



INTEGRAÇÃO DE SISTEMAS CAD E CAPP UTILIZANDO TECNOLOGIA DE GRUPO E MODELAMENTO FEATURE

Narciso A. Silva

Robert Bosch Limitada, Departamento de Projetos Novos e Processos.
Rod. Anhanguera, km 98 - CEP 13065-900 – Campinas, SP, Brasil

Klaus Schützer

Universidade Metodista de Piracicaba, Lab. Sist. Computacionais para Projeto e Manufatura
CEP 13450-000 - Santa Bárbara d'Oeste, SP, Brasil

Christian Glockner

Technische Universität Darmstadt, Inst. Produktionstech. und Spanende Werkzeugmaschinen
Petersenstrasse, 30 - D-64287 - Darmstadt, Alemanha

Antonio Batocchio

Universidade Estadual de Campinas, Departamento de Engenharia de Fabricação.
Cx. P. 6122 - 13083-970 – Campinas, SP, Brasil

***Resumo.** Este artigo apresenta um modelo conceitual de integração das informações de projeto e manufatura, cujo objetivo principal é obter a melhoria da integração das informações e dados gerados durante a fase de projeto do produto com outras áreas que compartilham dessas informações, como o Planejamento do Processo, Qualidade e Suprimentos. O modelo apresentado se utiliza basicamente dos conceitos de Tecnologia de Grupo e Modelamento Feature, sendo que um protótipo foi desenvolvido para ilustrar sua aplicação num ambiente de manufatura, utilizando um modelador geométrico CAD existente. A partir da simulação dos resultados foi possível observar que o modelo atingiu seus objetivos iniciais, como integração das informações de produto e processo, menor dependência da experiência humana e geração automática de informações do processo, entre outras.*

***Palavras-chave:** CAD, CAPP, Feature-based Design, Group Technology, Manufacturing Integration*

1. INTRODUÇÃO E OBJETIVO

A utilização de sistemas assistidos por computador como CAE/CAD/CAM/CAPP e máquinas CNC tornou-se um padrão no ambiente industrial, tanto em função da facilidade de acesso a essas ferramentas como pelas vantagens obtidas pelos seus usuários. Porém, a mera utilização dessa tecnologia aplicada à manufatura também pode trazer algumas desvantagens, como a falta de integração das informações compartilhadas pelas diferentes áreas, fator altamente restritivo para a competitividade das empresas e que tem impulsionado o desenvolvimento de metodologias para superar tais problemas (Gu, 1994).

A Tecnologia de Grupo (TG) pode ser citada como uma dessas metodologias, cujo principal objetivo é explorar as vantagens inerentes às similaridades do projeto ou dos processos de fabricação, através do agrupamento dos produtos em famílias de peças e das máquinas em células de manufatura. Como vantagens na sua utilização pode-se citar a redução do estoque em processo, dos tempos de preparação (*set up*) e dos tempos de fabricação (*lead times*), além da racionalização do fluxo de materiais (Kamrani & Parsaei, 1993, Liao & Lee, 1994, Wemmerlöv, 1997).

Uma das técnicas de TG mais conhecidas para formar famílias de peças e células de manufatura é a Classificação e Codificação (CC), que consiste em classificar componentes semelhantes segundo parâmetros pré-definidos e identificá-los através de códigos (Duan *et al.*, 1993, Huq *et al.*, 1994). A técnica de CC será a base a ser utilizada no modelo apresentado neste trabalho (Silva *et al.*, 1998b).

Outra metodologia, conhecida como Modelamento *feature* ou Modelamento baseado em *features* (*Feature-based Modeling*), também tem sido adotada como uma ferramenta eficaz na integração das informações de projeto e manufatura (Case, 1994). Em função de ser uma proposta relativamente recente, as definições e aplicações dessa metodologia ainda podem apresentar interpretações divergentes (Li *et al.*, 1995, Meeran & Pratt, 1993), porém este assunto não será objeto deste trabalho, que apenas se utilizará dos conceitos básicos e da aplicação metodológica, além do próprio significado do termo “*features*”.

