

Boletim Técnico da Escola Politécnica da USP
Deptº de Engª de Computação e Sistemas Digitais

BT/PCS/9402

**Modelamento Geométrico
usando os Operadores
Topológicos de Euler**

Geraldo Maciel da Fonseca
Maria Alice Grigas Varella Ferreira

São Paulo - 1994

O presente trabalho é baseado na dissertação de mestrado de mesmo título, apresentada em 1993, pelo Eng^o Geraldo Maciel da Fonseca, sob orientação da Profa. Dra. Maria Alice Grigas Varella Ferreira.

A íntegra da dissertação encontra-se à disposição com o autor e na Biblioteca de Engenharia de Eletricidade da Escola Politécnica da USP.

Fonseca, Geraldo Maciel da
Modelamento geométrico usando os operadores topológicos de Euler / G.M. da Fonseca, M.A.G.V. Ferreira. -- São Paulo : EPUSP, 1994.

P. -- (Boletim Técnico da Escola Politécnica da USP, Departamento de Engenharia de Computação e Sistemas Digitais, BT/PCS/9402)

1. Computação gráfica 2. Sólidos - Modelamento geométrico 3. CAD/CAM I. Ferreira, Maria Alice Grigas Varella II. Universidade de São Paulo. Escola Politécnica. Departamento de Engenharia de Computação e Sistemas Digitais III. Título IV. Série

CDD 006.6
516.06
670.285

MODELAMENTO GEOMÉTRICO USANDO OS OPERADORES TOPOLÓGICOS DE EULER

Autores

Geraldo L. Maciel Fonseca & Maria Alice V. V. Ferreira
EPUSP/PCS-e-mail: magvferr@brusp.bitnet
Av. Prof. Luciano Gualberto - travessa 3 - nº 158
Cidade Universitária "Armando de Salles Oliveira"
05508 São Paulo - SP.

Resumo

Este trabalho descreve um sistema de modelamento de sólidos baseado no Modelamento por Fronteiras que se utiliza de uma estrutura de dados denominada de Estrutura Semi-Aresta ("Half-Edge Structure"), manipulada por algoritmos baseados nos Operadores de Euler, associada a um ambiente de visualização e interface de usuário.

Palavras-Chave

Modelamento Geométrico de Sólidos, Representação por Fronteiras, B-REP, Operadores de Euler, CAD/CAM, Compugrafia.

1. INTRODUÇÃO

O Modelamento Geométrico de Sólidos constitui a base dos sistemas de projeto/manufatura auxiliados por computador ou CAD/CAM. Um modelo de sólido é a representação em computador, de forma não ambígua, de um objeto fisicamente realizável e o modelador é responsável pela criação, manipulação e armazenamento de toda informação que descreve o objeto, permitindo visualização espacial, recuperação de informações e o cálculo de propriedades geométricas (massa, volume, momento de inércia) ou físicas (deformabilidade, aspecto) [13, 14, 15, 16].

Este trabalho descreve um sistema de modelamento de sólidos baseado no Modelamento por Fronteiras que se utiliza de uma estrutura de dados denominada de Estrutura Semi-Aresta ("Half-Edge Structure") [12] manipulada por algoritmos baseados em Operadores de Euler [8, 9, 10, 11, 12, 17, 19, 20] e associada a um ambiente de interface com o usuário.

O sistema foi desenvolvido preliminarmente como ferramenta de apoio ao ensino e pesquisa nas áreas de Computação Gráfica e CAD/CAM, podendo no futuro evoluir para um Modelador Híbrido, à medida que novas extensões venham a ser feitas no núcleo central. Dessa forma, esta ferramenta para uso didático teve que apresentar características especiais que facilitassem o aprendizado: interface interativa e amigável, estrutura simples, comandos em número reduzido e fáceis de se memorizar, número reduzido de parâmetros em cada comando, entrada de comandos ou parâmetros de forma simples, facilidades para a correção dos comandos e da base dados e auxílio ao usuário "on line" [17]; assim, cuidados particulares foram tomados quanto à elaboração da interface de comunicação visando garantir um mínimo de requisitos exigidos. Por outro lado, a expansibilidade do sistema foi um outro requisito importante na especificação do projeto. O sistema dispõe de

uma interface que permite visualizar a construção do sólido passo a passo, o que é um recurso valioso para o entendimento das relações topológicas.

