

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
PROGRAMA DE PÓS GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECÂNICA

**APLICABILIDADE DA DIGITALIZAÇÃO 3D
EM AMBIENTES DE ENGENHARIA SIMULTÂNEA**

DISSERTAÇÃO SUBMETIDA
À UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
PARA OBTENÇÃO DO GRAU DE MESTRE EM ENGENHARIA MECÂNICA

Felipe Carlos Schneider

Florianópolis, Fevereiro de 1998

**APLICABILIDADE DA DIGITALIZAÇÃO 3D
EM AMBIENTES DE ENGENHARIA SIMULTÂNEA**

Felipe Carlos Schneider

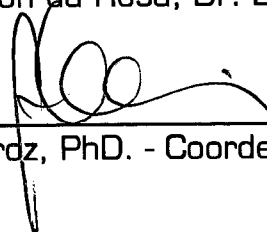
ESTA DISSERTAÇÃO FOI JULGADA PARA OBTENÇÃO DO TÍTULO DE

MESTRE EM ENGENHARIA

ESPECIALIDADE ENGENHARIA MECÂNICA, ÁREA DE CONCENTRAÇÃO EM PROJETO DE SISTEMAS MECÂNICOS E APROVADA EM SUA FORMA FINAL PELO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECÂNICA.



Edison da Rosa, Dr. Eng. - Orientador



Abelardo Alves de Queiroz, PhD. - Coordenador do Curso

BANCA EXAMINADORA



Nelson Back, PhD. - Presidente



Armando Albertazzi Gonçalves Jr, Dr. Eng.



Gilberto Dias da Cunha, Dr. Eng.

À memória de meus pais Ilto e Ilonia.

AGRADECIMENTOS

Ao Prof. Edison da Rosa pela orientação.

Aos Profs. Giancarlo Pereira, Altamir Dias e Gilberto Cunha pelas valiosas conversas.

À minha família, pela paciência e apoio nas incontáveis horas de ausência...

À FUNDEPE – Fundação de Desenvolvimento do Ensino e Pesquisa da UNISINOS e à CAPES pelo sustento financeiro.

Aos amigos pelo incentivo.

A todos que direta ou indiretamente contribuíram para a realização deste trabalho.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	1
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA DAS TECNOLOGIAS	5
2.1 Digitalização 3D	5
2.1.1 Braços Mecânicos	6
2.1.2 Triangulação Ultra-sônica	8
2.1.3 Triangulação Eletromagnética	10
2.1.4 Apalpamento em Máquinas de Fresamento	11
2.1.5 Apalpamento em Máquina de Medição por Coordenadas	14
2.1.6 Triangulação Laser de Varredura por Ponto	15
2.1.7 Triangulação Laser de Varredura por Linha	17
2.1.8 Triangulação por Cores com Câmara CCD	18
2.1.9 Fotogrametria por Conjuntos de Câmaras CCD	19
2.1.10 Fotogrametria por Fotografias Digitalizadas	21
2.1.11 Radar Laser	22
2.1.12 Tomografia	23
2.1.13 Tunelamento	24
2.1.14 Moiré de Projecção	25
2.1.15 Luz Infravermelha e CCD linear	26
2.2 Engenharia Simultânea	27
2.2.1 Definições	27
2.2.2 Propósitos	27
2.2.3 Métodos de Implementação	30
2.3 Suporte Computacional	31
2.3.1 Modelamento de Sólidos CSG, B-rep ou Híbrido?	32
2.3.2 Modelamento Associativo Paramétrico e Variacional	36
2.3.3 Gerenciamento de Dados PDM/EDM	37
2.3.4 Tecnologia de Features	38
2.3.5 Orientação a Objetos	40
2.3.6 Banco de dados de Engenharia Simultânea	41
2.3.7 Tecnologia de Núcleos de Modelamento	43
2.3.8 Padrão de fato?	47
2.3.9 STEP x ACIS	48
2.3.10 OLE para Design e Modelamento	49
2.3.11 Intranet e Internet	49

3. ANÁLISE DE APLICABILIDADE	52
3.1 Aplicações em Engenharia	52
3.1.1 Digitalização Manual.....	54
3.1.2 Digitalização Automática	56
3.1.3 Modelamento Geométrico em Engenharia	57
3.2 Aplicações em Engenharia Simultânea	65
3.2.1 Modelamento Geométrico em Engenharia Simultânea	66
3.2.2 Decomposição Assistida de Features Durante a Digitalização ..	67
3.2.3 Decomposição Assistida de Features Após a Digitalização.....	68
3.2.4 Decomposição Automática de Features Após a Digitalização ...	70
4. EXPERIÊNCIAS DE APLICAÇÃO.....	72
4.1 Digitalização 3D Manual por Ultra-Som	72
4.1.1 Configuração do Equipamento	72
4.1.2 Procedimento de Digitalização com GP 12 3D XL	73
4.1.3 Digitalização de Geometrias Primitivas.....	76
4.1.4 Digitalização de Geometrias Complexas	77
4.2 Construção Automática de Modelos Poliédricos	79
4.3 Construção Interativa de Modelos Sólidos.....	79
5. RESULTADOS	81
5.1 Digitalização 3D Manual por Ultra-Som	81
5.2 Construção Automática de Modelos Poliédricos	84
5.2.1 Nuvem de Baixa Densidade	84
5.2.2 Nuvem de Alta Densidade	85
5.2.3 Considerações Sobre Estruturação das Nuvens	88
5.3 Construção Interativa de Modelos Sólidos.....	88
6. CONCLUSÕES.....	90
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	95

APÊNDICES

ÍNDICE DAS FIGURAS

Figura 2-1- Digitalizador Faro Technologies.....	7
Figura 2-2 - Digitalizador Immersion Corp.....	7
Figura 2-3 - Digitalizador GTCO (Antiga SAC Corp.)	9
Figura 2-4 - Mesa eletromagnética Polhemus	10
Figura 2-5 - Sistema Retroskan (RENISHAW) em fresadora CNC	12
Figura 2-6 - Digitalização em fresadora CNC DECKEL	13
Figura 2-7 - Varredura laser por ponto	15
Figura 2-8 - Digitalizador Digibot	16
Figura 2-9 - Nuvem obtida com 90.000 pontos	16
Figura 2-10 - Varredura por linha.....	17
Figura 2-11 - Digitalizador 3D Scanners.....	18
Figura 2-12 - Triangulação por Cores	19
Figura 2-13 - Sistema de três Câmaras e Mesa Rotativa	20
Figura 2-14 - Modelo VRML produzido com Photomodeler	21
Figura 2-15 - Fotogrametria com Photomodeler.....	22
Figura 2-16 - Osso da Bacia Digitalizado	24
Figura 2-17 - Superfície de um Compact Disc	25
Figura 2-18 - Possibilidades de redução no tempo de desenvolvimento	29
Figura 2-19 - Tempo ganho com Eng. Simultânea	29
Figura 2-20 - Conversões de entre representações de sólidos	33
Figura 2-21 - Interface CSG / Modelador CSG	35
Figura 2-22 - Interface CSG e B-rep em Modeladores B-rep	35
Figura 2-23 - Modeladores distribuídos.....	35
Figura 2-24 - Features a partir dos grupos funcionais da peça.....	39
Figura 2-25 - Hierarquia de Classes do Banco de dados	42
Figura 2-26 - Arquitetura do ACIS 3D Toolkit.....	44
Figura 2-27 - Barramento de Geometria ACIS.....	46
Figura 2-28 - Número de usuários ACIS.....	48

