

# IMPLEMENTAÇÃO DO PROGRAMA *ENGRENA* PARA DIMENSIONAMENTO DE SISTEMAS ENGRENADOS

**Jorge Nei Brito**

UFSJ - Universidade Federal de São João del Rei - brito@ufs.j.edu.br

Praça Frei Orlando, 170 - 36307-352 - São João del Rei - MG

**Alessandro Esteves de Jesus**

UFSJ - Universidade Federal de São João del Rei - alessandroesteves@yahoo.com.br

**Hermes Dias Godinho**

UFSJ - Universidade Federal de São João del Rei - hermesdias@yahoo.com.br

**Antônio Claret de Souza**

UFSJ - Universidade Federal de São João del Rei - aclaret@ufs.j.edu.br

**Resumo:** Neste trabalho apresenta-se a implementação do programa *ENGRENA*, desenvolvido em Visual Basic, para dimensionamento de sistemas engrenados. Os principais avanços foram uma nova interface, o banco de dados e o sistema de “Ajuda Eletrônica”. A nova interface fornece ao usuário maior agilidade e flexibilidade, facilitando a transmissão de informações, principalmente as gráficas. O banco de dados, desenvolvido através do programa Microsoft Access, permite que os dados de projeto sejam armazenados e rapidamente recuperados, oferecendo a possibilidade de exportação das especificações do projeto para softwares de CAD. O sistema de “Ajuda Eletrônica” é um recurso que permite realizar buscas por palavras-chave, esclarecer dúvidas conceituais sobre o projeto de sistemas engrenados, além de oferecer um tutorial desenvolvido para familiarização do uso do programa. Através desta implementação, o programa *ENGRENA* passa a ser uma ferramenta mais atrativa e amigável.

**Palavras Chave:** Engrenagem, Sistemas Engrenados, Ajuda Eletrônica, Interface Computacional

## 1. INTRODUÇÃO

Os sistemas engrenados têm raízes em épocas anteriores a Cristo, estando as engrenagens entre os mais antigos dispositivos inventados. Em meados de 250 a.C., Arquimedes utilizou o parafuso sem-fim e coroa em aparelhos de guerra. No primeiro século depois de Cristo, Vitruvius utilizou um par de engrenagens de ângulo reto para transmitir potência do eixo de uma roda horizontal para uma roda de eixo vertical de um moinho de pedra (Brito, 1999).

Dispositivos contendo engrenagens, utilizados para calcular as posições dos corpos celestes, apareceram no Oriente após o término do Império Romano. Provavelmente, foram levadas pelas Cruzadas entre os séc. XI a XIII. Nos cadernos de Leonardo da Vinci, foram encontrados esboços de engrenagens cilíndricas de dentes retos, cônicas e parafuso sem-fim e coroa (SAE, 1990).

É provável, que nenhum destes inventores tenham dado a necessária atenção para o problema de perfis de dentes cinematicamente corretos, o que permitiria uma relação de velocidades constante. Após a Revolução Industrial, meados do século XIX, a arte de projetar engrenagens passou a ser fundamentada em princípios científicos. Em 1893, Wilfred Lewis publicou uma fórmula para cálculo da tensão em engrenagens, ainda muito utilizada nos dias atuais (SAE, 1990).

Novas invenções conduziram à novas aplicações para engrenagens. A necessidade de engrenagens mais precisas e silenciosas pode ser percebida com o advento do automóvel.

Problemas de engrenamento continuam a surgir, à medida que aumentam as exigências de transmissão de potência e meios de transporte. As atuais necessidades da indústria incluem: simplicidade, confiabilidade e manutenibilidade. Estes fatores são acompanhados pela redução de custos, peso, tamanho e ruídos. Neste cenário, as técnicas convencionais de projeto devem ser atualizadas para incorporar as novas tecnologias (SAE, 1990).

O dimensionamento de sistema engrenados tem sido estudado por vários pesquisadores: (Rey *et al.* 1998; Zapico *et al.* 1998; Pertence e Junior 1999; Brito, 1999; Brito *et al.*, 1999 e Brito *et al.*, 2003).