Os Operadores de Euler funcionam como uma interface entre o programa aplicativo e a representação interna do modelo B-REP; algoritmos que visem a utilização de novas estruturas de dados poderão ser facilmente implementados sob esta camada, sem que as camadas superiores do programa sejam afetadas. Por outro lado, um núcleo B-REP permitirá que se possa desenvolver sobre ele vários trabalhos experimentais e de pesquisa, ligados ao comportamento de algoritmos de visualização ou de modelamento geométrico; pode-se citar, por exemplo, a manipulação de operadores locais, a representação de objetos de superfícies de forma livre ("free form surfaces"), a implementação de operadores de manipulação, a geração de malhas de elementos finitos (FEM) e a conversão entre modelos diferentes de representações de objetos; por outro lado, as facilidades para visualização oferecidas por esta representação permitem o estudo de algoritmos de eliminação de superfícies escondidas, tratamento da luz e de texturas. [1, 2, 3, 4, 6, 7, 18].

O sistema de Modelamento de Sólidos foi batizado de BREULER (pronuncia-se bróiler) numa alusão a modelador B-REP com Operadores de EULER.

2. CARACTERÍSTICAS DE PROJETO DO SISTEMA BREULER

O sistema BREULER foi concebido preliminarmente visando-se o auxílio às disciplinas de Computação Gráfica no que diz respeito ao ensino dos modeladores de sólidos. O estudo de diferentes esquemas de modelamento de sólidos envolve não somente o conhecimento das características de cada filosofia de modelamento, como também o projeto e teste de algoritmos e estrutura de dados vinculados ao modelo ou para conversão entre modelos. Nestes aspectos, o sistema BREULER permite que o aluno possa estudar mais a fundo as características do modelamento de sólidos por fronteiras, os Operadores de Euler, bem como agregar ao sistema algoritmos próprios. Neste último caso, os algoritmos a serem agregados deverão ser escritos pelo aluno e ligados ao sistema.

Utilizou-se o ambiente TURBO-C++ versão 1.0 da Borland. Embora o compilador utilizado suportasse a extensão para objeto, C++, apenas uma parte do sistema valeu-se desta metodologia, como por exemplo, as funções de suporte à visualização.

As características fundamentais de projeto do sistema BREULER são:

- a) Interface amigável: Desenvolvida no estilo TURBO-C, composta de menus "pull-down", e teclas de acesso rápido. Este estilo de interface permite que se visualize de forma horizontal as funcionalidades principais do sistema; escolhendo-se uma delas, a opção é detalhada de forma verticalizada. Outra vantagem é a manutenção da linguagem de interface quando da utilização do ambiente de desenvolvimento TURBO-C++.
- b) Operações unitárias de Operadores de Euler: A definição de um sólido é feita através da especificação dos operadores que irão detalhar a geometria e topologia do sólido. A cada operação unitária, os dados são verificados para se evitar os erros relativos às inconsistências no fornecimento de parâmetros. Isto permite que o usuário possa solidificar a atuação dos Operadores de Euler durante o processo construtivo, sobre uma geometria ainda incompleta, permitindo que se tenha conhecimento de quais entidades são relevantes à construção de uma nova etapa do sólido. Por exemplo, para a construção de uma nova aresta, devem ser passados parâmetros que garantam a orientação original das arestas já presentes na face em questão. Isto se faz

através da amarração com a aresta anterior, com a face atual e o ponto final da aresta; inconsistências podem surgir à medida que a definição possa envolver uma orientação inválida, incompatível com a face, ou então com pontos fora do plano da face.

