

## **SISTEMA INTELIGENTE DE AUXILIO AO PROJETISTA DE PEÇAS FUNDIDAS EM AREIA**

Silva, A. S. C.; Universidade Federal de São João Del Rei –UFSJ - Departamento de Engenharia Mecânica – Praça Frei Orlando,170 - São João Del Rei –MG – Brasil - e-mail: [achaves@ufsj.edu.br](mailto:achaves@ufsj.edu.br)

Braga, D. U.; Universidade Federal de São João Del Rei –UFSJ - Departamento de Engenharia Mecânica - Praça Frei Orlando,170 - São João Del Rei –MG – Brasil - e-mail: [durval@ufsj.edu.br](mailto:durval@ufsj.edu.br)

Gonçalves Filho, E. V.; Universidade de São Paulo - EESC-USP - Departamento de Engenharia Mecânica – Av. Trabalhador São carlense,400 - São Carlos- SP – Brasil – e-mail: [evila@sc.usp.br](mailto:evila@sc.usp.br)

**Resumo.** *Devido a competição por fatia de mercado o projeto e de extrema importância para o sucesso de um produto. Por isso faz-se necessário auxiliar o projetista na tarefa de projetar por exemplo um fundido. Este auxílio pode ser obtido através da técnica Design for Manufacture (DFM) que utiliza informações (regras) de handbook, catálogos, especialistas, livros, etc., os quais podem ser empregados em sistemas inteligentes como o software Pro-Engineer -PRO-E de desenhos (CAD). Para empregar estes conhecimentos na ferramenta computacional CAD (PRO-E) é necessário criar um elo de ligação. Este elo seria o desenvolvimento de um Sistema de Auxílio ao Projetista no Projeto de Peças Fundidas (SEMF) que tem como objetivo auxiliar o engenheiro projetista no desenvolvimento do projeto de peças fundidas em areia. Através deste sistema integrado (DFM/CAD/SEMF) é possível analisar um desenho feito em sistema CAD, de um modelo de uma peça a ser fundida e fornecer um diagnóstico sobre possíveis violações quanto à sua manufatura. O SEMF utiliza uma base de conhecimento que reúne informações de como evitar possíveis defeitos com relação à geometria da peça e ao processo de fundição. O desenho deve seguir um procedimento adequado para que as features criadas no PRO-E possam ser reconhecidas pelo sistema, para um possível diagnóstico de problemas existentes na geometria da peça e/ou no processo de fundição. Como produto, obteve-se o software (SEMF) que se mostrou capaz de identificar possíveis violações de projetos, tendo como fonte de alimentação a técnica de projeto voltado para a manufatura de peças fundidas.*

**Palavras-chave:** Engenharia Simultânea; Projeto Voltado para a Manufatura; Projeto Auxiliado por Computador e Regras.

### **1.INTRODUÇÃO**

Atualmente a vida dos produtos apresenta-se reduzida, e a fase de projeto do mesmo passou a ter maior influência no custo final. Pesquisas mostram que 70 a 80 % do custo final do produto é determinado durante a fase de projeto. Por isso, ao projetar um produto é necessário que se tenha conhecimentos multidisciplinares em áreas diversas tais como: materiais, dimensionamento, fabricação, montagem, controle da qualidade, confiabilidade, mercadologia, manutenção, dentre outras,

para que ele possa tomar as decisões corretas com relação ao projeto do produto. Dificilmente, o projetista detém um conhecimento profundo em cada uma destas áreas.

Com inovações tecnológicas através do uso do conceito de Engenharia Simultânea, em que grupo de especialistas de diferentes áreas formam uma equipe responsável pelo projeto completo do produto, todo o conhecimento necessário pode ser reunido. Assim sendo, pode-se evitar erros que poderiam ser cometidos na fase do projeto de produtos (ALBER,2000).

Como exemplo pode-se citar a complexidade de um projeto de um fundido o qual exige dentre outras conhecimentos generalizados de variação dimensional com a temperatura, diferentes propriedades em função da solidificação e necessidade de sobremetal para garantir a qualidade das peças.