Neste trabalho, apresenta-se a implementação do programa *ENGRENA*, desenvolvido em Visual Basic, para dimensionamento de sistemas engrenados. Os principais avanços foram uma nova interface, o banco de dados e o sistema de “Ajuda Eletrônica”. A nova interface fornece ao usuário maior agilidade e flexibilidade, facilitando a transmissão de informações, principalmente as gráficas. O banco de dados, desenvolvido através do programa Microsoft Access, permite que os dados de projeto sejam armazenados e rapidamente recuperados, oferecendo a possibilidade de exportação das especificações do projeto para softwares de CAD. O sistema de “Ajuda Eletrônica” é um recurso que permite realizar buscas por palavras-chave, esclarecer dúvidas conceituais sobre o projeto de sistemas engrenados, além de oferecer um tutorial desenvolvido para familiarização do uso do programa. Através desta implementação, o programa *ENGRENA* passa a ser uma ferramenta mais atrativa e amigável que está sendo usada na disciplina de Elementos de Máquinas II, do curso de Engenharia Industrial Mecânica, da UFSJ (Universidade Federal de São João del Rei). Está sendo preparado para ser usado na solução de problemas das indústrias.

## 2. IMPLEMENTAÇÃO DO PROGRAMA ENGRENA

### 2.1. Nova Interface

Na Fig. (1), tem-se o fluxograma do programa *ENGRENA*. A parte implementada, está destacada através da linha tracejada.

Na tela inicial do programa, Fig. (2), é possível escolher uma das opções: *Novo Projeto*, *Abrir Projeto* ou *Salvar Projeto*. Em destaque, tem-se os dados para o dimensionamento de um par de engrenagens cilíndricas de dentes retos.

The screenshot displays the 'Engrena - Projeto de Engrenagens Cilíndricas de Dentes Retos' window. It features a menu bar with 'Projeto', 'Exibir', and 'Ajuda'. Below the menu is a toolbar with 'Calcular' and 'Cancelar' buttons. A sidebar on the left contains three icons with labels: 'Novo Projeto' (gear icon), 'Abrir Projeto' (folder icon), and 'Salvar Projeto' (floppy disk icon). The main area is divided into sections for inputting gear data:

- Dados da Engrenagem:**
  - Tipo de Engrenamento: Externo
  - Posição da Engrenagem: Biapoiada
  - Material da Engrenagem: Aço SAE 4340
  - Dureza Brinell [Kgf/mm]<sup>2</sup>: 260 - 600
  - Dureza do Material [Kgf/mm]<sup>2</sup>: 260
  - Vida desejada para a Engrenagem [horas]: 10000
  - Razão Máxima (b / d): 1.2
  - Razão (b / d): 0.5
  - Número de Dentes do Pinhão: 29
  - Número de Dentes da Coroa: 110
  - Ângulo de Pressão  $\alpha$ : 20
- Dados do Acionamento:**
  - Tipo de Motor: Elétrico ou Turbina
  - Potência [CV]: 15
  - Rotação [rpm]: 1140
- Fatores de Serviço e Forma:**
  - Aplicação: Eixos de Transmissão
  - Duração da Aplicação: 10 horas
  - Tipo: Cargas Uniformes
  - Dimensionamento: Critério de Desgaste

At the bottom, a status bar reads: 'Entre com os dados relativos ao Par de Engrenagens a ser dimensionado.'