Figura 3-1 - Digitalização Aplicada em Engenharia	58
Figura 3-2 - Modelos geométricos para aplicações em Engenharia	58
Figura 3-3 - Nuvem e linhas seccionais	60
Figura 3-4 - Densidade de digitalização	61
Figura 3-5 - Dados dispersos obtidos com digitalização manual	61
Figura 3-6 - Pontos selecionados para compor as curvas de construção.....	62
Figura 3-7 - Superfícies criadas a partir das curvas de construção.....	62
Figura 3-8 - Nuvem de 20021 pontos e modelos b-spline.....	63
Figura 3-9 - Nuvem de 37974 pontos e modelos b-spline.....	64
Figura 3-10 - Etapas do ajuste de B-spline.....	65
Figura 3-11 - Atividades da criação de modelos	66
Figura 3-12 - Modelo de Eng. Simultânea.....	67
Figura 3-13 - Reconhecimento Assistido após a Digitalização.....	69
Figura 4-1 - Erro na leitura de coordenadas GP12 – Vol. 1,0 x 1,0 x 1,0 m	75
Figura 4-2 - Erro na leitura de coordenadas GP12 – Vol. 2,4 x 2,4 x 2,4 m	75
Figura 4-3 - Digitalização da Carcaça da Caixa de Redução	78
Figura 5-1 - Carcaça de caixa de redução	82
Figura 5-2 - Nuvem de 1040 pontos da Carcaça	82
Figura 5-3 - Modelo poliédrico gerado para a nuvem da Carcaça	84
Figura 5-4 - Arestas das Faces geradas para a nuvem de Carcaça	85
Figura 5-5 - Nuvem de 90 000 pontos	86
Figura 5-6 - Modelo poliédrico para a nuvem de alta densidade.....	86
Figura 5-7 - Sólidos Primitivos Digitalizados	89

GLOSSÁRIO

Sigla	Inglês	Português
API	Application Program Interface	Interface com Programa de Aplicação
CAD	Computer Aided Design	Projeto Auxiliado por Computador
CAE	Computer Aided Engineering	Engenharia Auxiliada por Computador
CAI	Computer Aided Inspection	Inspeção Auxiliada por Computador
CAID	Computer Aided Industrial Design	Design Industrial Auxiliado por Computador
CAM	Computer Aided Manufacturing	Manufatura Auxiliada por Computador
CAPP	Computer Aided Process Planning	Planejamento de Processos Auxiliado
CAT	Computer Aided Test	Teste Auxiliado por Computador
CCD	Coupled Charge Device	Matriz de células foto-sensíveis
CNC	Computer Numerical Control	Controle Numérico Computadorizado
CMM	Coordinate Measurement Machine	Máquina de Medição por Coordenadas
DXF	Data eXchange Format	Formato de Troca de Dados Autodesk
DSP	Digital Signal Processor	Processador Digital de Sinais
EDM	Engineering Data Management	Gerenciamento de Dados de Engenharia
HTML	Hiper Text Markup Language	Linguagem de Marcação de Hiper Texto
IGES	Initial Graphical Exchange Specification	Especificação Inicial para Troca Gráfica
NURB	Non Uniform Rational B-spline	B-spline Racional Não Uniforme
OOD	Object Oriented Design	Projeto Orientado a Objetos
OOP	Object Oriented Programming	Programação Orientada a Objetos
PDM	Product Data Management	Gerenciamento de Dados de Produto
SAT	Save As Text	Formato de Arquivos ACIS (forma de texto)
STEP	STandard for Exchange Product data	Padrão para Troca de Dados de Produtos
VRML	Virtual Reality Modeling Language	Ling. de Modelamento de Realidade Virtual
WWW	Wold Wide Web	Protocolo de Hipermidia na Internet

RESUMO

Este trabalho discute a possibilidade de aplicação da Digitalização 3D em ambientes computacionais de suporte à Engenharia Simultânea. São apresentadas as tecnologias de digitalização disponíveis, e os recursos de suporte computacional ao trabalho colaborativo em Engenharia. A questão fundamental discutida é a transformação dos dados (coordenadas de pontos), obtidos com o trabalho de digitalização, em informações de alto nível, úteis na definição de produtos de engenharia. As alternativas de aplicação da tecnologia são pesquisadas e discutidas, do ponto de vista de definição de produto, em contexto multi-disciplinar, e não apenas de modelamento geométrico.

ABSTRACT

This work discusses the applicability of 3D Digitizing on computational environments for Simultaneous Engineering. It presents the available digitizing technologies and the computational resources to support the collaborative work in Engineering. The fundamental question discussed is the transformation of the digitized data (point coordinates) into higher level information, useful for product definition. The technology application options are searched and discussed from the product definition viewpoint, in a multi-disciplinary context, not only from geometric modeling.

1. INTRODUÇÃO

Especialmente nesta década, com as tendências de globalização da economia, as indústrias têm enfrentado a concorrência em âmbito internacional. A competição pela conquista de mercado vem exigindo a redução de prazos e custos, bem como a melhoria da qualidade dos produtos. Isso se reflete diretamente nas atividades de engenharia pela exigência de um crescente aperfeiçoamento das metodologias de projeto e de manufatura.

A Engenharia Simultânea, ou Concorrente, tem sido definida como uma metodologia de trabalho com a qual se busca a colaboração simultânea das várias equipes de engenharia no processo de desenvolvimento do produto. Conforme Morup [1] e Kusiak [2], todas as etapas do ciclo de vida do produto devem ser consideradas desde os primeiros estágios do projeto, envolvendo os outros setores da empresa, a fim de atender aos requisitos de comercialização, produção, distribuição, uso e descarte. O compartilhamento das informações pode evitar que, por exemplo, dificuldades de manufatura ou manutenção só venham a ser percebidas após a conclusão de um projeto. Mesmo antes da conclusão de algumas etapas, é possível iniciar as fases seguintes, havendo um ganho de tempo e uma redução significativa dos custos de modificação do projeto. Hartley [3] mostra que, apesar do projeto demandar 5% do custo [relativo ao tempo de produção] ele tem influência sobre 70% dos custos globais.

Modificações feitas ainda na fase de projeto têm um custo muito baixo, se comparado ao custo que teriam após o investimento de tempo e recursos em sistemas de manufatura e suporte.

O suporte computacional à engenharia limitou-se, durante vários anos, a atender isoladamente a alguns setores. Iniciou-se com programas de desenho ou projeto auxiliado por computador (CAD), engenharia auxiliada por computador (CAE) e manufatura auxiliada por computador (CAM), expandindo-se posteriormente para outras áreas como "design" industrial (CAID), planejamento de processos (CAPP), inspeção (CAI) e teste (CAT).

As primeiras soluções apresentadas para a integração dos diferentes sistemas foram as implementações de formatos de arquivos padronizados como IGES e DXF, para a troca de geometria. Depois, o formato STEP começou a ser desenvolvido visando à troca de informações de produto, não limitadas à sua geometria. A integração foi facilitada de diversas maneiras, inclusive no trabalho em redes internas das indústrias, ou até pela rede global "Internet".

Nos novos sistemas operacionais gráficos, a execução simultânea de várias aplicações (em ambientes "Windows" *) está sendo incrementada com a possibilidade de compartilhamento dinâmico de informações geométricas tridimensionais entre as mesmas, sem o uso explícito de padrões de transferência de arquivos. Para transferir um objeto geométrico tridimensional de

* O termo "Windows" é uma marca registrada da empresa Microsoft Corp, mas é muito utilizado para designar sistemas operacionais gráficos com recursos de execução simultânea de múltiplas tarefas, em janelas no monitor.

uma aplicação para outra, será possível utilizar uma simples operação de cópia na primeira aplicação, seguida de colagem na segunda.

O amadurecimento dos sistemas operacionais e dos programas, além do desenvolvimento de novos processadores para os microcomputadores, permite que realizem-se, nestes equipamentos, tarefas de processamento gráfico e matemático, como modelamento de superfícies e sólidos, que há pouco tempo exigiam o uso de estações dedicadas de custo muito superior.

Os novos recursos dos equipamentos para entrada e saída de dados, também estão acelerando o trabalho dos engenheiros.

Digitalização 3D é uma das novas formas de entrada de dados em sistemas de engenharia. É um processo de amostragem de pontos da superfície do modelo físico de uma peça, tendo como propósito principal a redução do tempo de modelamento geométrico. Pode ser realizada de várias maneiras, conforme as tecnologias de amostragem empregadas nos equipamentos. Cada tecnologia apresenta particularidades que delimitam sua melhor utilização.

A digitalização tem diversas possibilidades de aplicação, sendo usada atualmente, principalmente, na reprodução de superfícies de forma livre escultural, em trabalhos de engenharia reversa e de inspeção dimensional.

Os dados obtidos da digitalização 3D são sempre conjuntos de coordenadas dos pontos, qualquer que seja a tecnologia de digitalização empregada. Isso exige que os arquivos de pontos sejam sempre transformados e formatados de maneira a permitir a sua utilização em sistemas de engenharia como CAD ou CAM.

