferramentas ocorrem simultaneamente com o planejamento do processo de produção.

A Metal Leve e a KSR definiram como plano de processo os seguintes documentos:

- Plano macro: descreve a sequência resumida das operações, descritas em estágios e postos de trabalho.
- Plano de preparação de ferramental: contém uma lista de ferramentas que serão agrupadas pelo almoxarifado. Este documento possui também as qualidades e os croquis detalhados.
- Plano de *set-up*: traz detalhes para que o operador da máquina ou o preparador montem corretamente os dispositivos e acessórios nos equipamentos da célula.
- Plano de processo e qualidade: exhibe informações de qualidade e das suboperações, além dos croquis de usinagem e de posicionamento dos instrumentos de medição.

Este plano de processo completo é formado por cerca de 70 páginas totalmente gerenciadas pelo CAPPE. O plano é de responsabilidade da

engenharia até a sua distribuição na célula, sendo dividido entre os setores de preparação e de operação das máquinas. Desta forma, cada posto de trabalho recebe apenas uma página contendo o plano de processo e qualidade.

Para gerar esta documentação, o usuário aplica os conceitos de CAPP variante e o sistema passa a recalcular o ferramental, cotas e parâmetros das operações para a nova bronzinga. Como as equações permitem diálogo com o usuário, o sistema passa a comunicar erros de valores fora das faixas.

Pretende-se agora introduzir o relatório de não-conformidade do processo para aumentar ainda mais sua velocidade de revisão.

O ambiente CAPPE possui uma interação com o CAD, sendo capaz de atualizar os documentos por ele gerados. Os desenhos esquemáticos das ferramentas, máquinas e operações podem ser inseridos automaticamente nos croquis de fabricação.

Estão previstas novas fases de aprimoramento do ambiente CAPPE, além de sua integração total ao sistema de controle de produção. Também se pretende integrá-lo com um PDM e construir um sistema de gerenciamento de ferramentas no chão-de-fábrica partindo dos dados de ferramentas especificados no CAPPE.

CONCLUSÕES

O sucesso da solução CAPP está relacionado à sua integração no contexto produtivo, considerando-se suas características específicas. Outro

no a analisar é que o sistema adotado possui características híbridas, reunindo vantagens dos três métodos de planejamento do processo.

A automação de funções específicas traz um retorno maior nas atividades repetitivas de detalhamento de processos e cálculos. Este retorno se deve principalmente à padronização na maneira de trabalhar da engenharia e à facilidade de manutenção das informações por ela gerada. Os ajustes nas regras passam a ser imediatamente implementados por toda a engenharia. Evita-se, assim, o trabalho de manutenção de bases de conhecimento mais genéricas. A automação de atividades de planejamento é viável, por estes motivos, somente para domínios específicos, como no caso de bronzinas. A dificuldade passada é superada pela facilidade com que soluções computacionais são produzidas para estas especificidades.

O ponto inicial de um trabalho como este é o levantamento de produtos passíveis de serem parametrizados. A partir disto, é preciso otimizar os recursos e esforços da engenharia de manufatura com o objetivo de cumprir os requisitos do mercado.

A integração entre o desenvolvimento do produto e os processos de fabricação elimina problemas comuns à maioria das empresas. Alguns deles são as inversões de desenhos de produto, o baixo controle do ferramental existente e a emissão de planos de processo desatualizados.

BIBLIOGRAFIA

- 1) Lenau, T. - Integrating process planning with product design (Design/CAPP integration). CIRP International Seminar on Manufacturing Systems, 24, p. 21-34, 1 992.
- 2) Rozenfeld, H. - Implantação distribuída do planejamento do processo assitido por computador na manufatura integrada. Tese de livre docência, p. 234, 1 992.
- 3) Houten, F. J. A. M. - VAN. Part: a computer aided process planning system. Aachen, p. 226, 1 992.
- 4) Scheer, A. W. - CIM: Evoluindo para a fábrica do futuro. Qualitymark, p. 213, 1 993.
- 5) Process documentation - User support manual. Cummins Engine Company, p. 50, 1 991.
- 6) Rozenfeld, H.; Kerry Jr, H. T.; Almeida, A. S. L. e Ribeiro, C. E. S. - CAPP environment as nucleos for specific CAPP solutions - Annals of CIRP, 1 992.
- 7) Tiberti, A. J. e Rozenfeld, H. - Engenharia simultânea através da integração otimiza o desenvolvimento de produtos. Máquinas e Metais, dezembro de 1 995.
- 8) Rozenfeld, H. - Sistema CAPP: seus conceitos, casos práticos e desenvolvimentos. Máquinas e Metais, março de 1 994.

AGRADECIMENTOS

Os autores deste artigo agradecem à KSR Consultoria e Sistemas para Engenharia e à empresa Metal Leve S.A., que cederam informações e ilustrações para esta publicação. □