Figura 2. Tela inicial do programa *ENGRENA*

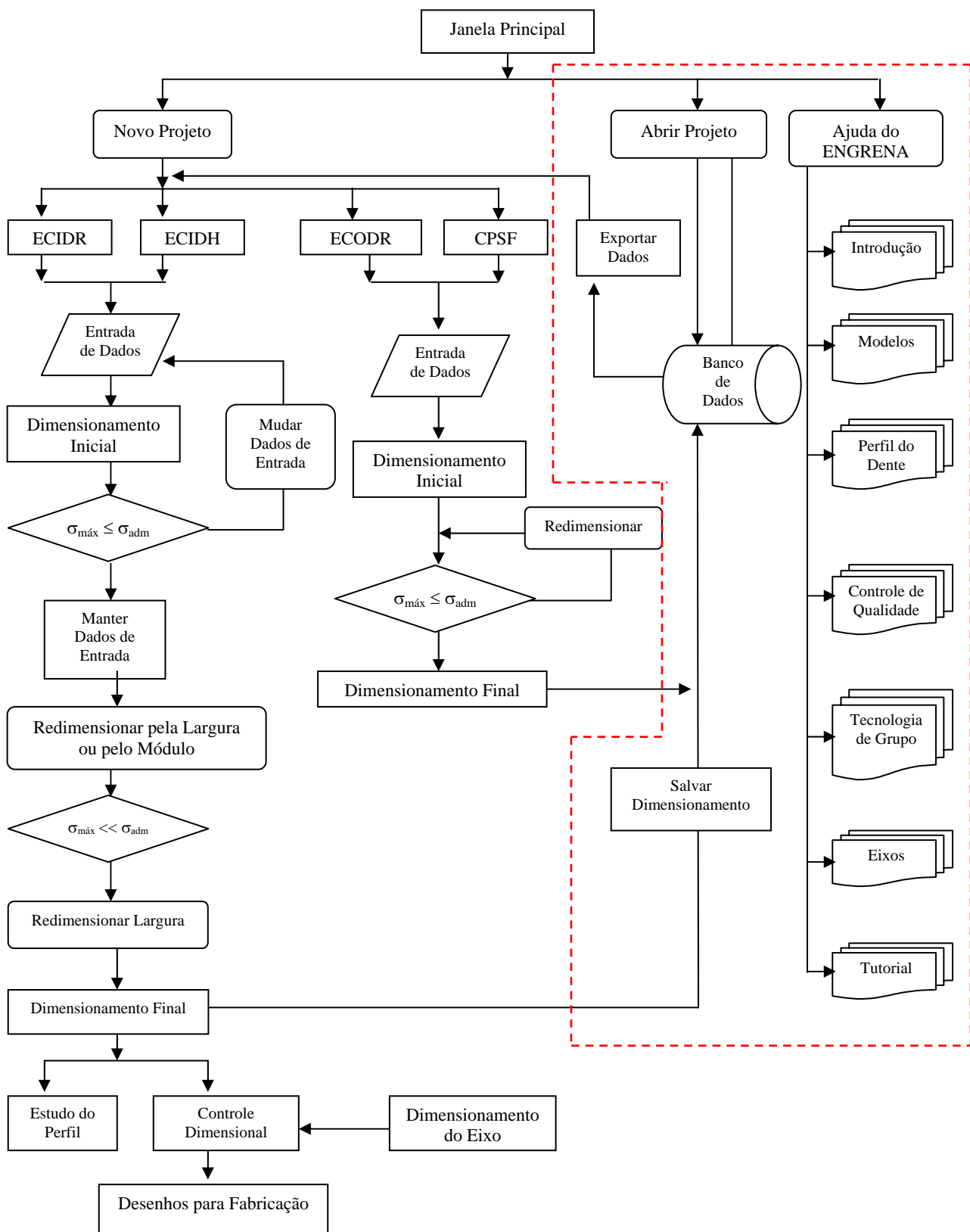


Figura 1. Fluxograma do programa *ENGRENA*

O programa *ENGRENA*, realiza uma série de testes para verificar se os dados de entrada estão de acordo com o tipo de engrenamento escolhido. Para qualquer variação nas especificações do projeto, é solicitado a sua correção antes de prosseguir o dimensionamento. Com todos os dados corretos, efetua-se o dimensionamento e verifica-se a resistência à flexão no pé do dente. Se for verificado um valor de tensão atuante superior à tensão máxima admissível, o programa oferece três opções: manter o material escolhido e redimensionar o par engrenado (pela largura ou pelo módulo); retornar à tela de entrada de dados e alterar apenas o material escolhido ou retornar à janela inicial e alterar outras variáveis de projeto. Se o valor de tensão atuante for menor do que o da tensão admissível, o programa encerra o dimensionamento.

Na Fig.(3), tem-se a tela com os resultados do dimensionamento. É possível visualizar: as características geométricas (dos dentes, do pinhão e da coroa), a relação entre as tensões atuante e admissível e o par dimensionado.