- c) Operações de Visualização: Permite que o usuário possa visualizar o sólido gerado passo a passo, de acordo com as definições de projeção. Para este sistema, existe a possibilidade da projeção paralela e da perspectiva. À medida que o sólido for sendo construído, o tratamento de visualização vai sendo dada a cada nova aresta, face ou ponto. O "rendering" de um sólido completo pode ser visualizado com tratamento de linhas escondidas. Uma visualização realística pode ser realizada agregando-se novas funções do usuário ao sistema.
- d) Tratamento de arquivos: Permite que o trabalho de definição de um sólido seja guardado e recuperado em arquivos. Possui as funções clássicas de tratamento de arquivos: abrir, salvar, salvar com outro nome e limpar. Inclui também uma saída para ativação de comandos do sistema operacional.
- e) Extensão ao usuário: Permite que o usuário coloque funções próprias que se utilizem da base de dados do sistema para teste de novos algoritmos. O usuário pode criar entradas para o menu, através de definições próprias, formando assim várias rotinas ou pode optar por escrever apenas uma única rotina, ativada diretamente pelo menu principal.
- f) Ajuda: Permite que se obtenha ajuda para cada função do sistema, através do uso da tecla F1, ou através do menu. A ajuda com a tecla F1 é contextualizada, ou seja, apresenta uma explicação a respeito da tarefa sendo desempenhada pelo usuário no instante da ativação. A ajuda fornece informações relativas ao modo de utilização, parâmetros e resultados de cada função.

2.1. Estrutura do Sistema

A figura 2.1. mostra a arquitetura do Sistema BREULER, com os principais módulos descritos.

- a) Interface: Encarregada de gerenciar a interface do sistema com o usuário, através de rotinas que implementam a manipulação de janelas de menus estilo TURBO-C. Este módulo foi feito utilizando-se das facilidades de um Gerenciador de Menus [5]. Os menus são descritos através de uma linguagem de descrição, a partir do qual são montados, e atribuídas características como posicionamento, cor e letras em destaque. Estes menus são dispostos em forma de árvore onde as folhas constituem rotinas implementadas pelo usuário. Possui dois níveis: o primeiro descreve um menu horizontal, com todas as macro funções do sistema; o segundo descreve os menus verticais associados a cada entrada do menu horizontal. A figura 2.2 mostra o exemplo deste tipo de interface, numa das telas do Sistema BREULER.
- b) Despacho de Comandos: Este módulo gerencia a vinculação dos comandos às rotinas internas do sistema.
- c) Transformações: Módulo encarregado de gerar as transformações geométricas e de visualização para a projeção do desenho em tela. Para a visualização em três dimensões na tela bidimensional do computador, faz-se necessário a transformação dos dados, compostos por coordenadas tridimensionais, de forma a poder refletir a "ilusão" de tridimensionalidade da imagem. Isto se faz através da transformação da imagem, com o uso de projeções perspectivas ou paralelas. Para que a

imagem não saia além dos limites da tela, faz-se necessário o "clipping" da mesma, implementado também neste módulo.