A questão fundamental para a aplicação da digitalização 3D nos ambientes de Engenharia Simultânea, que podem ser implementados com o suporte computacional atualmente disponível, é a necessidade de transformação da estrutura dos dados obtidos. Os arquivos de coordenadas de pontos obtidos através da digitalização 3D devem ser adaptados conforme a estrutura de informações adotada no ambiente. Se o sistema fizer uso da tecnologia de "features" para manter associações entre as características geométricas das peças e sua funcionalidade ou seus processos de fabricação, a digitalização apenas fornece os dados geométricos de nível mais primitivo (pontos), que terão de ser processados para permitir a detecção da existência de "features" e a inferência dos seus parâmetros geométricos e dimensionais.

Este trabalho apresenta uma discussão sobre a aplicabilidade da Digitalização 3D nos novos ambientes de suporte computacional à Engenharia Simultânea. Para isso serão inicialmente apresentadas as tecnologias de digitalização 3D disponíveis, e os novos recursos de suporte computacional à Engenharia Simultânea. Após, serão analisadas as necessidades de transformação dos dados geométricos (coordenadas de pontos) obtidos na digitalização, em informações de alto nível, significativos para o trabalho de engenharia. A análise inclui as tendências de padronização e compartilhamento de dados, do ponto de vista da definição de produto, para o trabalho colaborativo multi-disciplinar da Engenharia Simultânea. Algumas estratégias de aplicação foram testadas, visando demonstrar as limitações atuais. Com base nos resultados e na revisão bibliográfica, serão apresentadas as conclusões e sugestões.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA DAS TECNOLOGIAS

Para avaliar as possibilidades de aplicação da Digitalização 3D em ambientes de Engenharia Simultânea é necessário estudar as diferentes **tecnologias de digitalização** disponíveis, bem como os recursos atuais dos sistemas de **suporte computacional à Engenharia Simultânea**.

2.1 DIGITALIZAÇÃO 3D

Os dados fornecidos pela digitalização 3D são sempre um conjunto de coordenadas de pontos. As coordenadas podem ser simplesmente $[x,y,z]$, $[x,y,z,c]$ para os digitalizadores capazes de capturar outros parâmetros do ponto, como cor ou temperatura, ou ainda $[x,y,z,i,j,k]$ para digitalizações que incluam a inclinação da sonda manual utilizada. A organização dos pontos, a incerteza das coordenadas e a velocidade de leitura dependem da tecnologia empregada no digitalizador. Também dependem do equipamento: o volume, a forma, o material, a cor e o acabamento superficial dos modelos físicos que podem ser usados.

As várias tecnologias comercialmente disponíveis para digitalização tridimensional podem ser classificadas, de maneira geral, em duas categorias principais: Digitalização **com** contato físico com a peça, e Digitalização **sem** contato físico.

Digitalizadores de contato com o modelo físico:

- Braço mecânico;
- Triangulação ultra-sônica;
- Triangulação eletromagnética;
- Apalpamento em máquina de fresamento;
- Apalpamento em máquina de medição por coordenadas.

Digitalizadores sem contato com o modelo físico:

- Triangulação laser de varredura por ponto;
- Triangulação laser de varredura por linha;
- Triangulação por cores com câmara CCD ("Coupled Charge Devices");
- Fotogrametria por conjuntos de câmaras CCD;
- Fotogrametria por fotografias digitalizadas;
- Radar laser;
- Tomografia;
- Tunelamento;
- Moiré de projecção;
- Luz Infravermelha e CCD linear.

2.1.1 Braços Mecânicos

Estes digitalizadores são estruturas multi-articuladas que têm, montada em sua extremidade, uma sonda que deve ser conduzida manualmente até o ponto a ser digitalizado no objeto. A sonda pode ser movimentada com até 6 graus de liberdade, permitindo alcançar detalhes em praticamente qualquer posição [4].

As coordenadas XYZ dos pontos e a orientação IJK da sonda são calculadas quando o gatilho é pressionado, a partir dos ângulos medidos nas articulações e dos comprimentos conhecidos do braço. Os ângulos são monitorados e processados por processadores digitais de sinais (DSP) e transmitidos ao computador via interface serial RS232 [5][6]. Podem ser obtidas seqüências de pontos, se o gatilho permanecer pressionado, a taxas de até 1000 pontos por segundo. As figuras 2-1 e 2-2 ilustram a operação manual.

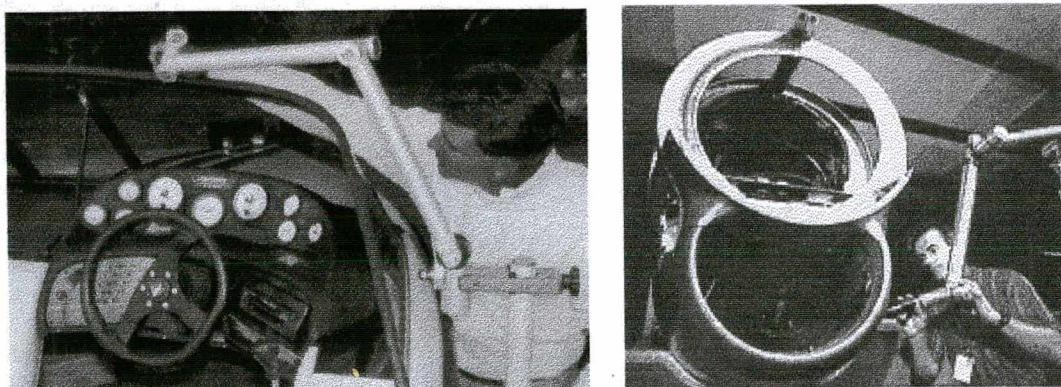


Figura 2-1- Digitalizador Faro Technologies

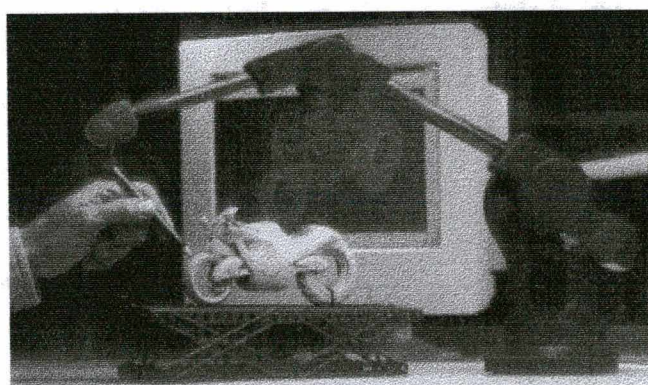


Figura 2-2 - Digitalizador Immersion Corp

Vantagens:

- independência do material do modelo;
- independência da cor e acabamento do modelo;
- independência da iluminação do ambiente;
- velocidade de aquisição de pontos elevadas (até 1000 pt/s);

- possibilidade de digitalização de detalhes escondidos;
- volumes de digitalização esféricos com diâmetros de 900 - 3650 mm.
- custo relativamente baixo (US\$ 1600 - US\$ 76 000);

Desvantagens:

- dificuldade de obtenção de grandes densidades de pontos;
- dificuldade de obtenção de nuvens organizadas;
- incerteza elevada (0,1 - 0,7 mm).

2.1.2 Triangulação Ultra-sônica

Os digitalizadores ultra-sônicos são operados manualmente, devendo-se tocar, com a extremidade da sonda, cada ponto a ser digitalizado na superfície do objeto. A sonda pode ser movimentada com 6 graus de liberdade, permitindo alcançar detalhes em qualquer posição (contanto que não haja obstrução do caminho do ultra-som). O equipamento também é dotado de uma barra de calibração, com um emissor e um receptor de ultra-som afastados a uma distância conhecida, para determinar a velocidade de propagação do ultra-som no ambiente de digitalização [7].

As coordenadas dos pontos e a orientação da sonda são calculadas, quando o gatilho é pressionado. O cálculo se baseia nos tempos cronometrados entre a emissão dos sinais de ultra-som pela sonda, e a sua captação pelos microfones nos vértices do delta sensor (ver figura 2-3). Estes tempos são multiplicados pela velocidade do ultra-som para encontrar as distâncias, em linha reta, dos emissores até os microfones. Como a distância entre os microfones é conhecida pode-se calcular a coordenada do emissor na sonda, por triangulação.

A sonda tem dois emissores afastados entre si a uma distância conhecida, que funcionam um após o outro com um intervalo de tempo definido. Como os dois emissores definem uma linha no espaço, é possível calcular a sua orientação no volume de digitalização. A extremidade da sonda está a uma distância conhecida sobre a linha definida pelos dois emissores. Isso permite calcular a coordenada do ponto digitalizado.