O desenho auxiliado por computador (CAD) é de fundamental importância no desenvolvimento de produtos da manufatura moderna, a qual exige que o projeto seja ágil e interaja rápida e flexivelmente com as demais atividades da manufatura, bem como o produto final tenha qualidade e atinja o mercado no menor tempo possível (CHEN,1998). A grande vantagem da aplicação de sistemas CAD é a economia de tempo do projetista em atividades repetitivas, reservando-o para atividades criativas e que agreguem maior valor ao produto. Um sistema CAD que é muito utilizado é PRO-E, porque utiliza o conceito de *features* (*features* são características da peça, ou seja furos, rasgos, etc.) e possui vários módulos (*Procasting, Assembly, Promanufacture*, etc.) que permitem o desenho e a simulação de peças fundidas, dentre outras (GAYRETLI,2000). O uso do conceito de *features* facilita a integração com outros softwares para um possível reconhecimento de problemas encontrados (furos, canais, rasgos,etc.) na fase de projeto de uma peça.

## **2. OBJETIVO DA PESQUISA**

O propósito deste trabalho de pesquisa é desenvolver um programa computacional que seja capaz de detectar possíveis falhas no projeto de uma peça fundida pelo processo de fundição em areia ainda na fase de desenho. O auxílio ao Engenheiro Projetista é obtido através das recomendações de projeto e de manufatura para uma peça fundida.

O programa deve ser capaz de analisar uma peça, desenhada em um sistema CAD (PRO-E), e baseado em um conjunto de regras, específicas para o processo de fundição em areia, detectar possíveis violações quanto a aspectos relacionados com a geometria da peça e a manufatura do fundido.

## **3. FUNDAMENTAÇÃO**

No processo tradicional de desenvolvimento de produtos, o produto é concebido, os componentes são desenhados e, em seguida, são desenvolvidos os planos de fabricação desses componentes. Estas fases são seqüenciais e a integração entre elas é geralmente pequena. Uma consequência desse tipo de procedimento é que eventuais erros de projeto muitas vezes só são descobertos quando o produto já saiu do departamento de projetos. A correção dos erros sempre acarreta prejuízos à empresa e eles aumentam à medida em que a sua detecção se dá mais longe da fase inicial de projeto. Com o emprego da técnica de Engenharia Simultânea (ES) possíveis erros são minimizados.

Apesar das evidentes vantagens da Engenharia Simultânea, algumas dificuldades podem ser encontradas:

- Uma delas é que nem sempre os especialistas estão disponíveis quando a sua presença e orientação se faz necessária, o que pode acarretar atraso no desenvolvimento do produto (KUSIAK,1997).
- Uma outra dificuldade, esta mais específica de empresas de pequeno porte, é que o equipe de especialistas nem sempre pode ser formado porque, às vezes, nem mesmo existe um número significativo de pessoas especialistas na empresa necessárias para a formação de uma equipe de projeto.
- Um dos conhecimentos fundamentais que o engenheiro projetista necessita ter é o conhecimento de processos de fabricação, além de uma visão ampla sobre a interdependência entre materiais e processos na hora de projetar e escolher os mais adequados. Para obter informações sobre processos de fabricação, muitas vezes o projetista tem de recorrer a várias fontes, como por exemplo especialista, bancos de dados, livros e etc.
- Problemas da integração, seja entre pessoas ou entre software e hardware.

Isto tem levado à necessidade de realizar pesquisas na área de fabricação e montagem, com o objetivo de se desenvolver sistemas de auxílio ao projetista de modo que o produto possa ser projetado com mínima quantidade de problemas (MEERKAMM, 2001).