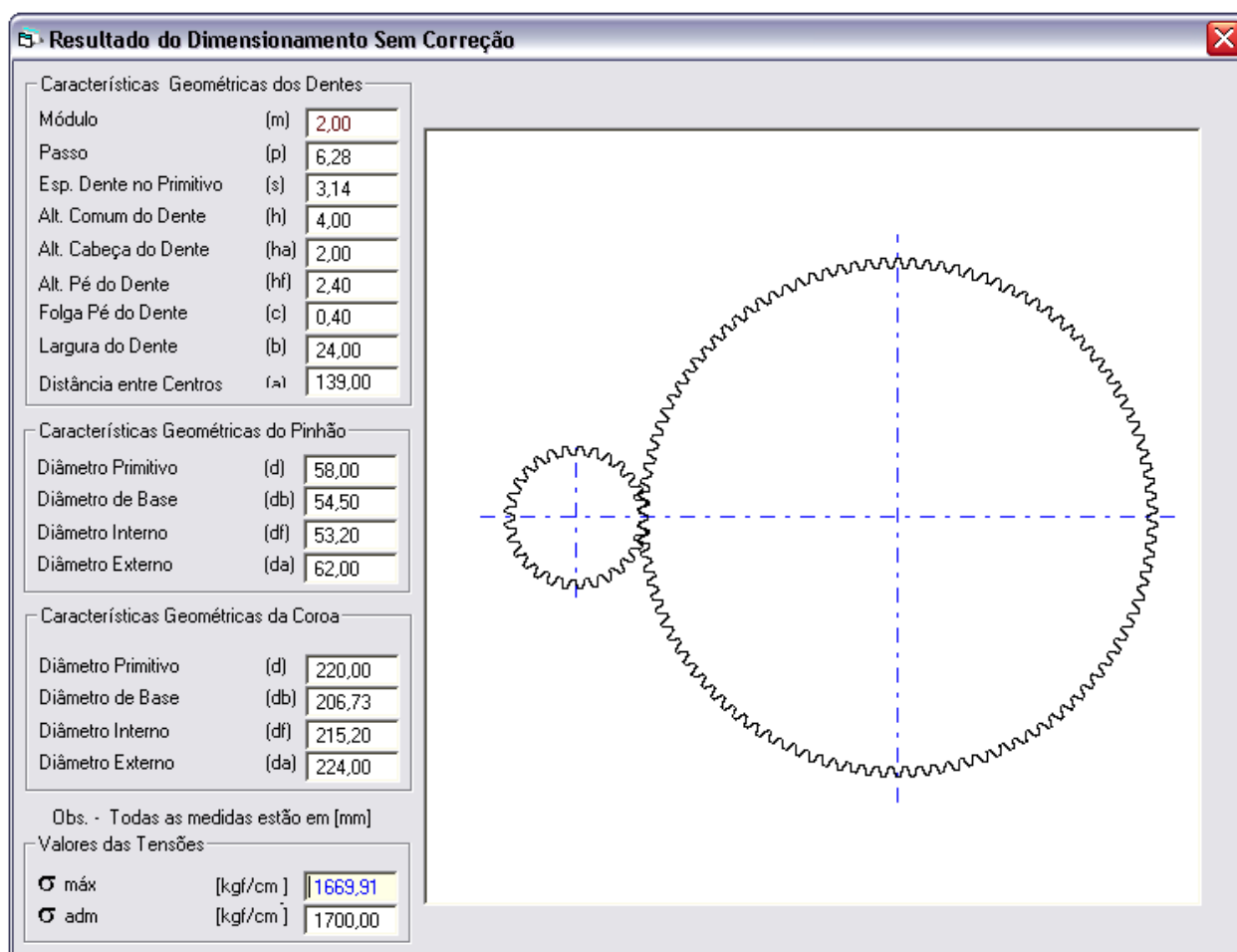


Figura 3. Resultado do Dimensionamento

Para as engrenagens cilíndricas, o programa *ENGRENA* permite realizar: correção do perfil do dente, cálculo do diâmetro dos eixos das engrenagens utilizando o método de *San Venant* e *Tresca*, estudo do controle da qualidade e erros de engrenamento.

Na Fig.(4), tem-se o desenho para fabricação, gerado a partir das especificações do projeto. Nele percebe-se a codificação do produto, desenvolvido a partir da Tecnologia de Grupo.

Através da Tecnologia de Grupo, é possível que as informações contidas nos desenhos de uma mesma família de peças, sejam recuperadas para utilização no projeto de uma nova peça ou produto, (Groover e Zimmers, 1984; Burbidge, 1975; Hyer e Wemmerlov, 1984; Hyer e Wemmerlov, 1988 e Hyer e Wemmerlov, 1989).