As “*features*”, podem ser definidas como entidades que permitem uma representação funcional de um objeto, por exemplo furos, rasgos, canais, e outros elementos construtivos, também chamada de representação de alto nível, tanto em relação à geometria como também aos atributos não geométricos como tolerâncias, rugosidade, tratamentos superficiais, etc (Chamberlain, *et al.*, 1993, Shah, 1991). Essas *features* também podem ser classificadas segundo sua aplicação como “*form features*”, “*manufacturing features*”, etc (Shah, 1991).

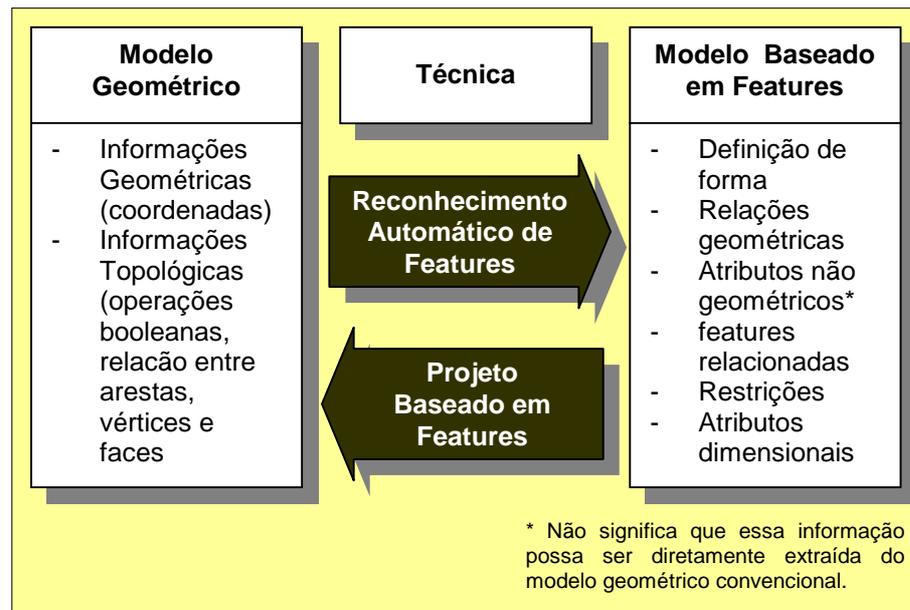
Essa definição denota a principal diferença entre os “modelos *feature*”, ou objetos modelados por *features*, e os modelos geométricos, por exemplo aqueles obtidos através de sistemas CAD convencionais. No caso desses últimos, a representação dos objetos é puramente geométrica, ou seja, os objetos são definidos por pontos, linhas, curvas, faces, arestas ou vértices, sem qualquer relação com seu significado funcional.

Os modelos obtidos pela modelamento *feature* podem ser obtidos de várias maneiras, sendo que as técnicas mais conhecidas são o Reconhecimento automático de *features* e o Projeto baseado em *features* (Silva *et al.*, 1998b). A Fig. 1 ilustra esses conceitos e as diferenças básicas entre as técnicas.

No Reconhecimento automático de *features* (AFR - *Automatic Feature Recognition*), a partir de um modelo geométrico convencional utiliza-se algoritmos e programas com regras definidas que, baseados na geometria ou topologia do objeto, podem identificar e extrair as informações das *features* utilizadas no modelamento (Dong & Vijayan, 1997, Silva, 1998a). Atributos não geométricos podem ser impossíveis de ser identificados caso o modelo geométrico não permita uma interpretação lógica pelo algoritmo utilizado para extrair as informações das *features* (Gu, 1994, Kulkarni & Pande, 1995).

O Projeto baseado em *features* (FBD - *Feature-based Design*) utiliza uma abordagem inversa da AFR, sendo que o modelo é criado a partir de *features* disponíveis no sistema, geralmente armazenadas em bibliotecas (Chamberlain *et al.*, 1993). Neste caso os atributos não geométricos são diretamente incorporados às *features* utilizadas e portanto permitem uma interpretação muito mais simples pelos modeladores utilizados. O conceito de modelamento a partir de *features* armazenadas em bibliotecas é o que será utilizado no modelo a ser apresentado (Silva *et al.*, 1998b).