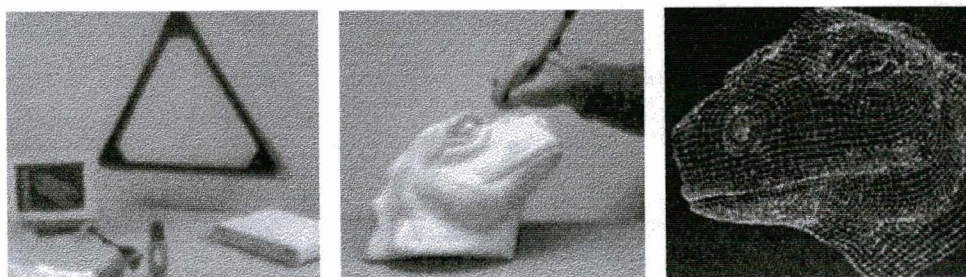


Figura 2-3 - Digitalizador GTCO (Antiga SAC Corp.)

Vantagens:

- custo baixo (US\$ 6000);
- independência do material do modelo;
- independência da cor e acabamento do modelo;
- independência da iluminação e climatização do ambiente;
- possibilidade de digitalização de detalhes escondidos;
- volumes de digitalização cúbicos com 1000 ou 2400 mm de lado.

Desvantagens:

- incerteza elevada (0,5 - 1,2 mm);
- baixa velocidade de aquisição de coordenadas (máximo de 2 pt/s).
- influência do ruído e ecos do ambiente;
- necessidade de evitar a obstrução do caminho do ultra-som.

2.1.3 Triangulação Eletromagnética

Os digitalizadores baseados em triangulação eletromagnética são operados manualmente, devendo-se tocar o objeto montado sobre a mesa do digitalizador, em cada ponto a ser digitalizado. São compostos por uma sonda que capta sinais magnéticos, uma mesa que produz o campo, e por um equipamento gerador e processador dos sinais, conforme a figura 2-4. O campo magnético da mesa induz, nas bobinas da sonda, uma corrente elétrica cuja intensidade depende da posição e orientação da mesma. Essa corrente é amplificada e medida para ser utilizada como referência para os cálculos.

A posição e orientação da sonda no volume de digitalização são calculados e transmitidos para o computador, através da porta de comunicação serial RS232, quando a sonda for pressionada sobre um ponto da peça. Para permitir uma maior estabilidade de posicionamento da sonda, pode-se opcionalmente usar um pedal para o acionamento.

A leitura de coordenadas não é prejudicada pela obstrução da linha reta entre a sonda e a mesa, pela peça ou pelo operador, devido à permeabilidade das substâncias não-metálicas ao campo magnético. A taxa de leitura pode ser de 60 ou 120 pt/s [8].

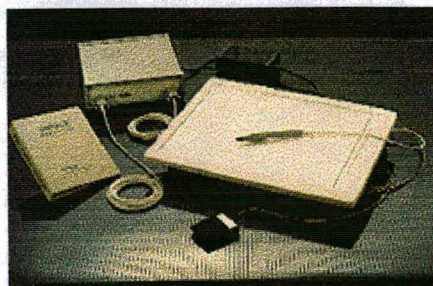


Figura 2-4 - Mesa eletromagnética Polhemus

Vantagens:

- custo baixo (US\$ 3100 - US\$ 6500);
- independência da cor e acabamento do modelo;
- independência da iluminação e climatização do ambiente;
- possibilidade de digitalização de detalhes escondidos;
- dificuldade de obstrução dos campos magnéticos;
- média velocidade de aquisição de pontos (60 - 120 pt/s).

Desvantagens:

- incerteza elevada (0,25 - 2,5 mm);
- impossibilidade de digitalizar materiais ferro-magnéticos;
- dificuldade de obtenção de grandes densidades de pontos;
- dificuldade de obtenção de nuvens organizadas;
- volumes de digitalização pequenos (300x450x300 - 760x760x760 mm);

2.1.4 Apalpamento em Máquinas de Fresamento

Máquinas de fresamento CNC de três eixos, cujo controle permita a utilização de um sensor apalpador em lugar da ferramenta, podem ser programadas para a leitura de coordenadas 3D ao longo de trajetórias definidas, sobre um modelo físico da peça.

Alguns controles numéricos já possuem ciclos pré programados para executar uma varredura da superfície de um modelo, registrando as coordenadas em que o sensor a toca. Quando o controle não for dotado de funções para digitalizar, é possível utilizar um microcomputador que recebe uma

placa de interface com o apalpador, e controla a máquina por comunicação serial [9], conforme a figura 2-5.

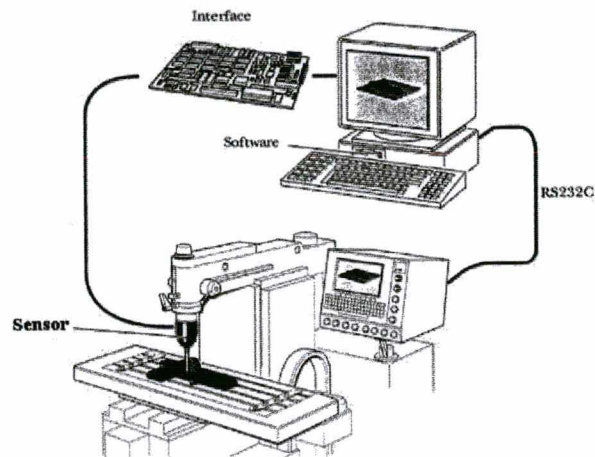


Figura 2-5 - Sistema Retroskan (RENISHAW) em fresadora CNC

As estratégias mais comuns de programação da digitalização são as de leitura das coordenadas por seções transversais ou por planos paralelos à base do modelo, o que resulta em nuvens organizadas. Nas duas estratégias, pode-se programar o passo dado em cada eixo, entre uma leitura e outra, com o propósito de obter uma malha regular. A resolução da nuvem de pontos fica limitada pela rapidez do sistema computador/máquina. Se o conjunto for mais veloz, pode-se usar passos menores, no mesmo tempo de processo [10].

Alguns fornecedores de equipamentos de apalpamento oferecem um sistema de hardware e de software que visa evitar os processos de modelamento em CAD e CAM. São desenvolvidos para controlar a digitalização sem vigilância durante a noite, por exemplo, e também para realizar processamentos simples da geometria digitalizada, como operações de escala, simetria, distorção ou aplicação de sobre-material, para então gerar o programa de usinagem para a mesma máquina CNC (figura 2-6). Muitas vezes a

digitalização pode ser feita com um apalpador de diâmetro e geometria de ponta igual ao da ferramenta que fará a operação de acabamento. Isso permite que se utilize a malha regular obtida, sem modificações, no programa CNC de acabamento, quando for necessário apenas a usinagem de várias cópias de peças [11].

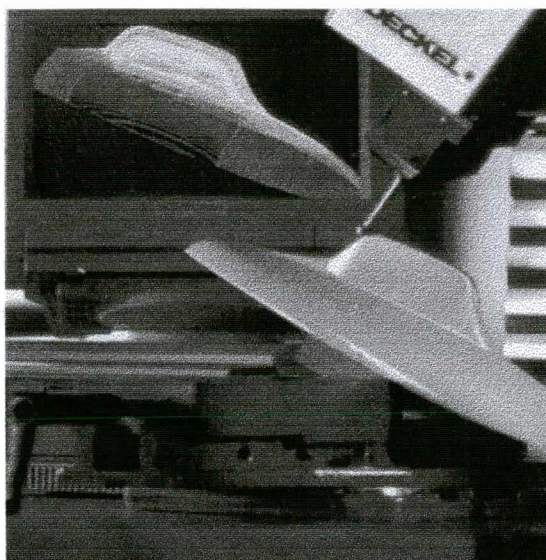


Figura 2-6 - Digitalização em fresadora CNC DECKEL

Vantagens:

- obtenção rápida do programa CNC para moldes simples;
- independência da cor do modelo;
- independência da iluminação e climatização do ambiente;
- possibilidade de obtenção de nuvens organizadas;
- baixa incerteza (decorrência da máquina e do sensor).

Desvantagens:

- modelo deve suportar a pressão de acionamento do sensor;
- impossibilidade de digitalizar detalhes escondidos;
- nuvens de alta densidade demandam muito tempo de máquina.