Algumas justificativas para o desenvolvimento do trabalho são:

- 1) Dificuldade de implementação da ES;
- 2) Problema da integração em geral (pessoas);
- 3) Dificuldade de integração entre softwares;
- 4) Necessidade de competição no mercado (*time-to-market*);
- 5) Melhorar a qualidade do projeto e reduzir custos;
- 6) O PRO-E não fornece nenhum auxílio ao projetista, caso de peças que serão fabricadas através do processo de fundição em areia.

#### **4. MÉTODOS**

Para auxiliar o projetista no projeto de uma peça fundida fez a integração entre CAD-PRO-E/DFM/SEMF. Para isto foi necessário primeiramente desenvolver o SEMF que será o elo de ligação entre o CAD e o DFM (regras).

O SEMF é um software de auxílio ao projetista de fundidos em areia e foi desenvolvido utilizando-se o programa Borland Delphi 4, com linguagem de programação em Pascal, que detecta possíveis falhas de projetos em peças fundidas em areia. O mesmo ainda faz a interface com o CAD (Pro-E), de modo a verificar possíveis violação na geometria e no fundido.

Para desenvolver o sistema de auxílio ao projetista SEMF foi necessário:

- conhecer os dados de saída do PRO-E (*trail*) (PARAMETRIC TECHNOLOGY CORPORATION,1998). O *trail* corresponde aos passos que o projetista utilizou para criar a peça no Pro-E, ou seja, as *features* que constituem a peça. Estes são *features/create/Datum/Plano/Default/hole* etc. (passos na construção da peça).
- criar um procedimento (algoritmo utilizado para encontrar o último *trail*) que reconhecesse nos dados de saída, as diversas *features* da peça;
- implementar uma base de conhecimento através da técnica de DFM que são as regras sobre a geometria da peça e a fabricação do fundido a ser projetado no processo de fundição em areia;
- criar um procedimento (Árvore Principal de Dados –APD + Lista de Referência- LR, ou seja, APD + LR é a hierarquia das *features* que foi desenhada no Pro-E, sendo assim possível aplicar as respectivas regras) que possa verificar as *features* criadas ao desenhar a peça no Pro-E e fornecer um diagnóstico das possíveis violações de projeto encontradas.

#### 4.1 Conceção do Sistema

Sistema é constituído de atividades conforme mostradas na figura 1. A seguir serão detalhados os procedimentos desenvolvimentos para a implementação das atividades.

##### 4.1.1 Desenhar Peça

O desenho da peça é feito pelo projetista no CAD – (PRO-E), seguindo alguns procedimentos que garantem que o SEMF irá analisar a peça de forma correta. Esses passos são importantes porque garantem que as informações apareçam no “*trail*” de modo compatível com a programação do SEMF (para um possível reconhecimento das *features*).

##### 4.1.2 Determinação *Trail* Atual

O SEMF trabalha sempre com o *trail* atual, porém há opção de escolher o *trail* anterior. Os arquivos *trail* são armazenados no diretório do Pro-E (na pasta Pro-E criada no drive C do microcomputador). Sendo assim possível o seu acesso. Outra forma seria criar um diretório de trabalho no PRO-E “*carcaça*” (este vai conter um arquivo como por exemplo o *trail.txt.35* desta peça).

Para escolher o *trail* atual o SEMF utiliza uma algoritmo, como por exemplo, se o diretório de trabalho do PRO-E tem 35 *trails* , isto quer dizer número de *trails* é igual a 35, ou seja  $n = 35$ . O algoritmo funciona da seguinte forma, existe o arquivo *trail.txt.1* (sim ou não), sim existe, se existe “*n*” tem valor igual a 1. Substituir o valor de  $n = 1$  na formula ( $n = n + 1$ ), ou seja , o “*n*” passa a ter valor 2 ( $n = 2$ ). Para  $n = 2$ , o algoritmo pergunta se existe o arquivo *trail.txt.2* (sim ou não), se existe ele procura pelo seguinte. O ciclo termina depois que todos os *trails* do diretório são checados, neste caso o último valor possível para “*n*” é 36. O algoritmo pergunta se existe o *trail.txt.36* (sim ou não), não, então ele substitui o valor de  $n = 36$  na formula ( $n = n - 1$ ), ou seja,  $n = 36 - 1$  isto implica que  $n = 35$ , então o *trail.txt.35* é o último *trail* do diretório (*trail* atual).