Figura 1. Técnicas de Modelamento *Feature* (adaptado de Silva, 1998a)



Portanto, o presente trabalho tem como principal objetivo propor um modelo que promova a integração das informações de manufatura, geradas durante a fase de projeto, às outras áreas da empresa, como Planejamento do Processo, Qualidade e Compras, através da utilização das técnicas de TG e FBD. Para atingir tal objetivo, a metodologia utilizada baseou-se na identificação e análise de um ambiente para aplicação do modelo, desenvolvimento de um sistema para recuperação de informações tecnológicas e simulação do modelo através de um protótipo (Silva, 1998a).

Uma das situações com maior possibilidade de aplicação e obtenção de ganhos é a utilização do modelo como base para um sistema CAPP semi-generativo como abordado em outros trabalhos (Jung & Lee, 1996, Liu *et al.*, 1994, Perng & Cheng, 1994), porém o trabalho tratará apenas do seu potencial de aplicação.

2. DESCRIÇÃO E EXEMPLO DE APLICAÇÃO

O modelo apresentado foi desenvolvido a partir de informações reais, obtidas numa divisão de projeto e manufatura de equipamentos sob encomenda de uma empresa de autopeças (Silva, 1998a). Sua aplicação porém, foi feita a partir de simplificações e hipóteses elaboradas pelos autores, baseadas no conhecimento do ambiente de onde foram obtidos os dados originais e portanto não comprometem as avaliações.

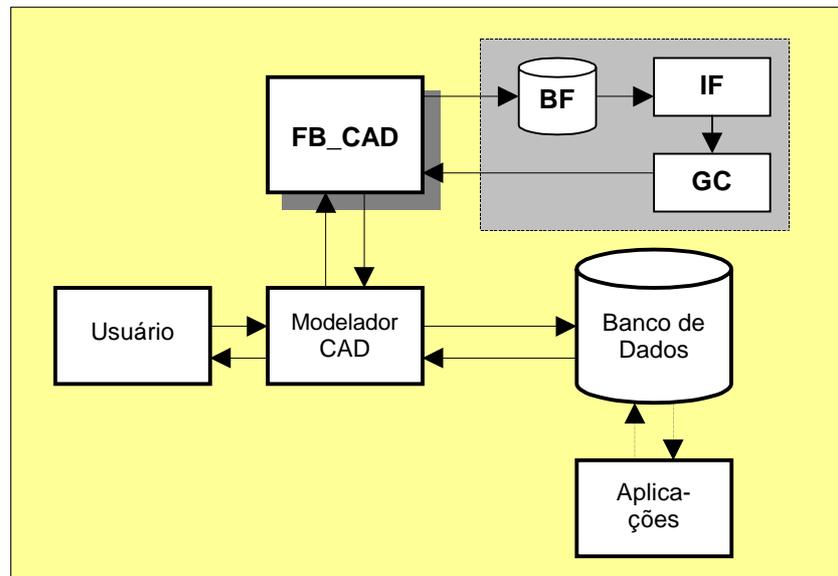
A arquitetura desse modelo é composta de duas partes principais:

- Um sistema de recuperação de informações tecnológicas;
- Um aplicativo para modelamento CAD.

A Fig. 2 ilustra a arquitetura do modelo e a seguir é feita a descrição de suas partes principais.

No atual estágio de desenvolvimento, o banco de dados comum ilustrado na Fig. 2 não foi incorporado ao modelo, sendo que para a sua utilização se faz necessário a inserção manual dos resultados obtidos no modelamento CAD. O modelador CAD utilizado foi o AutoCAD[®] da empresa Autodesk[™], na versão R12 para ambiente Windows[®].

Figura 2. Arquitetura do modelo proposto (adaptado de Silva *et al.*, 1998b)



2.1 Sistema de recuperação de informações tecnológicas

Desenvolvido a partir dos conceitos de CC, esse sistema consiste num código de estrutura não hierárquica de vinte dígitos que incorpora dados de projeto (produto) e manufatura (processo). Esse código é gerado automaticamente após o modelamento CAD e sua estrutura contempla as seguintes informações:

- Dígito 1: tipo de componente (rotacional, prismático, plano, etc);
- Dígitos 2 e 3: número de *features* utilizadas no modelamento (máximo de 99);
- Dígitos 4 e 5: comprimento máximo do componente ($L_{máx}$);
- Dígitos 6 e 7: diâmetro externo máximo do componente ($D_{máx}$);
- Dígitos 8 e 9: relação entre $L_{máx}$ e diâmetro médio das *features* utilizadas ($L_{máx}/D_m$);
- Dígitos 10 a 13: configuração geométrica do componente (é uma análise combinatória das *features* utilizadas no modelamento do componentes, que expressam o grau de dificuldade de obtenção do componente final);
- Dígito 14: matéria-prima (aços, latão, alumínio, etc);
- Dígito 15: tratamento térmico (têmpera, cementação, beneficiamento, etc);
- Dígito 16: tratamento superficial (anodização, eletrodeposição, pintura, etc);
- Dígitos 17 e 18: formato da matéria-prima (barra de seção cilíndrica, etc);
- Dígitos 19 e 20: melhor precisão IT (Tolerância ISO).

Conforme Silva (1998a), para cada dígito descrito anteriormente, corresponde uma tabela com o significado da informação codificada, que não é ilustrada neste artigo.

Essas informações foram definidas a partir das necessidades verificadas no ambiente analisado e o objetivo desse código dentro da arquitetura do modelo é permitir a interpretação das informações que serão compartilhadas pelas diferentes áreas segundo suas necessidades específicas.

Por exemplo, o código “00450285500466043050” resultante do modelamento do componente ilustrado na Fig. 3, através do FB_CAD, pode ser interpretado de várias maneiras, segundo o usuário. Como exemplo, quando analisada a combinação do primeiro, sexto, sétimo e dos últimos dois dígitos desse código, pode-se ter as seguintes informações:

-Projeto do produto: elemento rotacional, diâmetro externo máximo entre 120 e 140 milímetros, e melhor classe de precisão IT5. Essa descrição pode ser utilizada na pesquisa e recuperação de outros componentes semelhantes modelados anteriormente;

-Planejamento do processo: identificação do processo e sequência de fabricação e do equipamento que atenda tal necessidade, por exemplo um torneamento seguido por uma retificação cilíndrica, cujas capacidades atendam diâmetros até 140 milímetros e uma retificação com qualidade igual ou superior a IT5;

-Qualidade: determinação de planos de inspeção, instrumentos e calibradores que possam medir diâmetros externos até 140 milímetros para a tolerância IT5.

-Compras: no caso de fornecimento externo, determinação de fornecedores que atendam padrões de qualidade e preços competitivos para as condições de componentes cilíndricos na faixa de 120 a 140 milímetros de diâmetro externo e com tolerância IT5.

A recuperação dessas informações segundo as necessidades dos diferentes usuários representa um enorme potencial de integração das informações de produto e processo, geração automática de processos, menor dependência da intervenção e experiência humana e redução de erros de interpretação, comunicação e atividades que não agregam valor ao produto final, que podem ser exploradas das mais diferentes maneiras.

2.2 Aplicativo para modelamento CAD

Denominado FB_CAD, numa referência ao conceito “*Feature-Based*”, o aplicativo desenvolvido é apenas um protótipo criado para o ambiente AutoCAD®, utilizando a linguagem de programação AutoLisp® e os conceitos da técnica FBD. O principal objetivo do FB_CAD é simular o modelo apresentado numa situação prática.

O FB_CAD, ilustrado na Fig. 2, é composto pelos seguintes módulos:

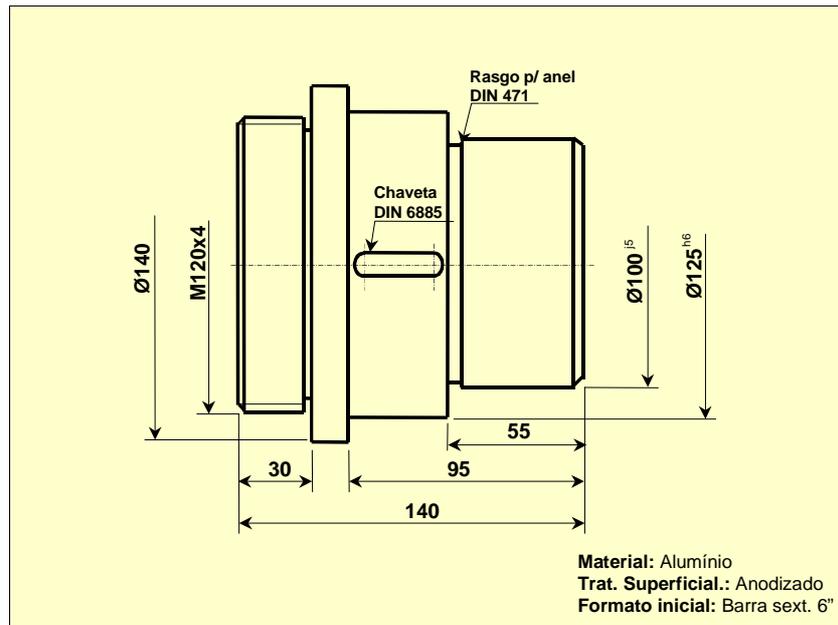
- biblioteca de features (BF)
- identificador de features (IF);
- gerador do código (GC).