2.1.5 Apalpamento em Máquina de Medição por Coordenadas

As máquinas de medição por coordenadas tridimensionais (CMM) foram inicialmente desenvolvidas para o uso em salas de metrologia, mas também são utilizadas para digitalização manual ou programada [12]. São os equipamentos de digitalização por contato que oferecem a menor incerteza, na ordem de 0,009 mm a 20 graus celsius [13]. São construídos para funcionar em ambientes climatizados, para garantir a estabilidade dimensional. A digitalização 3D em máquinas de medição programáveis funciona de modo semelhante ao apalpamento em máquinas CNC, fazendo a leitura de coordenadas 3D de pontos ao longo de trajetórias definidas, sobre a superfície de um modelo físico da peça. O tempo necessário para a digitalização é grande. Diferentemente da digitalização em máquinas CNC de fresamento, é possível trabalhar de forma manual, conduzindo a sonda até os pontos a serem digitalizados [14].

Vantagens:

- baixíssima incerteza das coordenadas;
- independência da cor do modelo;
- independência da iluminação do ambiente.

Desvantagens:

- modelo deve suportar a pressão de acionamento do sensor;
- impossibilidade de digitalizar detalhes escondidos;
- dificuldade de obtenção de grandes densidades de pontos;
- velocidade de aquisição de pontos reduzida (140 pt/s);
- alto custo (US\$ 100 000 - US\$ 1 000 000).

2.1.6 Triangulação Laser de Varredura por Ponto

A digitalização é realizada de forma automática, sem tocar o modelo físico. Baseia-se no princípio de que se uma luz atinge uma superfície numa determinada direção, e pode ser "vista" de outra direção, então a localização do ponto pode ser inferida.

A resolução depende da distância mensurável entre pontos distintos de luz que, por sua vez, depende da área do ponto de luz. Quanto menor o ponto maior a resolução. A incerteza das coordenadas não depende somente da resolução, mas também do sistema ótico, da precisão das partes mecânicas e da cor e textura da superfície do modelo [15].

O sistema é composto de uma mesa giratória e um trilho onde deslizam carros para o projetor de laser e para os sensores. O laser é projetado perpendicularmente à direção de deslocamento lateral. Os sensores, inclinados a 30 graus em relação ao laser, se deslocam lateralmente até que o ponto seja encontrado por um deles. A distância do ponto, medida perpendicularmente ao carro é encontrada em função da distância entre o projetor laser e o sensor (figura 2-7). A peça é rotacionada para medição de todo o contorno de cada uma das seções transversais paralelas à mesa. Ver figuras 2-8 e 2-9.

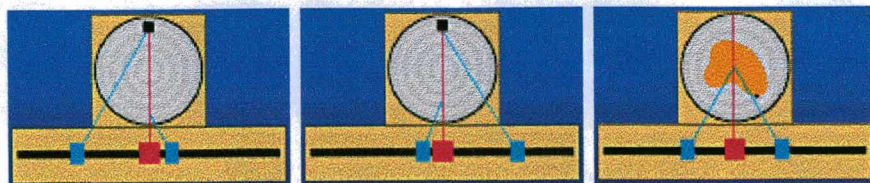


Figura 2-7 - Varredura laser por ponto



Figura 2-8 - Digitalizador Digibot

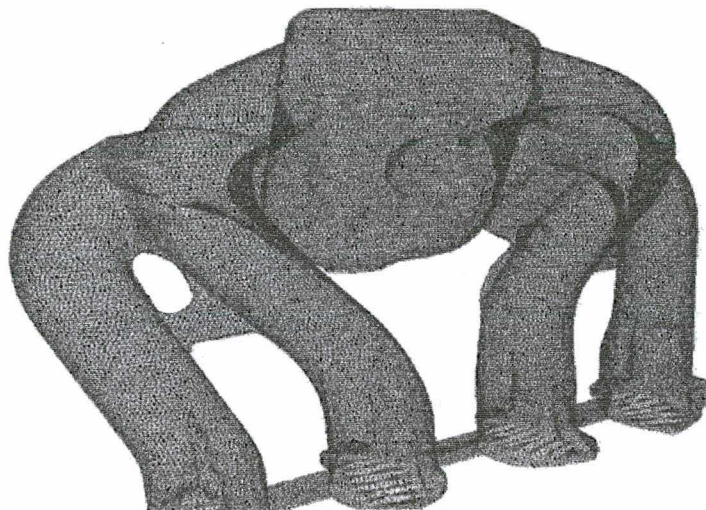


Figura 2-9 - Nuvem obtida com 90.000 pontos

Vantagens:

- baixa incerteza de coordenadas (0,02 - 0,5 mm);
- facilidade de obtenção de grandes densidades de pontos;
- organização da nuvem, em seções transversais;

Desvantagens:

- dependência da cor e do acabamento superficial do modelo;
- dependência da iluminação do ambiente;
- dificuldade de digitalizar aberturas profundas ou concavidades;

- velocidade de aquisição de pontos reduzida (20 - 140 pt/s);
- volume de digitalização cilíndrico pequeno (450 x 450mm de diâmetro);
- médio custo (US\$ 40 000 - US\$ 80 000).

2.1.7 Triangulação Laser de Varredura por Linha

A digitalização é realizada de forma automática, sem tocar o modelo físico. Baseia-se no mesmo princípio da varredura por ponto, exceto que os sensores permitem a triangulação de uma linha inteira, não um só ponto por vez, alcançando velocidades muito superiores. Um espelho rotativo de duas faces desvia o feixe de laser sobre outro espelho que o reflete sobre a peça formando uma linha. O laser é captado pelo sensor linear através de outro espelho de mesma inclinação, e do próprio espelho rotativo de duas faces [16]. A figura 2-10 ilustra o funcionamento da varredura e a figura 2-11 mostra o equipamento.

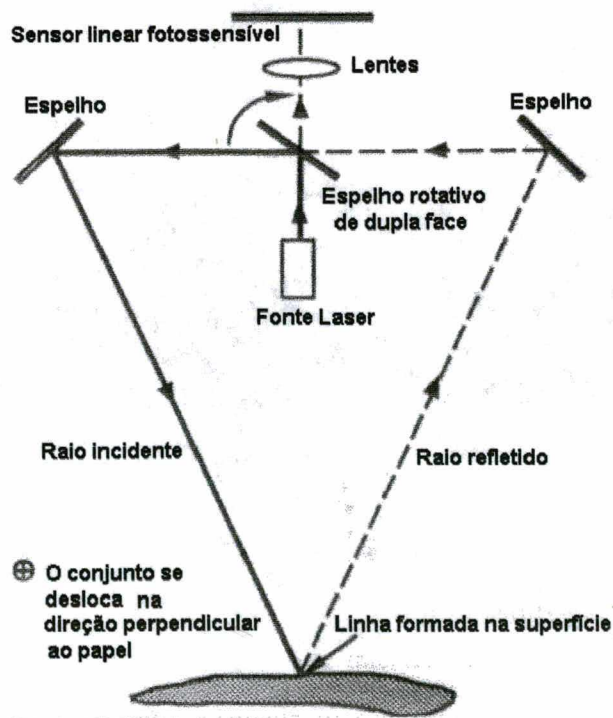


Figura 2-10 - Varredura por linha

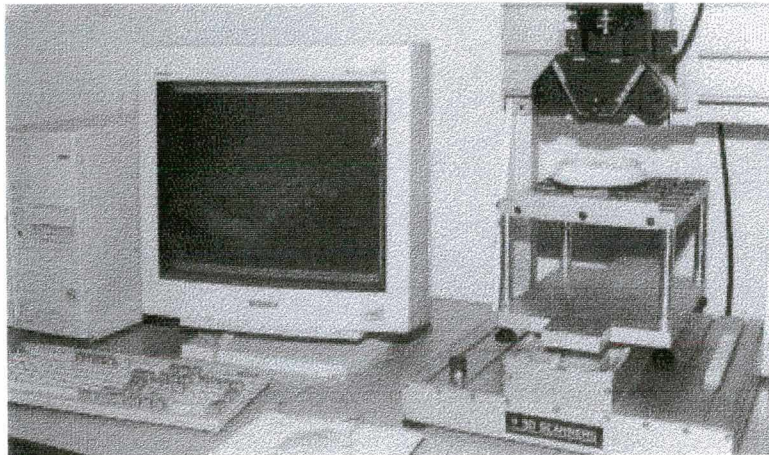


Figura 2-11 - Digitalizador 3D Scanners

Vantagens:

- baixíssima incerteza das coordenadas (0,002 - 0,5 mm);
- facilidade de obtenção de grandes densidades de pontos;
- velocidade de aquisição de pontos elevada (1000 - 14 500 pt/s);
- volume médio (280x345x110 - 1200x1500x2500 mm).