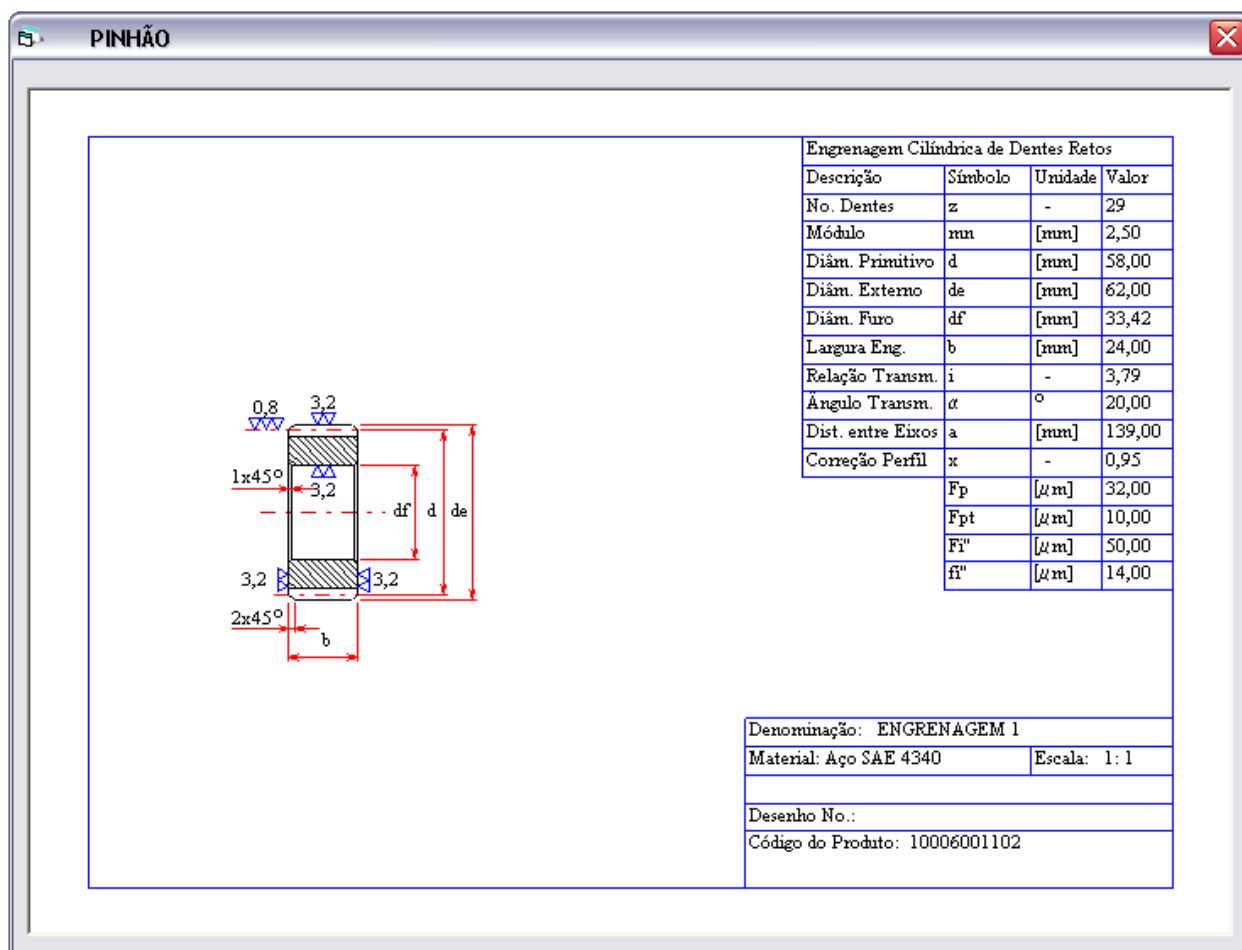


Figura 3. Desenho para fabricação com codificação através de tecnologia de grupo

## 2.2. Banco de Dados

Armazenar e recuperar dados, parece ser uma das mais importantes tarefas de um sistema informatizado. Conseqüentemente, dúvidas quanto ao melhor tipo de banco de dados, seu tamanho apropriado para uma determinada aplicação e as mudanças que o mesmo pode causar no código fonte de um aplicativo, surgem a todo momento.

Para implementação do banco de dados no programa *ENGRENA*, escolheu-se o *Microsoft Access*, devido à sua compatibilidade, velocidade e segurança com o *Visual Basic*.

A capacidade de efetuar consultas personalizadas, emissão de relatórios e compatibilidade com outros formatos de banco de dados, tornam o *Microsoft Access* uma ferramenta flexível para o uso em ambiente profissional.