##### 4.1.3 Ler Arquivo *Trail* E Reconhecimento Das *Features*

O SEMF trabalha com dois Banco de Dados. O primeiro armazena na memória RAM o texto contido no arquivo *TRAIL* gerado pelo PRO-E ao desenhar a peça, como por exemplo *features/create/Datum/Plano/Default/hole* etc. O segundo arquivo é do tipo CAD (banco de dados), ou seja, armazena as *Features* da peça com uma certa topologia (APD + LR), como por exemplo o mostrado na figura 2.

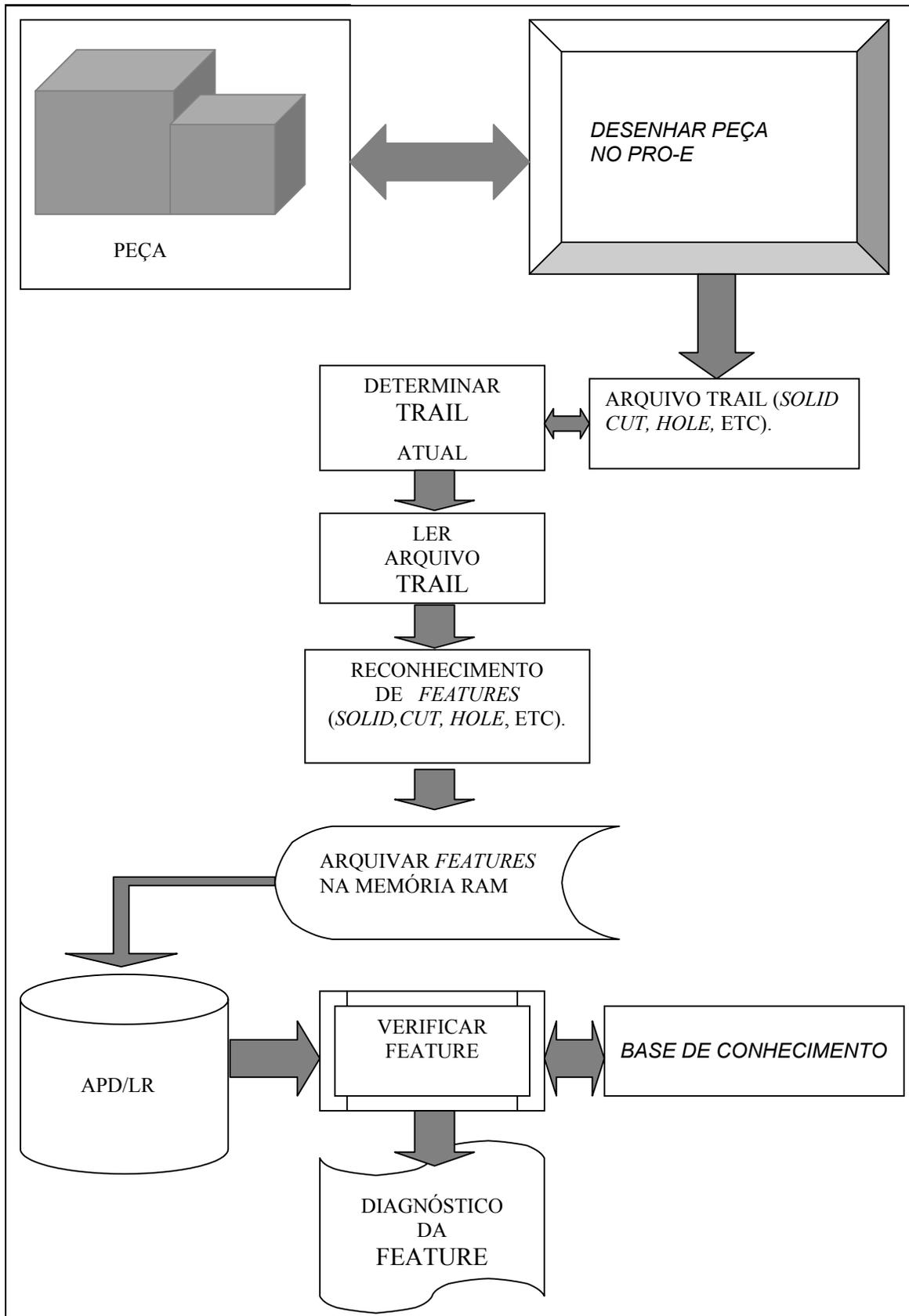


Figura 1. Fluxo de Atividades do SEMF.

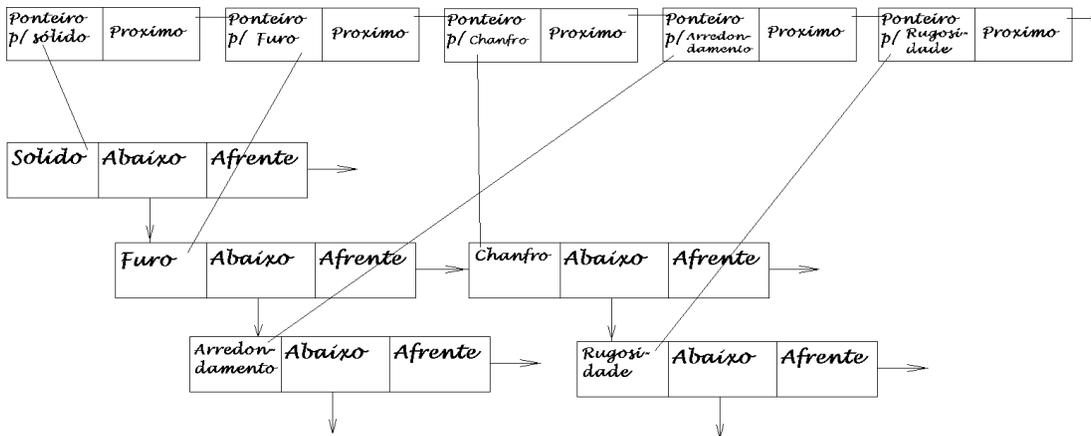