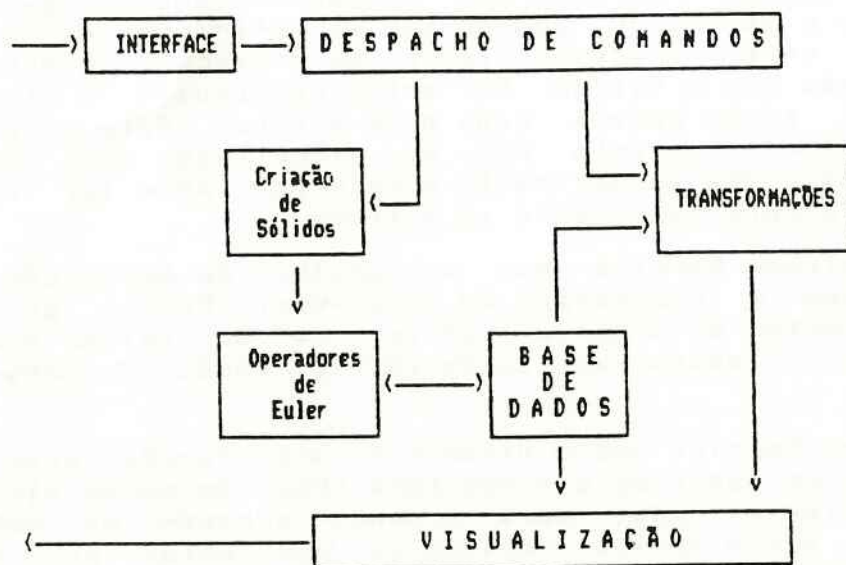


Figura 2.1.: Arquitetura do Sistema BREULER.

- d) Criação de Sólidos: Módulo que coordena a criação de um sólido, passo a passo, através das operações unitárias dos Operadores de Euler. Este módulo está vinculado à opção Operadores do menu horizontal do sistema. Cada uma das operações é "checada" para evitar o fornecimento de parâmetros inconsistentes. A figura 2.3 mostra o menu com o Operadores de Euler.
- e) Operadores de Euler: É um módulo de nível inferior, fortemente vinculado à implementação da estrutura de "Semi-Aresta", e que promove o acesso efetivo à base dados. Este módulo é ativado, apenas após a verificação dos parâmetros, pelo módulo de criação de sólidos. Estes algoritmos são a base para a manipulação dos dados do modelador B-REP. Todo e qualquer acesso para mudança na base de dados devem passar por esta interface.
- f) Base de Dados: O módulo de base de dados, implementa as rotinas encarregadas de manipulação das diversas listas que compõem a estrutura de dados do sistema BREULER.
- g) Visualização: Implementa o "rendering" do sólido sendo gerado. Este "rendering" é feito de forma simples, através da apresentação no formato de armação de arame e eliminação de linhas escondidas.

Outros módulos não presentes na figura 2.1, mas que fazem parte do sistema BREULER, são:

- h) Tratamento de Arquivos: Implementa as facilidades de tratamento de arquivos, relativamente a salvar e recuperar informações de trabalho, bem como acesso ao sistema operacional.
- i) Rotinas do Usuário: Permite que o usuário defina seus próprios procedimentos para testes. Com este módulo pode-se, por exemplo, testar novos algoritmos de "rendering" da imagem.

Arquivo	Operadores	Tela	Utilitarios	uSuario	Help F1
Abrir	F3				
Novo					
Salvar	F2				
salvar Como					
DOS					
Fim					
F1-Help F5-Mostra Tela (Qualquer tecla retorna)					

Figura 2.2. Tela mostrando a interface com o Sistema BREULER.

Arquivo	Operadores	Tela	Utilitarios	uSuario	Help F1
	A MVFS				
	B KVFS				
	C MEV				
	D KEV				
	E MEF				
	F KEF				
	G MFKRH				
	H KFM RH				
	I MEKR				
	J KEKR				
	Z DESFAZ				
F1-Help F5-Mostra Tela (Qualquer tecla retorna)					

Figura 2.3. Menu com os Operadores de Euler.

2.2 Árvore de Comandos

A árvore de comandos especifica as ações que podem ser tomadas pelo usuário através da navegação pelos diversos menus que são formados por dois níveis. Esta descrição fornece a entrada para cada um dos comandos presentes no menu horizontal.