Destaca-se também a possibilidade de interação com a *Internet*, ampliando as possibilidades de distribuição de documentos dentro da empresa e para os clientes.

O suporte fornecido pelo sistema operacional *Windows*, para troca de dados entre aplicativos, possibilita a integração do *ENGRENA* com sistemas de *CAD* específicos. Em um ambiente industrial, isso significa aumento da produtividade pela eliminação de erros construtivos ainda na fase de projeto. Através de simulações, pode-se prever possíveis falhas antes que as mesmas ocorram.

Na Fig. (4), tem-se a tela do *Banco de Dados* para as *Variáveis de entrada*.

**Banco de dados - ENGRENA**

**Projeto** Engrenagens Cilindricas de Dentes Retos  
**Ciente** Conem 2004

**Dados de Entrada**  
**Resultado do Dimensionamento**

**Dados de Entrada**

Dados da Engrenagem

Tipo de Engrenamento Externo

Posição da Engrenagem Biapoiada

Material da Engrenagem Aço SAE 4340

Dureza do Material [Kgf/mm<sup>2</sup>] 600

Vida desejada para a Engrenagem [horas] 10000

Razão (b / d) 0,25

Número de Dentes do Pinhão 29

Número de Dentes da Coroa 110

Ângulo de Pressão  $\alpha$  20

Dados do Acionamento

Tipo de Motor Elétrico ou Turbina

Potência [CV] 15

Rotação [rpm] 1140

Fatores de Serviço e Forma

Aplicação Eixos de Transmissão

Tipo Cargas Uniformes

Duração da Aplicação 10 horas

Dimensionamento Critério de Desgaste

Figura 4. Banco de Dados - Variáveis de entrada

Na Fig. (5), tem-se a tela do *Banco de Dados* para os *Resultados do dimensionamento*.

**Banco de dados - ENGRENA**

**Projeto** Engrenagens Cilindricas de Dentes Retos  
**Ciente** Conem 2004

**Dados de Entrada**  
**Resultado do Dimensionamento**

**Resultados do Dimensionamento**

Características Geométricas do Pinhão

Diâmetro Primitivo (d) 58

Diâmetro de Base (db) 54,5

Diâmetro Interno (df) 53,2

Diâmetro Externo (da) 62

Características Geométricas da Coroa

Diâmetro Primitivo (d) 220

Diâmetro de Base (db) 206,73

Diâmetro Interno (df) 215,2

Diâmetro Externo (da) 224

Características Geométricas dos Dentes

Módulo (m) 2

Passo (p) 6,28

Esp. Dente no Primitivo (s) 3,14

Alt. Comum do Dente (h) 4

Alt. Cabeça do Dente (ha) 2

Alt. Pé do Dente (hf) 2,4

Folga Pé do Dente (c) 0,4

Largura do Dente (b) 24

Distância entre Centros (a) 139

Valores das Tensões

$\sigma$  máx [kgf/cm<sup>2</sup>] 1669,91

$\sigma$  adm [kgf/cm<sup>2</sup>] 1700

Obs. - Todas as medidas estão em [mm]

Figura 5. Banco de Dados - Resultados do dimensionamento

### 2.3. “Ajuda Eletrônica”

A *Ajuda*, é uma meta-mensagem direta do analista de sistema para o usuário. Ou seja, o analista diz explicitamente o que considera ser o problema do usuário, a melhor solução e como procedeu para disponibilizar a ajuda, a fim de que a mesma possa ser utilizada na prática.

Atualmente, os sistemas de *Ajuda* costumam ser ignorados ou consultados apenas em última instância. Isto porque, geralmente, os usuários não vêm, de imediato, uma razão favorável de custo/benefício no acesso a tais sistemas.

A insatisfação dos usuários quanto aos módulos de *Ajuda*, está: na falta da informação específica desejada, na indisponibilidade da mesma quando necessário, na sua imprecisão quando encontrada e na dificuldade de trocar de contexto entre a aplicação e a *Ajuda*, (Silveira *et al.*, 2000).

O que os usuários gostariam de ter, quando recorrem à *Ajuda*, são respostas para suas dúvidas mais frequentes. Na Tab. (1), tem-se a taxonomia de dúvidas dos usuários.