O módulo GC utiliza as tabelas de definições do significado de cada dígito para compor o código que será apresentado ao término da sessão de modelamento.

Uma aplicação típica do modelo proposto pode ser feita a partir de uma sessão de modelamento CAD de um componente qualquer, através do FB_CAD. A Fig. 3 ilustra um exemplo do componente que será modelado através do aplicativo. Ao término do modelamento CAD será automaticamente exibido o código (vide Fig. 6) que representa as informações do componente.

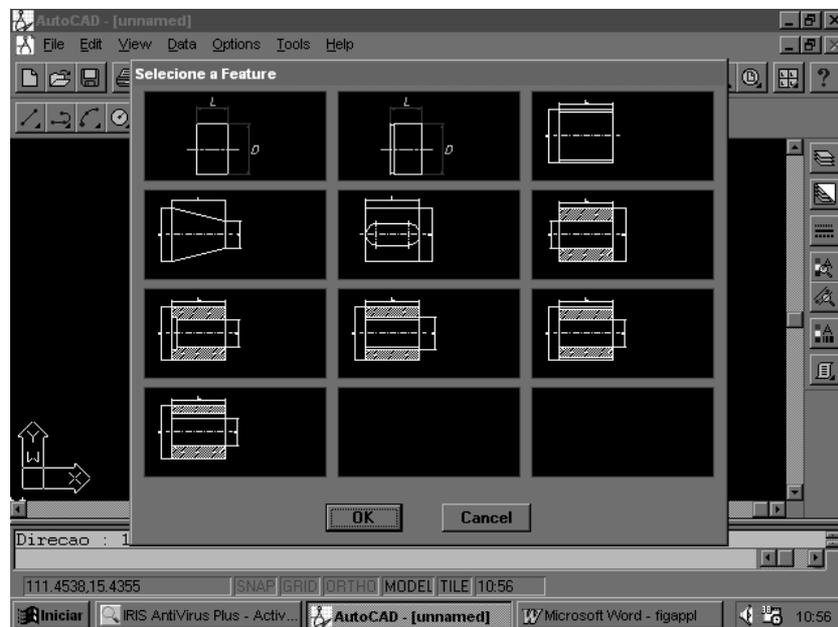
No atual estágio de desenvolvimento do modelo, esse código não é armazenado diretamente num banco de dados comum, mas deverá ser tratado manualmente segundo as necessidades de cada usuário. Essa integração é considerada pelo modelo, como pode ser visualizado na Fig. 2, porém para efeito de simplificação não foi introduzida até o presente momento e não trouxe problemas na simulação e avaliação dos resultados

Figura 3. Exemplo de componente a ser modelado (Silva *et al.*, 1998a)



A Fig. 4 mostra a biblioteca de *features* ao ser apresentada ao usuário durante o modelamento. Para efeito de simplificação, o protótipo desenvolvido adotou uma biblioteca fixa com apenas dez opções, contemplando as necessidades mais comuns encontradas no ambiente analisado e considerando apenas as aplicações com elementos rotacionais. Os autores salientam que essa restrição pode trazer desvantagens numa aplicação em condições reais.

Figura 4. Biblioteca de *features* (Silva, 1998a)



A Fig. 5 mostra a tabela de informações tecnológicas (material, tratamentos térmico e superficial e formato da matéria-prima), apresentada ao usuário no final do modelamento geométrico, com os dados de manufatura disponíveis para o componente. Essa tabela foi desenvolvida a partir das necessidades mais comuns encontradas no ambiente analisado e faz parte do código.