2.2.1. Arquivos

Opção encarregada de gerenciar o tratamento de arquivos. É composta das seguintes opções:

- **Abrir:** Permite que um arquivo de descrição de sólidos seja recuperado. Ao ser ativada, abre uma janela para a entrada do nome do arquivo, que deve ser fornecido pelo usuário. O arquivo será interpretado como uma base de dados descritora de sólidos. Se houver um arquivo em tratamento, pergunta se deseja salvar ou perder as alterações porventura efetuadas;

- Novo: Indica ao sistema que se deseja começar uma nova definição de sólido, limpando toda a base de dados. Se houver um arquivo em tratamento, pergunta se deseja salvar ou perder as alterações porventura efetuadas;
- Salvar: Permite que a base de dados descritiva do sólido em questão seja guardada em arquivo, com o mesmo nome quando da abertura. No caso de se tratar de uma base de dados nova, não associada a arquivo, solicita o nome de um arquivo.
- Salvar Como: Permite salvar o conteúdo atual da base de dados com um nome diferente daquele atribuído originalmente quando da abertura do arquivo. Este arquivo será, agora, aquele utilizado para a operação de salvamento.
- DOS: Permite um acesso ao sistema operacional. O retorno ao BREULER se dá teclando exit, no "prompt" do DOS.
- Fim: Finaliza o BREULER, voltando-se ao DOS. Faz tratamento para a base de dados ainda não salva em arquivo, solicitando confirmação para o usuário.

2.2.2. Operadores

Opção que implementa o módulo de geração de sólidos. É formado por uma lista de operadores unitários, para a definição passo a passo do sólido. As letras em destaque fornecem uma maneira rápida de acesso aos operadores, sem ser preciso passar-se pelos menus. Os parâmetros fornecidos visam familiarizar o usuário com as características próprias da base de dados e da topologia do modelo B-REP. Os Operadores de Euler disponíveis como comando são:

- A MVFS: Cria um sólido composto de um vértice, e uma face. Solicita ao usuário os parâmetros: identificador do novo sólido, identificador da face, identificador do vértice, e sua posição;
- B KVFS: Elimina da base de dados um sólido formado por apenas um vértice e uma face. Qualquer outra condição causará a emissão de uma mensagem de erro.
- C MEV: Cria uma nova aresta e um novo vértice, tendo como partida um vértice e uma orientação fornecidas. Pode ser usado também para inserir uma aresta entre duas outras arestas. Para tanto, o usuário deverá fornecer os seguintes parâmetros: identificador do sólido onde a operação será realizada, identificador de face que conterá a aresta; identificador da aresta adjacente à face anterior - a omissão pressupõe que as faces são iguais, identificação da aresta anterior à nova aresta a ser inserida, através da identificação dos seus vértices, $(v_1 \rightarrow v_2)^1$, identificação da aresta posterior à aresta a ser inserida, através da identificação dos seus vértices $(v_2 \rightarrow v_3)$ e o identificador do novo vértice, v_4 . O sistema então criará uma aresta definida por $v_2 \rightarrow v_4$.
- D KEV: Elimina uma aresta e um vértice, ligando o vértice final da aresta anterior com o vértice inicial da aresta posterior à eliminada. Os parâmetros a serem fornecidos são: identificador do sólido onde a operação será realizada, identificador da face que contém a aresta, vértice final da aresta anterior e o vértice inicial da aresta posterior.

1 - A notação $v_n \rightarrow v_m$ indica uma aresta entre os vértices v_n e v_m , orientada de v_n para v_m .