Figura 2. Exemplo de como as informações de um projeto estão dispostas na APD + LR (Hierarquia)

A figura 2 ilustra a topologia criada ao desenhar a peça da figura 3.

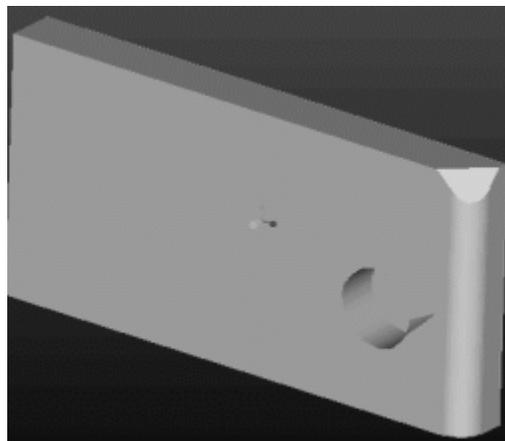


Figura 3. Exemplo de um sólido com um furo, um chanfro e um arredondamento (topologia).

O algoritmo utilizado no reconhecimento das *features*, inicia-se com a leitura do arquivo *trail* e com armazenamento das informações. Uma vez armazenado as informações contidas no *trail* entra em operação uma serie de procedimentos que procura as *features* e as armazena num banco de dados.