Figura 5. Tabela de informações tecnológicas (Silva, 1998a)



Ao término da sessão é apresentado o código do componente, baseado nos dados fornecidos pelo usuário e nas interações internas do modelo durante o modelamento, como ilustrado na Fig. 6.

Figura 6. Código gerado pelo aplicativo (Silva, 1998a)



3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

No atual estágio de desenvolvimento do modelo, as aplicações foram feitas a partir do processamento manual do código gerado, incluindo-se esse código num banco de dados e definindo as possíveis aplicações para cada usuário.

Através da geração automática do código, foi possível disponibilizar várias informações geradas durante o modelamento CAD dos componentes, sendo que essas informações podem ser customizadas às necessidades específicas de cada usuário, sem a necessidade de interpretação de desenho ou comunicação adicional.

Partindo-se dessas premissas e após a simulação dos resultados obtidos com a utilização do FB_CAD, foi possível atingir os seguintes benefícios:

- integração das informações compartilhadas de produto e processo;
- redução de atividades que não agregam valor ao produto;

- menor dependência da experiência e intervenção humana;
- geração automática de informações de processo;
- recuperação de informações de produto;

Apesar do modelo ainda não ter sido implementado na prática, ou seja, apenas os dados utilizados no desenvolvimento do modelo foram obtidos num ambiente real de manufatura, mas as simulações e interpretações dos resultados foram objeto de sugestões e hipóteses elaboradas pelos autores, pode-se afirmar contudo que o mesmo atingiu os objetivos propostos inicialmente.

Segundo essa avaliação, os autores ainda identificam uma série de vantagens e desvantagens que poderiam ocorrer na utilização do modelo em uma situação real, como descrito a seguir:

Vantagens:

- eliminação de erros de interpretação via codificação automática dos componentes;
- facilidade de padronização de informações e soluções de projeto e manufatura;
- redução do tempo de projeto em situações onde a biblioteca atende as necessidades do usuário;
- possibilidade de formação e integração de um banco de dados com informações tecnológicas;
- flexibilidade na formação de famílias de peças, permitindo atender as necessidades específicas de cada usuário.

Desvantagens:

- a adoção de biblioteca de *features* sem opções de novas inclusões pode restringir a utilização prática do modelo;
- as informações tecnológicas do objeto são recuperadas apenas pelo código e não diretamente do modelo CAD;
- o modelo não permite que alterações efetuadas no modelo, após a geração do código, sejam informadas ao sistema;
- o aplicativo não tem capacidade de incorporar montagens de mais de um componente.

4. CONCLUSÕES

Neste trabalho foi proposto um modelo para integração de informações de projeto e manufatura, simulado através de um protótipo de aplicativo para modelamento CAD e codificação automática de componentes. Após as simulações foi possível verificar que o conceito utilizado atingiu os objetivos propostos, ou seja, melhorar a integração de informações de produto e processo, reduzir a dependência da experiência humana e permitir a geração automática de informações de processos, entre outros.

Com relação ao código, pode-se dizer que ao ser customizado às necessidades do usuário, satisfaz plenamente os objetivos propostos para um sistema de recuperação de informações tecnológicas e acredita-se que a mesma configuração possa atender os requisitos de empresas com perfil similar, principalmente aquelas de pequeno porte representantes do setor metal-mecânico.

Uma das maiores desvantagens do modelo, em seu atual estágio de desenvolvimento, é o fato de não ter sido implementado um banco de dados comum, o que obriga um processamento manual das informações.

Os autores acreditam que a implementação prática do modelo e aplicações baseadas nas informações obtidas pelo código, por exemplo um sistema CAPP semi-generativo, poderiam acrescentar mais segurança às análises e avaliações, principalmente nas questões de robustez,

eficácia na troca de informações e facilidade de uso, que portanto passa a ser uma proposta para desenvolvimento futuro.

5. RECONHECIMENTOS

Este trabalho foi desenvolvido no âmbito do Projeto PROBRAL/CAPES/DAAD (processo N.º 038/97), sendo que os autores expressam seus agradecimentos pelo apoio recebido.