- E MEF: Cria uma face, conectando dois vértices com a criação de uma aresta. Pode ser usado também para dividir uma face em duas, separando o anel que a define em dois anéis, um para cada face. Deve-se fornecer os seguintes parâmetros: identificador do sólido onde a operação será realizada, identificador da face que contém o anel, aresta cujo vértice inicial será o vértice inicial da nova aresta, identificada através de seus vértices $(v_1 \rightarrow v_2)$, aresta cujo vértice inicial será o vértice final da nova aresta a ser construída, também identificada através de seus vértices, $(v_3 \rightarrow v_4)$ e o identificador da nova face.
- F KEF: Elimina uma face, através da eliminação de uma aresta, juntando os anéis da face eliminada aos anéis de outra face adjacente. Requer os seguintes parâmetros: identificador do sólido onde a operação será realizada, identificação da face da aresta a ser eliminada, através da identificação dos seus vértices $(v_1 \rightarrow v_2)$. A face adjacente é obtida através da aresta fornecida.
- G MFKRH: Cria uma face a partir de um anel interior a uma outra face. O anel interior deixa de pertencer à face de origem, torna-se uma nova face, com o anel sendo a fronteira mais externa da nova face. Requer os seguintes parâmetros: identificador do sólido onde a operação se dará, identificador da face que contém o anel, uma aresta do anel, através da identificação de seus vértices $(v_1 \rightarrow v_2)$ e o identificador da nova face.
- H KFMHRH: Elimina uma face, formada apenas por um anel, fazendo com que este seja um dos anéis internos de uma outra face. Os seguintes parâmetros são necessários: o identificador do sólido, identificador da face a ser eliminada e o identificador da face que conterá o anel.
- I MEKR: Cria uma aresta entre dois anéis, eliminando um dos anéis. A aresta ocorrerá duas vezes no novo anel, ao se percorrer o trajeto definido pelos vértices. Requer os seguintes parâmetros: identificador do sólido, identificador da face que contém os anéis, indicação do primeiro anel, através da identificação de dois vértices de definem uma aresta neste anel $(v_1 \rightarrow v_2)$ e indicação do anel a ser eliminado, através da identificação de dois vértices que definem uma aresta neste anel $(v_3 \rightarrow v_4)$. O sistema eliminará o anel anterior, ligando uma aresta através de $v_1 \rightarrow v_3$. Neste anel ocorrerão as semi-arestas $v_1 \rightarrow v_3$ e $v_2 \rightarrow v_4$.
- J KEMR: Elimina uma aresta que ocorre duplamente numa face, criando um anel interno à face. Requer os seguintes parâmetros: identificador do sólido, identificador da face, indicação da aresta dupla, através da identificação de seus vértices $(v_1 \rightarrow v_2)$.
- Z DESFAZ: Em virtude da complexidade de determinação dos parâmetros e possíveis erros de definição, este operador desfaz a última operação realizada, fazendo com que a base de dados volte ao estado anterior à aplicação de um dos vários operadores descritos.

2.2.3. Tela

Controla as características de visualização do sistema BREULER. Permite controlar a forma de projeção, o "rendering" e definir parâmetros de projeção, sendo composto das seguintes opções:

- Visualiza F5: Como a tela encontra-se normalmente em modo texto, esta opção permite que o usuário chameie a tela para modo gráfico, a fim de observar o sólido sendo gerado;
- Projeção: Define a projeção escolhida: Perspectiva ou Paralela;

- **Ponto de Vista:** Define a posição do ponto de vista da projeção, que deverá ser fornecida pelo usuário;
- **Referência:** Define a direção do ponto de vista. A referência, ligada ao ponto de vista, define a direção de visualização a ser empregada;
- **Linha escondida:** Indica se o sistema fará ou não o tratamento de eliminação de linhas escondidas. A desativação é conveniente durante o processo de geração, a fim de se acelerar a visualização. Esta opção pode ser "Sim" ou "Não".

2.2.4. Utilitário

Opção que permite a visualização da base de dados sendo gerada. Durante o processo de testes do sistema, mais particularmente dos Operadores de Euler, verificou-se que a complexidade da base de dados é muito grande. Para a depuração dos algoritmos baseados neste tipo de modelamento, usava-se constantemente a análise da base de dados. Foi necessário, portanto, a criação de facilidades para a visualização desta, a qual é formada por uma interligação de seis listas duplamente ligadas. Esta facilidade foi incorporada ao sistema e permite um "dump" logicamente estruturado das diversas listas ligadas, a partir da descrição do sólido. Este recurso tem grande importância do ponto de vista didático.

- **Ve BD:** Visualiza o "dump" da base de dados em tela;
- **Imprime BD:** permite a impressão do "dump" da base de dados.