Tabela 1. Taxonomia de dúvidas dos usuários (Silveira *et al.*, 2000)

Tipo de Pergunta	Exemplo de Perguntas
Informativa	Que tipo de coisas eu posso fazer com este programa
Descritiva	O que é isto? O que isto faz?
Procedimental	Como eu faço isto?
Interpretativa	O que está acontecendo agora? Por que isto aconteceu? O que isto significa?
Escolha	O que posso fazer agora?
Guia	O que devo fazer agora?
Motivacional	Por que eu devo usar este programa? Como ele irá me beneficiar?

A implementação da “*Ajuda Eletrônica*”, foi desenvolvida de acordo com essas tendências. Na Fig. (6), tem-se a tela de *Ajuda* do programa *ENGRENA*. Nela estão disponíveis toda fundamentação teórica, utilizada para o dimensionamento de sistemas engrenados.

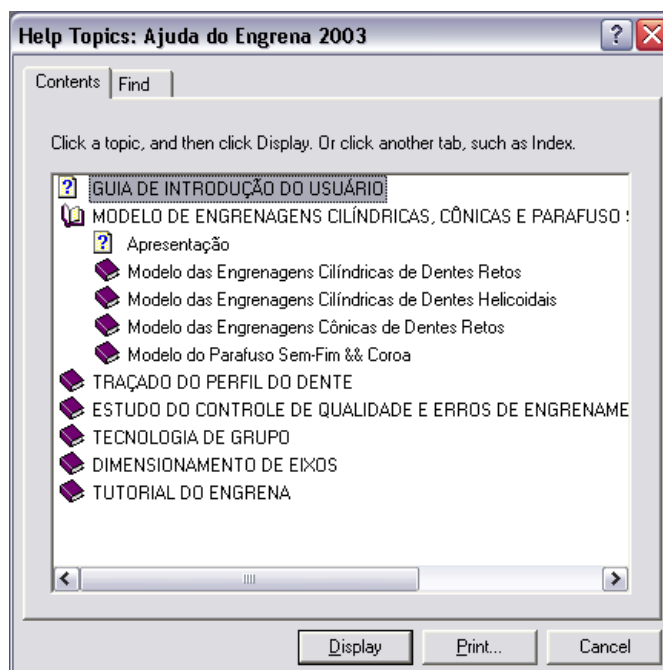


Figura 6. Estrutura hierárquica do sistema de “*Ajuda Eletrônica*”

Na Fig. (7), tem-se a consulta sobre engrenagens cilíndricas de dentes helicoidais.



Figura 7 - Página da “Ajuda Eletrônica

### 3. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A utilização de um Banco de Dados é justificada pela possibilidade de gerar um histórico dos projetos de engrenagens desenvolvidos pelo programa. Tendo em vista a importância da documentação na indústria moderna. O *Banco de Dados*, também permite que os resultados do dimensionamento sejam armazenados e rapidamente recuperados. Além disso, do ponto de vista didático, esse recurso agiliza as simulações em sala de aula. Dessa forma, não é necessário entrar com todas as variáveis de projeto, como acontecia na versão anterior, e sim apenas as variáveis de interesse.

No sistema de *Ajuda Eletrônica*, está disponível toda teoria necessária para o correto dimensionamento de sistemas engrenados. Através dele, também é possível efetuar buscas por palavras-chave e obter a informação desejada. A familiarização do usuário com o programa é obtida através desta ferramenta.

A principal dificuldade encontrada durante esta implementação, foi transferir o código fonte existente para a nova interface. Optou-se por manter o código, alterando somente o necessário. Ainda assim, seqüências de código tiveram que ser reescritas, a fim de implementar as modificações efetuadas na interface. Este procedimento amplia a possibilidade de inserção de erros no sistema. Para evitá-lo, separou-se as rotinas, tornando as variáveis de programação independentes. Conseqüentemente, obteve-se uma melhor eficiência, comprovada através de vários testes de desempenho.

Atualmente, encontram-se em fase de implementação as saídas gráficas para engrenagens cônicas de dentes retos e parafuso sem-fim e coroa. A capacidade de integração entre aplicativos



suportados pela plataforma *Windows*, oferece a possibilidade de utilizar o programa *MicroStation* na geração dos desenhos de fabricação e construção de células paramétricas.

Na continuação deste trabalho, pretende-se: implementar novos critérios de dimensionamento, especialmente engrenagens de perfis especiais; incluir o dimensionamento de chavetas e carcaças dos redutores e a especificação de rolamentos e elementos de vedação.