REFERÊNCIAS

- Case, K., 1994, Using a design by features CAD system for process capability modelling, *Computer Integrated Manufacturing Systems*, vol. 7, n. 1, pp. 39-49.
- Chamberlain, M. A. *et al.*, 1993, Protusion-features handling in design and manufacturing planning, *Computer Aided Design*, vol. 25, n. 1, pp. 19-28.
- Dong, J. & Vijayan, S., 1997, Features extraction with the consideration of manufacturing process, *International Journal of Production Research*, vol.35, n.8, pp.2135-2155.
- Duan, W. *et al.*, 1993, FSMT: a feature solid-modelling tool for feature-based design and manufacture, *Computer Aided Design*, v. 25, n. 1, pp. 29-38.
- Gu, P., 1994, A Feature Representation Scheme for Supporting Integrated Manufacturing, *Computers and Industrial Engineering*, vol.26, n. 1, pp. 55-71.
- Huq, F. *et al.*, 1994, The Use of Relational DataBase Management Systems (DBMS) for Information Retrieval in a Group Technology (GT) Environment, *Computers and Industrial Engineering*, vol. 26, n. 2, pp. 253-266.
- Jung, M. Y. & Lee, K. H., 1996, A CAD/CAPP interface for complex rotationally symmetric parts, *International Journal of Production Research*, vol. 34, n. 1, pp. 227-251.
- Kamrani, A. K. & Parsaei, H. R., 1993, A Group Technology Based Methodology for Machine Cell Formation in a Computer Integrated Manufacturing Environment, *Computers and Industrial Engineering*, vol.24, n. 3, pp. 431-447.
- Kulkarni, V. S. & Pande, S. S., 1995, A system for automatic extraction of 3D part features using syntatic pattern recognition techniques, *International Journal of Production Research*, vol. 33, n. 6, pp. 1569-1586.
- Li, R. -K. *et al.*, 1995, Feature modification framework for feature based design systems, *International Journal of Production Research*, vol.33, n. 2, pp. 549-563.
- Liao, T. W. & Lee, K. S., 1994, Integration of a Feature-Based CAD System and an ART1 Neural Model for GT Coding and Part Family Forming, *Computers and Industrial Engineering*, vol. 26, n. 1, pp. 93-104.
- Liu, C. -H. *et al.*, 1994, Automatic form feature recognition and 3D part reconstruction from 2D CAD data, *Computers and Industrial Engineering*, vol. 26, n. 4, pp. 689-707.
- Meeran, S. & Pratt, M. J., 1993, Automated feature recognition from 2D drawings, *Computer Aided Design*, vol. 25, n. 1, pp. 7-17.
- Perng, D. -B. & Cheng, C. -T., 1994, Feature-based process plan generation from 3D DSG inputs, *Computers and Industrial Engineering*, vol. 26, n. 3, pp. 423-435.
- Shah, J. J., 1991, Assessment of features technology, *Computer Aided Design*, v. 23, n. 5, pp. 331-343.
- Silva, N. A., 1998, Aplicação de conceitos de tecnologia de grupo e modelamento baseado em features para integração de projeto e manufatura, Tese de mestrado, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, São Paulo, Brasil.

- Silva, N. A. *et al.*, 1998, A model for integrating design and manufacturing using group technology and feature-based modeling, Annals of the 5th Workshop on Intelligent Manufacturing Systems, November 9-11, Gramado, Brazil, pp. 375-379.
- Wemmerlöv, U., 1997, Cellular manufacturing at 46 user plants: Implementation experiences and performance improvements, International Journal of Production Research, vol. 35, n. 1, pp. 29-49.

“INTEGRATION OF CAD/CAPP SYSTEMS BY USING GROUP TECHNOLOGY AND FEATURE MODELING”

Abstract: *This paper presents a model aimed to improve the integration of Design and Manufacturing data, which are generated during the product design phase and shared with another areas, such as Process Planning, Quality and Purchasing. The presented model uses basically concepts of Group Technology and Feature-based Modeling and a prototype was developed to illustrate an application in a manufacturing environment using an existing CAD modeler. Based on a simulation, the results showed to reach the proposed goals, such as integration of both Design and Manufacturing data, less dependency on human experience and automatic process data generation.*

Keywords: *CAD, CAPP, Feature-based Design, Group Technology, Manufacturing Integration.*