Desvantagens:

- dependência da cor e do acabamento superficial do modelo;
- dependência da iluminação do ambiente;
- dificuldade de digitalizar aberturas profundas ou concavidades;
- médio a alto custo (US\$ 48 000 - US\$ 514 000).

2.1.8 Triangulação por Cores com Câmara CCD

Ritter [17] apresentou uma técnica de digitalização por triangulação de cores captadas por uma câmara CCD colorida. A peça é iluminada por uma fonte de luz branca refratada através de um prisma. A câmera capta um perfil deformado do espectro, sobre a superfície do objeto. Os cálculos de profundidade são feitos por comparação com uma imagem obtida de um plano

de referência com altura conhecida. Todos os pontos da imagem são comparados com os do plano de referência, de modo individual para as componentes RGB ('Red, Green and Blue') das imagens (ver figura 2-12). Conforme a intensidade de cada componente, é calculada a altura do ponto correspondente. A resolução do CCD é de 246x575 pontos, e diferencia de 50 a 250 intensidades. A incerteza da medição depende da distância e inclinação entre a câmara e o objeto, ficando entre 0,4 e 2mm.

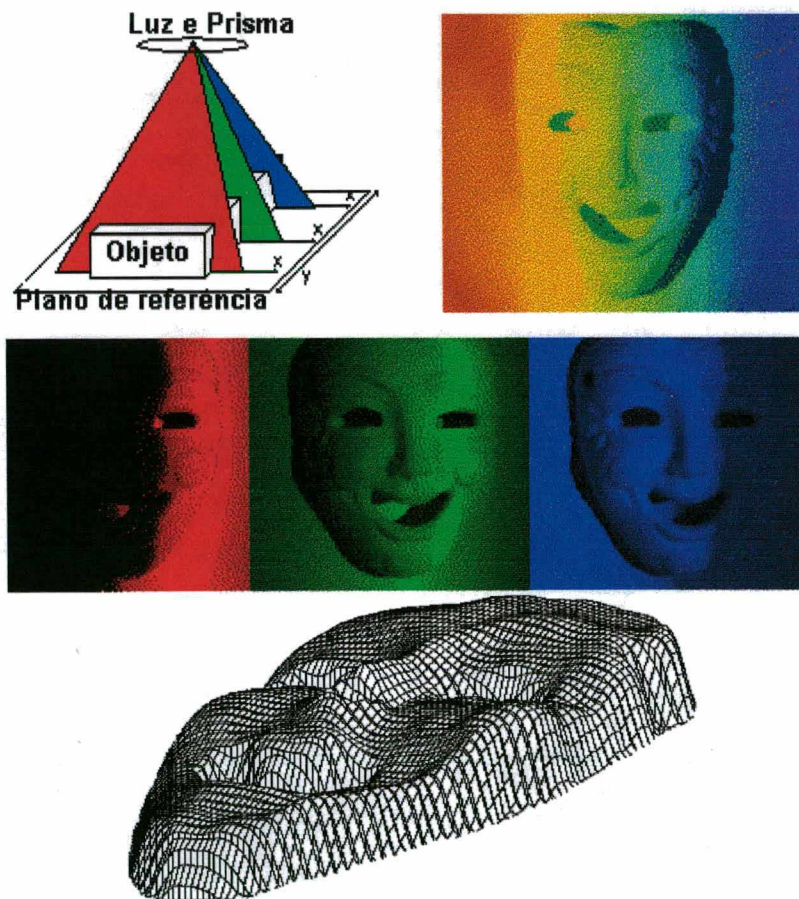


Figura 2-12 - Triangulação por Cores

2.1.9 Fotogrametria por Conjuntos de Câmaras CCD

É realizada de forma automática, sem tocar o modelo físico. Baseia-se na obtenção de diferentes perspectivas do objeto através de duas ou três câmaras digitais CCD. Cada câmara produz uma imagem diferente, cuja resolução é uma

das características do CCD utilizado. É necessário executar uma calibração [18] do conjunto de câmaras com um modelo físico de dimensões conhecidas. Essa calibração permite corrigir distorções nos cálculos das coordenadas de pontos do objeto, por transformações reversas de perspectiva como as descritas por Foley [19]. Conhecendo-se a posição das câmaras, e efetuando sua calibração, pode-se calcular de modo automático, as coordenadas dos pontos da peça. A rotação da peça em frente ao conjunto de câmaras, permite obter um arquivo de pontos do contorno completo da peça, pelo acréscimo das coordenadas obtidas com sucessivas perspectivas. Hemayed [20] propõe um sistema baseado em três câmaras e uma mesa rotativa, conforme figura 2-13.

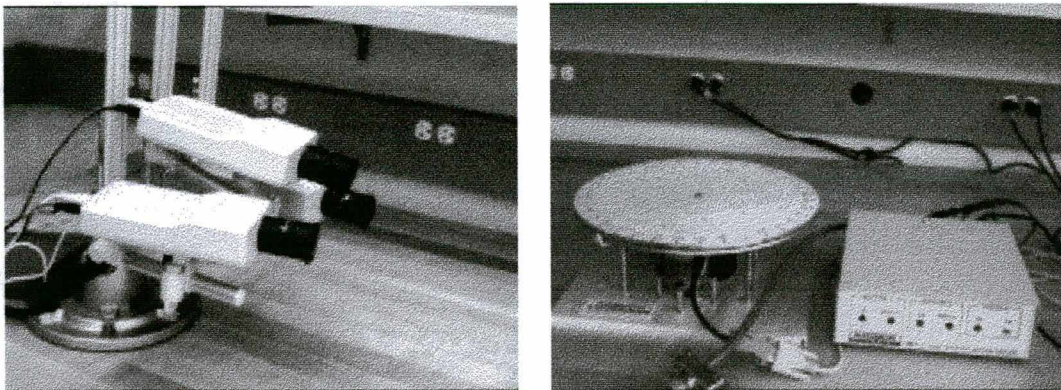


Figura 2-13 - Sistema de três Câmaras e Mesa Rotativa

Vantagens:

- facilidade de obtenção de grandes densidades de pontos;
- velocidade de aquisição de pontos elevada.

Desvantagens:

- volume de digitalização pequeno (200x100x200mm);
- dificuldade de digitalizar aberturas profundas ou concavidades;
- médio custo (US\$ 40 000).

2.1.10 Fotogrametria por Fotografias Digitalizadas

A partir de um conjunto de fotografias digitalizadas em scanners 2D pode-se calcular as coordenadas de pontos escolhidos nas fotos. Como as posições da câmera não são conhecidas, é necessário um processo interativo de indicação da correspondência entre os pontos das diferentes imagens utilizadas.

Um exemplo de programa de fotogrametria é o Photomodeler [21], que oferece ferramentas para a marcação de arestas nas várias vistas, para depois retirar a textura e aplicá-la às faces do modelo tridimensional.

A precisão dos modelos obtidos depende da resolução da digitalização feita das fotos, e também da distância e das proporções do objeto fotografado. Normalmente os modelos são de qualidade insuficiente para aplicações em engenharia, limitando-se o uso a construção de ambientes para simulações em realidade virtual, como é o caso do veículo apresentado nas figura 2-14 e 2-15.



Figura 2-14 - Modelo VRML produzido com Photomodeler



Figura 2-15 - Fotogrametria com Photomodeler

Vantagens:

- facilidade de obtenção de modelos poliédricos texturizados;
- possibilidade de digitalização de grandes modelos;
- baixo custo (US\$ 600).

Desvantagens:

- dificuldade de digitalizar aberturas profundas ou concavidades;
- grande incerteza dimensional;

2.1.11 Radar Laser

É a combinação das tecnologias de medição por laser e radar. Também é chamado Lasar. Serve para a digitalização de grandes estruturas, como pontes e prédios, devido à característica do radar percorrer grandes distâncias sem

degradação. Se baseia na obtenção de duas imagens. Uma contendo informações de luminosidade para cada ponto do CCD (obtida pela reflexão do laser), e outra com informação de profundidade para cada ponto (obtida pela reflexão do radar) [22].