2.2.5. Usuário

Opção onde deverão estar concentradas todas as rotinas e testes criados pelo usuário.

2.2.6. Help F1

Ativa o módulo de Auxílio ao Usuário do sistema BREULER, que ao ser ativado exibe informações sobre o nível mais alto do programa, com explicações genéricas de utilização do sistema. Este módulo ao ser ativado pela tecla F1, exibe informação contextualizada, de acordo com a opção sendo utilizada pelo usuário, no momento.

A tecla ESC tem a função de cancelar qualquer ação de um comando, desde que este ainda não tenha sido completado.

3. CONCLUSÕES

A idéia do sistema BREULER é criar uma ferramenta para uso em disciplinas de Computação Gráfica, ligadas ao aprendizado de modeladores de sólidos. O estado atual de implementação permite que várias extensões sejam anexadas. No decorrer de um curso, os próprios alunos podem criar extensões ao sistema, como vários algoritmos decorrentes do estudo das diversas características de um modelador por fronteiras. Não obstante, a incorporação destas extensões pode constituir-se num recurso valioso que permitirá transformá-lo no núcleo de um futuro modelador híbrido, com suporte a vários outros tipos de representação. É claro que as etapas a vencer ainda são muitas.

4. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] CAMPOS, J. A. P. DE. Geração de Malhas de Elementos Finitos Bidimensionais Baseada em uma Estrutura de Dados Topológica. In: I SIMPÓSIO DE COMPUTAÇÃO GRÁFICA - ARQUITETURA-ENGENHARIA-ÁREAS AFINS. Salvador BA, nov. 1990. Anais. n.19.
- [2] CASALE, M.S. Free-form Solid Modeling with Trimmed Surface Patches. IEEE Computer Graphics and Applications, Los Alamitos. 7(1): 33-43, Jan. 1987.
- [3] CAVALCANTI, P. R.; CARVALHO, P.C.P.; MARTHA, L. F. Criação e Manipulação de Subdivisões Planares. In: SIBGRAPI'91 - IV SIMPÓSIO BRASILEIRO DE COMPUTAÇÃO GRÁFICA E PROCESSAMENTO DE IMAGENS. São Paulo, July 1991. Anais. p.15-24.
- [4] CHIYOKURA, H. An Extended Rounding Operation for Modeling Solids with Free-Form Surfaces. IEEE Computer Graphics and Applications, Los Alamitos. 7(6): 27-36, Dec. 1987.
- [5] FERREIRA, M.A.G.V.; BUCHELE, R. GIT - Gerenciador de Interfaces em Estilo TURBO. CICTE92 - XI Congresso de Iniciação Científica, Escola de Eng. de São Carlos - USP, São Carlos, 15 a 18 de dezembro de 1992, Anais.
- [6] KIMURA, F. Geomap III: Designing Solids with Free-Form Surfaces. IEEE Computer Graphics and Applications, Los Alamitos. 4(6): 58-71, June 1986.
- [7] KUNII, T. L.; SATOH, T.; KAZUNORI, Y. Generation of Topological Boundary Representations from Octree Encoding. IEEE Computer Graphics and Applications, Los Alamitos. 5(3): 29-60, Mar. 1985.
- [8] MANTYLA, M. An Inversion Algorithm for Geometric Models. ACM - Computer Graphics, New York. 16(3): 51-59, July 1982.
- [9] MANTYLA, M.; SULONEN, R. GWB: A Solid Modeler with Euler Operators. IEEE - Computer Graphics & Applications, Los Alamitos. 2(9): 17-31, Sept. 1982.
- [10] MANTYLA, M.; TAMMINEN, M. Localized Set Operations for Solid Modeling. ACM - Computer Graphics, New York. 17(3): 279-288, July 1983.
- [11] MANTYLA, M. Boolean Operations of 2-Manifolds through Vertex Neighborhood Classification. ACM Transactions on Graphics, New York. 5(1): 1-29, Jan. 1986.
- [12] MANTYLA, M.; An Introduction to Solid Modeling. Rockville, Maryland. Computer Science Press, Inc., 1988.
- [13] REQUICHA, A. A. G. Representation for Rigid Solids: Theory, Methods and Systems. ACM Computing Surveys, New York. 12(4): 437-464, Dec. 1980.
- [14] REQUICHA, A. A. G.; VOELCKER, H. B. Solid Modeling: A historical Summary and Contemporary Assessment. IEEE Computer Graphics and Applications, Los Alamitos. 2(2): 9-24, Mar. 1982.
- [15] REQUICHA, A. A. G.; VOELCKER, H. B. Solid Modeling: Current Status and Research Directions. IEEE Computer Graphics and Applications, Los Alamitos. 3(2): 25-37, Oct. 1983.