#### 4.1.4 Árvore Principal de Dados (APD) + Lista de Referência (LR)

A APD + LR são criadas na memória RAM do micro, ou seja, são semelhantes a de um sistema CAD (*model tree*). A APD + LR são formadas por uma unidade de informação e uma topologia.

a) Unidade de Informação:

A Unidade de Informação (UI) é uma base de dados que armazena informações do tipo:

- geométricas, como por exemplo linhas, planos, etc.;
- topológicas, como por exemplo um tetraedro;
- informações auxiliares, como por exemplo uma cor, uma tolerância, uma semântica etc.

Em resumo uma UI representa:

- Conjuntos de informações (geometria e fundido);
- Unidade de informação de mesmo nível hierárquico;
- Unidade de nível hierárquico imediatamente inferior.

b) Topologia

Através da topologia (Abaixo e Afrente), pode-se por exemplo decompor um Tetraedro. Onde estes são formados por Faces, Linhas, Vértices (Ponto).

A figura 3 que representa o desenho formado por um sólido, com um furo e um chanfro. O furo tem um arredondamento e uma rugosidade.

#### 4.1.5 Base de Conhecimento

Através da técnica de DFM pode-se prever uma manufatura facilitada, como por exemplo: prever o ângulo de desmolde, espessura mínima de parede, diâmetro mínimo do furo e raio de concordância, etc (BRALLA,1986).

Através de um conjunto de procedimento que usam informações contidas na APD/LR como entradas para uma tabela de decisão, pode-se criar a base de conhecimento e aplicar as regras.

As informações contidas na APD são do tipo: sólido, furo e corte sendo estas representadas por UI's. Através destas UI's é possível fazer a aplicação das regras.

Para aplicar uma regra existe um procedimento que é responsável por acionar uma dada ação selecionada. Ou seja, para cada *feature*, reconhecida pelo SEMF, existe um número de descrição de ação (sólido, furo e cut) e condição (espessura de parede, diâmetro mínimo do furo e dimensão/diâmetro<19mm). Por exemplo, ao verificar ação no sólido retangular, pode se constatar que somente a condição espessura de parede é que se aplica (diâmetro mínimo do furo e dimensão/diâmetro<19mm não se aplica ao sólido). Sendo assim o principio de utilização da tabela de decisão no SEMF.

#### 4.1.6 Verificar *Feature*

Tem a função de buscar na APD/LR as *features* reconhecidas e aplicar o conhecimento disponível (base de conhecimento - regras) (YOUNG,2000). Um exemplo de regra seria verificar se o diâmetro do furo é menor que o recomendado 19mm.

#### 4.1.7 Diagnóstico

Área de Trabalho do SEMF (Opção de Diagnóstico) pode ser visto na figura 5 resultado da checagem quanto violações encontradas. Ou seja, para cada *features* reconhecida existem regras que são checadas na base de conhecimento e verificado se estas violam ou não as regras armazenadas.

### 5. RESULTADO

#### 5.1 Exemplo de Aplicação

O exemplo de aplicação mostrado na figura 4 parte do projeto feito no CAD (PRO-E) onde a peça é construída passo a passo (*features* tais como: furo, corte diâmetro, etc.) e checadas pelo programa SEMF. Estas *features* são checadas no que diz respeito a espessura de parede, diâmetro mínimo do furo, dimensão mínima do corte é recomendação para diâmetro menor que 19mm.

A construção da peça foi realizada utilizando-se o CAD (PRO-E) para o desenho e o programa SEMF para verificar possíveis violação.

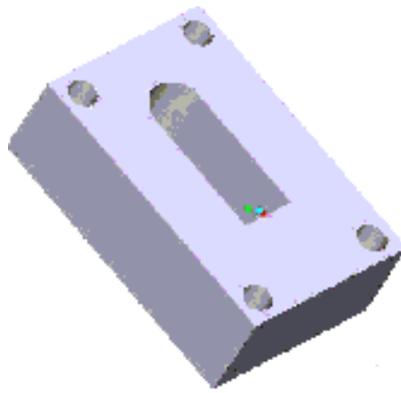


Figura 4. Peça a ser construída e checada.