Vantagens:

- facilidade de obtenção de grandes densidades de pontos;
- velocidade de aquisição elevadíssima (100 000 - 390 000 pt/s);
- possibilidade de digitalização a grandes distâncias (mais de 100m).

Desvantagens:

- médio custo (US\$ 50 000);
- baixa resolução para grandes volumes (10mm).

2.1.12 Tomografia

É um processo de digitalização com raio X de grande intensidade, desenvolvido para peças metálicas. Permite a obtenção de coordenadas de superfícies exteriores e interiores da peça. Ainda está em desenvolvimento, não sendo produzido comercialmente. A digitalização pode ser feita com incertezas de apenas 0,005 mm para peças pequenas ou com 1,0 mm para peças de 1,0 metro [23].

Por outro lado a tomografia vem sendo largamente utilizada na medicina e na biomecânica, para a obtenção de imagens do interior do corpo humano (ver figura 2-16), que podem ser processadas para a obtenção de modelos tridimensionais para próteses ou implantes.

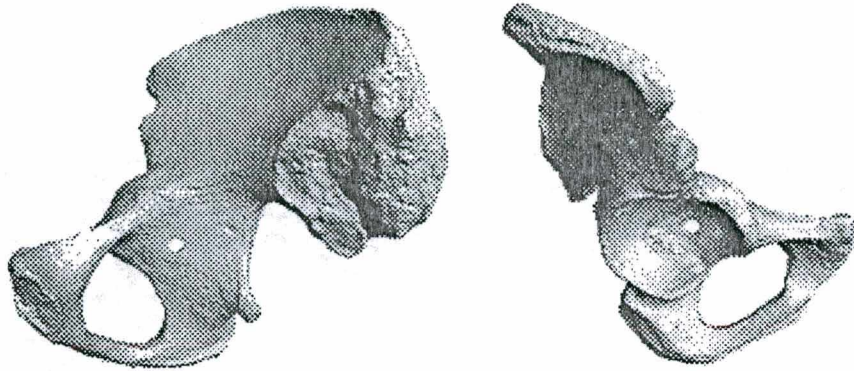


Figura 2-16 - Osso da Bacia Digitalizado

2.1.13 Tunelamento

O tunelamento pode ser usado para a digitalização 3D de superfícies de pequeníssimas dimensões. Tunelamento é o fenômeno de passagem de elétrons entre a superfície de uma amostra e uma sonda pontiaguda, quando esta chega a distâncias de 0,5 nm. O salto de elétrons através do vácuo (tunelamento) é extremamente dependente dessa distância, e se for monitorado para permanecer constante enquanto a sonda é deslocada sobre a superfície, os deslocamentos da sonda podem ser registrados, formando uma representação tridimensional por pontos afastados de 0,1 nm [24].

A figura 2-17 apresenta a imagem da superfície de um Compact Disc mostrando uma área de aproximadamente $5,5 \times 5,5 \mu\text{m}$. Aparecem partes de cinco trilhas separadas por $1,6 \mu\text{m}$. A altura das saliências é de $0,6 \mu\text{m}$ e o comprimento é de $1,2 \mu\text{m}$ a $4 \mu\text{m}$.

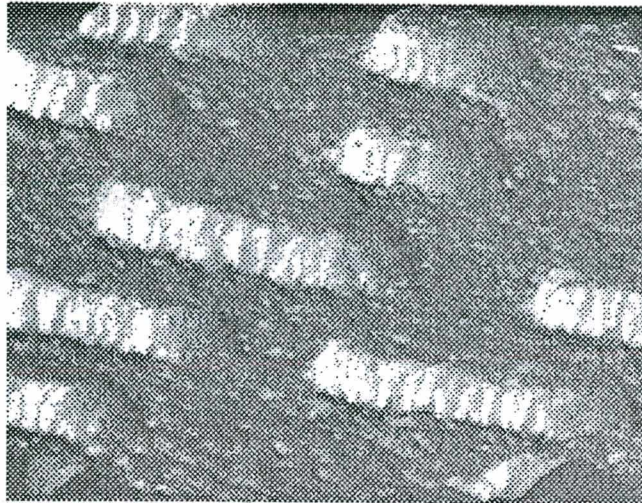


Figura 2-17 - Superfície de um Compact Disc

2.1.14 Moiré de Projeção

Esta tecnologia (Shadow Moiré) se baseia na captação de uma imagem por uma câmara digital CCD através de uma malha com reticulado muito pequeno. A partir da medição das franjas que resultam do batimento das linhas da malha e sua sombra na superfície da peça, é feito o cálculo das alturas dos pontos correspondentes no modelo [25]. A geometria completa de uma peça pode ser obtida através da associação dos pontos de várias imagens, de diferentes pontos de vista [26].

Vantagens:

- facilidade de obtenção de grandes densidades de pontos;
- velocidade de aquisição de pontos elevada (25 000 - 200 000 pt/s);
- digitalização de baixíssima incerteza (0,001 - 0,1 mm).

Desvantagens:

- médio custo (US\$ 50 000);
- pequeno volume de digitalização(5x5x0,3 mm até 300x300x300 mm).

2.1.15 Luz Infravermelha e CCD linear

Realizada de forma manual, sem tocar o modelo físico. Baseia-se na incidência de luz infravermelha sobre a superfície a digitalizar e reflexão sobre uma linha de células foto-sensíveis (CCD linear) [71].

Vantagens:

- volume de digitalização grande (2600x3540x6000- 6000x3540x8000 mm);
- independência da cor e do acabamento superficial do modelo.

Desvantagens:

- grande incerteza das coordenadas (0,2 mm);
- dificuldade de digitalizar aberturas profundas ou concavidades;
- médio a alto custo (US\$ 58 000 - US\$ 152 000).

2.2 ENGENHARIA SIMULTÂNEA

2.2.1 Definições

Engenharia Simultânea e Engenharia Concorrente são denominações recentes para o processo de desenvolvimento de produtos, onde se adota a metodologia de trabalho conjunto e cooperativo, em lugar do trabalho independente e seqüencial.

Conforme o dicionário Melhoramentos Eletrônico [27], concorrer significa tanto "juntar-se para uma ação ou fim comum; contribuir, cooperar, correr para o mesmo objetivo", como também "rivalizar com outrem". Concorrente, conforme o dicionário Aurélio [28] deriva do latim concurrente que adjectiva alguém "que concorre", "competidor". Neste trabalho usou-se a denominação Engenharia Simultânea, como expressão que reforça a idéia de paralelismo e simultaneidade na execução das tarefas, sem sugerir competição ou rivalidade como poderia acontecer com Engenharia Concorrente.

2.2.2 Propósitos

Engenharia Simultânea visa ao aumento das chances de sucesso do produto, através da melhoria de qualidade, da redução do tempo para a colocação no mercado e da redução do custo de produção [29].

Melhoria da qualidade

A qualidade pode ser melhorada através da colaboração dos vários setores da empresa no processo de desenvolvimento do produto. Morup [1] e Kusiak [2] defendem que todas as etapas do ciclo de vida do produto devem ser

consideradas, não só durante a fase ativa do projeto, mas desde a concepção do produto até o seu descarte, a fim de atender aos requisitos de comercialização, produção, distribuição, uso e descarte.

As contribuições feitas desses vários pontos de vista, durante o projeto, podem trazer um aprimoramento em relação à facilidade de manufatura e montagem, por exemplo. Um projeto que não considera dificuldades de distribuição, assistência técnica, e até descarte, não trará a satisfação completa a todos os consumidores.

O caráter multi-disciplinar do trabalho em Engenharia Simultânea favorece a união de capacidades distintas, permitindo a detecção precoce de problemas.

Redução no Tempo de Desenvolvimento

O fabricante que consegue lançar um produto novo antes da concorrência, conquista e mantém a maior parcela do mercado. Um atraso de 6 meses na colocação de um produto no mercado pode reduzir em 33% os lucros esperados [3].

Segundo Dietz [30], 70% a 80% das chances de sucesso de um produto dependem do projeto. O resultado de uma pesquisa feita em 1990 junto a 140 indústrias alemãs, mostra que o planejamento efetivo e a organização do processo de desenvolvimento, com todos os setores envolvidos, reduzia em média 46.3% o **tempo** para lançamento de um novo produto, enquanto o simples uso de CAD/CAM reduziria em apenas 23,5%, conforme figura 2-18.