- [16] REQUICHA, A. A. G; ROSSIGNAC, J. R. Solid Modeling and Beyond. IEEE Computer Graphics and Applications, Los Alamitos. 12(5): 31-44, Sept. 1992.
 - [17] SANTO, H. P. ENGOL - Engineering-Graphics-Oriented-Language: The Core of a "Computational Engineering Graphics" Implementation. Computers in Education, Great Britain. 10(1): 101-114, 1986.
 - [18] TOZZI, C. L. PAC - Projeto Auxiliado por Computador. In: EBAI, 1986. Anais. p.76-169.
 - [19] WEILER, K. Edge-Based Data Structure for Solid Modeling in Curved-Surface Environments. IEEE Computer Graphics & Applications, Los Alamitos. 5(1): 21-40, Jan. 1985.
 - [20] WILSON, P.R. Euler Formulas and Geometric Modeling. IEEE Computer Graphics & Applications, Los Alamitos. 5(8): 24-36, Aug. 1985.
-

BOLETINS TÉCNICOS - TEXTOS PUBLICADOS

- BT/PCS/9301 - Interligação de Processadores através de Chaves Ômicron - GERALDO LINO DE CAMPOS, DEMI GETSCHKO
- BT/PCS/9302 - Implementação de Transparência em Sistema Distribuído - LUÍSA YUMIKO AKAO, JOÃO JOSÉ NETO
- BT/PCS/9303 - Desenvolvimento de Sistemas Especificados em SDL - SIDNEI H. TANO, SELMA S. S. MELNIKOFF
- BT/PCS/9304 - Um Modelo Formal para Sistemas Digitais à Nível de Transferência de Registradores - JOSÉ EDUARDO MOREIRA, WILSON VICENTE RUGGIERO
- BT/PCS/9305 - Uma Ferramenta para o Desenvolvimento de Protótipos de Programas Concorrentes - JORGE KINOSHITA, JOÃO JOSÉ NETO
- BT/PCS/9306 - Uma Ferramenta de Monitoração para um Núcleo de Resolução Distribuída de Problemas Orientado a Objetos - JAIME SIMÃO SICHMAN, ELERI CARDOSO
- BT/PCS/9307 - Uma Análise das Técnicas Reversíveis de Compressão de Dados - MÁRIO CESAR GOMES SEGURA, EDIT GRASSIANI LINO DE CAMPOS
- BT/PCS/9308 - Proposta de Rede Digital de Sistemas Integrados para Navio - CESAR DE ALVARENGA JACOBY, MOACYR MARTUCCI JR.
- BT/PCS/9309 - Sistemas UNIX para Tempo Real - PAULO CESAR CORIGLIANO, JOÃO JOSÉ NETO
- BT/PCS/9310 - Projeto de uma Unidade de Matching Store baseada em Memória Paginada para uma Máquina Fluxo de Dados Distribuído - EDUARDO MARQUES, CLAUDIO KIRNER
- BT/PCS/9401 - Implementação de Arquiteturas Abertas: Uma Aplicação na Automação da Manufatura - JORGE LUIS RISCO BECERRA, MOACYR MARTUCCI JR.