Etapas na construção da peça:

1. desenhar [CAD (PRO-E)] o prisma sólido, ou seja a *feature* básica;
2. acionar o SEMF e clicar no botão “carregar”, da figura 5 tem-se o resultado da checagem da *feature* básica (sólido) quanto a regra a ser checada;
3. desenhar o primeiro furo;
4. desenhar mais três furos de diâmetros menores e um de diâmetro maior;
5. desenhar o corte (cut) interno no furo de diâmetro maior;
6. checar a espessura de parede deixada entre os quatro furos feito no prisma sólido.

Para cada etapa (3 a 5) é possível fazer uma checagem como mostrado na etapa 2, para verificar se a *feature* desenhada sofre ou não violação quanto a regra a ser checada. Há opção de se desenhar todas as *features* e checa-las no final, ou seja verificar se alguma dessas sofre ou não violação.

A figura 5 mostra as principais funções do programa SEMF, que o usuário dispõe para checar um peça construída no CAD (PRO-E).

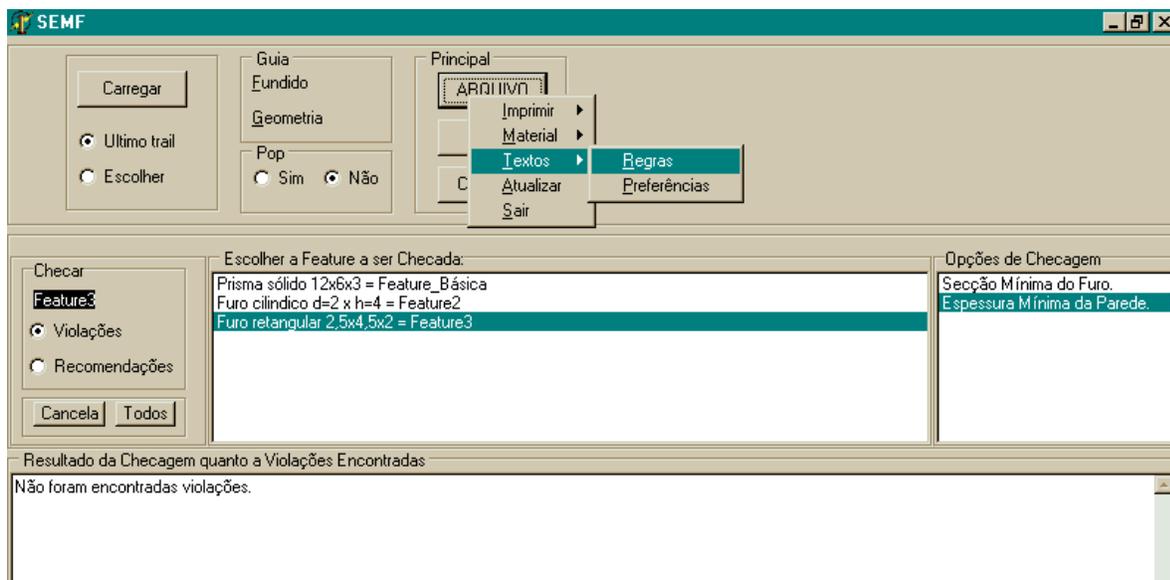


Figura 5. Tela do SEMF para fazer o reconhecimento das *features* e checagem quanto as violações.

## 6. CONCLUSÕES

Através da técnica de DFM associada a ferramenta computacional CAD e o programa SEMF é possível chegar as seguintes conclusões: o trabalho do projetista é facilitado; o tempo de desenvolvimento do projeto de peças fundidas é menor (*time-to-market*); prováveis erros de projeto são minimizados (regras implementadas); Possibilidade de implementação de novas regras, proporcionando um aumento no volume de soluções dos problemas (base de conhecimento); o programa SEMF faz a integração entre o CAD e a técnica DFM.; o programa é aberto e interativo.