#### **4. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

- Brito, J.N., 1999, “Desenvolvimento de uma Interface Computacional Aplicada ao Projeto de Sistemas Engrenados”, Relatório Final FAPEMIG, 135p.
- Brito, J.N., Becker, M., Freitas, P. H. F., Dedini, F. G., 1999, “Desenvolvimento de uma Interface Computacional Aplicada ao Projeto de Sistemas Engrenados”, Proceedings of the 15th Brazilian Congress of Mechanical Engineering (CD-ROM), Águas de Lindóia, Brazil.
- Brito, J. N., Jesus, A., E., Godinho, H. D., Souza, A., C., 2003, “Implementação do Programa *ENGRENA*”, Anais do II Congresso de Iniciação Científica, UFSJ - Universidade Federal de São João del Rei, Brasil.
- Burbidge, J.L., 1975, “Introduction of Group Technology”, Ed. Heinemann, London
- Groover, M. P., Zimmers, Jr. E. W., 1984, “CAD/CAM Computer Aided Design and Manufacturing”, Prentice Hall, New Jersey.
- Hyer, N.L. & Wemerlov, U., 1984, “Group Technology and Productivity”, Harvard Business Review, July-August.
- Hyer, N.L. & Wemerlov, U., 1988, “Assessing the Merits of Group Technology”, Manufacturing Engineering, pp.107-109.
- Hyer, N.L. & Wemerlov, U., 1989, “Group Technology in the US Manufacturing Industry: a Survey of Current Practices”, International Journal of Production Research, vol. 27, n° 8, pp.1287-1304.
- Pertence, A. E. M., Junior, L. M. L., 1999, “Desenvolvimento de um Programa Didático para o Cálculo de Engrenagens Cilíndricas”, Revista de Ensino de Engenharia da ABENGE - Associação Brasileira de Ensino de Engenharia, N° 19, p 31 – 39.
- Rey G.G., Toll, A.G. & Ballester, V.G., 1998, “Procedimiento para la Obtención de la Geometría Básica de Engrenajes Eelíndricos a Reconstruir”, 8° Congreso Chileno de Ingeniería Mecânica, Universidade de Concepción, Chile, outubro, pp. 51-56.
- SAE International, “Gear Design, Manufacturing and Inspection Manual”, 1990
- Silveira, M.S., Barbosa, S.D.J., de Souza, C.S., 2000, “Modelo e Arquitetura de Sistemas de Help Online”, IHC 2000 III Workshop de Fatores Humanos em Sistemas Computacionais, Gramado. Porto Alegre.
- Zapico, A.O., Sanches, A.B. & Velasco, J.M.S, 1998, “Possibilidades de empleo de los mecanismos planetários simples de doublé engrane”, 8° Congreso Chileno de Ingeniería Mecânica, Universidade de Concepción, Chile, outubro, pp. 57-60.

### **IMPLEMENTATION OF *ENGRENA* SOFTWARE TO THE DESIGN OF THE SYSTEMS OF GEARS**

**Jorge Nei Brito**

UFSJ - Universidade Federal de São João del Rei - brito@ufs.ju.br

Praça Frei Orlando, 170 - 36307-352 - São João del Rei - MG

**Alessandro Esteves de Jesus**

UFSJ - Universidade Federal de São João del Rei - alessandroesteves@yahoo.com.br

**Hermes Dias Godinho**

UFSJ - Universidade Federal de São João del Rei - hermesdias@yahoo.com.br

**Antônio Claret de Souza**

UFSJ - Universidade Federal de São João del Rei - aclaret@ufsj.edu.br

**Abstract:** *The implementation of ENGRENA software to the design systems of gears is shown. The mains progresses are: new interface, bank of data and the system of “Help on Line”. The new interface provides more agility and flexibility to the user, making easy the transmission of information, mainly the graphic information. The bank of data, developed through the Microsoft Access software, allows that the data of design are quickly stored and recovered, offering the possibility to export them to CAD software. The system of “Help on Line” allows realizing search of keyword, to become clear concepts doubts about the design of systems gears, beyond to provide one tutorial developed to have familiarity with the software. Through this implementation, the ENGRENA software becomes a more attractive and friendly tool.*

**Keywords:** *Design of gears, ENGRENA software, Interface, Bank of data, Help on line*