## 7. REFERÊNCIAS

- ALBER, T.- *Creativity-tool for DFA*. **International Forum on DFMA**. Newport, RI USA. June 8 & 9 (2000).
- BRALLA, J. G. – “**Handbook of Product Design for Manufacturing - A Practical Guide for Low-Cost Production**”. New York: McGraw-Hill, (1986).
- CHEN, K.H., CHEN, S.J. Lin, L., CHANGCHIEN, S.W. – “An integrated graphical user interface (GUI) for concurrent engineering design of mechanical parts”. **Computer Integrated Manufacturing Systems**, v.11, nº1-2, 1998 p.91-112.
- GAYRETLI, A., ABDALLA, H.S. - *A feature-based prototype system for the evaluation and optimisation of manufacturing processes*. **Computers & Industrial Engineering**, v.37, 2000 p.481-484.
- KUSIAK, A.; LEE, G. H. – “Design of Part and Manufacturing Systems for Reliability and Maintainability”. **The International Journal of Advanced Manufacturing Technology**. Springer Veriag London Limited, v. 13 1997 p.67-76.
- KUSIAK, A.; WANG J. – “Decomposition of the design process. **Journal of Mechanical Design**”. v.115, 1993 p. 687-695, december .
- MEERKAMM, H.;WARTZACK, S. – “Potencial dos projetos orientados à manufatura”. **Máquina e Metais**. Aranda Editora – Abril 2001 p.136-147.
- PARAMETRIC TECHNOLOGY CORPORATION. – “**Introduction to Pro/Engineer. Release 20.0**”. Parametric Technology Corporation . USA (1998).
- YOUNG, C. F.; YOU, S. S. *Automatic Feature Recognition from engineering Drawings*. **The International Journal of Advanced Manufacturing Technology**. Springer Veriag London Limited, v. 14 2000 p.495-507.

## INTELLIGENT SYSTEM FOR DESIGNERS ASSISTANCE IN SAND CASTINGS PARTS

Silva, A. S. C., Universidade Federal de São João Del Rei –UFSJ - Departamento de Engenharia Mecânica – Praça Frei Orlando,170 - São João Del Rei –MG – Brasil - [e-mail: achaves@ufsj.edu.br](mailto:achaves@ufsj.edu.br)

Braga, D. U., Universidade Federal de São João Del Rei –UFSJ - Departamento de Engenharia Mecânica - Praça Frei Orlando,170 - São João Del Rei –MG – Brasil - [e-mail: durval@ufsj.edu.br](mailto:durval@ufsj.edu.br)

Gonçalves Filho, E. V., Universidade de São Paulo - EESC-USP - Departamento de Engenharia Mecânica – Av. Trabalhador São-carlense, São Carlos- SP – Brasil – [e-mail: evila@sc.usp.br](mailto:evila@sc.usp.br)

***Abstract.** In face of the competition of a part of the market, design is of extreme importance for the success of a product. Therefore it is necessary to assist the designer in the task to project, for example, a casting. This aid can be given through the technique Design for Manufacture (DFM) which uses information (guidelines) of handbook, catalogues, specialists, books, etc., which can be used in intelligent systems as the software Pro-Engineer - PRO-E (CAD). To use these knowledge in computational tool CAD (PRO-E) it is necessary to create a link between them. This link would be the Casting Parts Design Aided System System (SEMF) which has as the objective of assist the designer on development of the sand cast products. Through this integrated system (DFM/CAD/SEMF) it is possible to analyze a drawing of a casting made in CAD systems and to obtain a diagnosis on possible manufacture failures. The SEMF uses a knowledge base that congregates information to avoid possible defects relationship to the part geometry and the casting process. The drawing must follow an adequate procedure so that features created in the PRO-E can be recognized for the SEMF system, for a possible diagnosis of existing problems in the geometry of the part and/or the casting process. As product, software SEMF was developed and it revealed to be able to identify possible failures of projects, having as source the technique of Design for Casting parts Manufacture.*

***Keyword:** Simultaneous Engineering; Design For Manufacture; Computer Aided Design and Guidelines.*