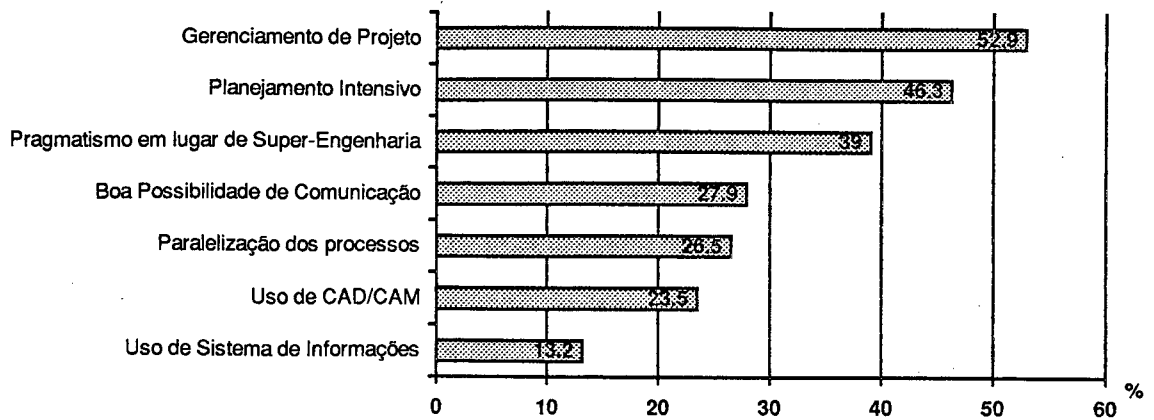


Figura 2-18 - Possibilidades de redução no tempo de desenvolvimento

Prasad [31] representa o ganho de tempo que pode ser obtido com o uso de Engenharia Simultânea, em lugar do método tradicional de trabalho seqüencial com o esquema da figura 2-19.

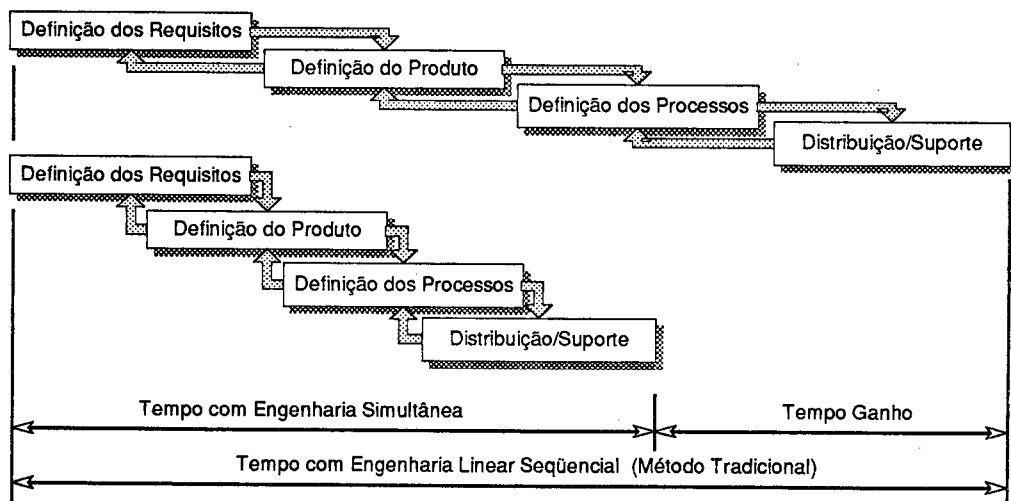


Figura 2-19 - Tempo ganho com Eng. Simultânea

A execução paralela, das atividades tradicionalmente posteriores ao projeto, permite um ganho significativo de tempo.

Redução dos Custos

Hartley [3] mostra que, no caso da Ford Motor, apesar do projeto demandar 5% do custo [relativo ao tempo de produção] ele tem influência sobre 70% dos custos globais. Um projeto que leva em consideração os requisitos de

todas as etapas do ciclo de vida de um produto, exige poucas modificações posteriores. Modificações feitas ainda durante a fase de projeto têm um custo muito baixo, se comparado ao custo que teriam após o investimento de tempo e recursos em sistemas de manufatura e suporte. A Engenharia Simultânea permite que se percebam necessidades de modificação antes da conclusão do projeto.

Apesar da necessidade de investimentos em treinamento e suporte computacional para Engenharia Simultânea, o custo da etapa de projetos é baixo, em relação a lucratividade possível com um produto. Hartley apresenta dados como:

- Um custo de desenvolvimento de produto 50% superior reduz apenas 3,5% dos lucros;
- Produto produzido a custo mais baixo permite mais lucratividade e competitividade (um custo 9% mais alto reduz 22% dos lucros).

Pode-se dizer que o custo da Engenharia Simultânea é muito baixo, se comparado ao benefício que traz.

2.2.3 Métodos de Implementação

A implementação prática da filosofia de Engenharia Simultânea tem se baseado em dois métodos principais [32]:

Formação de Equipes de Engenharia Simultânea - Um grupo multi-disciplinar, composto por representantes dos vários setores da empresa [e seus parceiros], se reúne para discutir e trocar informações sobre o produto nas diversas etapas do seu ciclo de vida. O grupo é responsável pela negociação das características

fundamentais do produto, levando em consideração os requisitos de cada etapa. Este método pode, ou não, ser apoiado por sistemas de computador.

Adoção de Sistemas Computacionais de Suporte – Implantação de bancos de dados centralizados ou distribuídos, estruturados para permitir que as informações associadas à estrutura de produtos, sejam compartilhadas sem redundância ou duplicidade. As informações incluídas por equipes de projeto ficam imediatamente acessíveis ao pessoal de planejamento de processos de fabricação, para permitir avaliações e contribuições, mesmo antes do projeto estar concluído. As informações sobre recursos de manufatura e montagem ficam acessíveis aos projetistas para permitir que sejam levadas em consideração desde as fases iniciais do projeto [33].

2.3 SUPORTE COMPUTACIONAL

Qual é o estado atual do desenvolvimento de ferramentas de suporte computacional para a engenharia? Quais as atividades suportadas em ambientes computacionais para Engenharia Simultânea? Qual o contexto atual, de suporte à Engenharia Simultânea em que se pretende inserir a digitalização 3D?

O suporte computacional às atividades de engenharia evoluiu a partir dos primeiros programas de CAD até os sofisticados sistemas corporativos de engenharia simultânea baseados em PDM/EDM, que propiciam o fluxo de informações entre as diferentes equipes de trabalho, desde a concepção estilística do produto até o suporte técnico aos usuários.

O computador vem sendo utilizado para modelamento de produtos sob diferentes pontos de vista. Os primeiros programas de CAD produziam uma

representação digital bidimensional dos vetores de desenhos de engenharia, substituindo a folha de desenho. Depois os programas de CAM surgiram para produzir programas para máquinas CNC, criando uma representação própria das trajetórias de ferramentas e seqüências de usinagem, baseadas nos desenhos de CAD. O surgimento constante de novas ferramentas, trouxe muitas formas diferentes de representar digitalmente o mesmo produto.

A implementação da Engenharia Simultânea cria a necessidade de compartilhar informações, entre os diferentes sistemas de suporte computacional, podendo haver a necessidade de transformação das representações particulares a cada programa de suporte, de forma que possam servir aos outros programas quando necessário, como por exemplo as representações de CAD podem ser necessárias para facilitar o trabalho com CAM.

O objetivo de um sistema de suporte à engenharia é manter um modelo que possa ser utilizado por todos, sem dificuldades de transformação de representações, mantendo a associação entre as diferentes visões do produto.

2.3.1 Modelamento de Sólidos CSG, B-rep ou Híbrido?

O modelamento de sólidos é a solução mais abrangente para aplicações de engenharia, porque permite a inferência algorítmica das várias propriedades volumétricas dos componentes. Mäntylä apresenta as várias formas possíveis de representação de sólidos [34].

Como nenhuma das representações de sólidos é superior a outra, pode-se usar várias representações simultâneas em modeladores híbridos.

POR QUE MÚLTIPLAS REPRESENTAÇÕES ?

Modelo	Vantagem	Desvantagem
Decomposição	Facilidade com dados numéricos	São aproximações São difíceis de construir
Construtivos (CSG)	São os mais concisos	Saída gráfica lenta Saída numérica lenta
Contorno (B-rep)	Saída gráfica rápida Facilidade com dados numéricos	Espaço de modelamento limitado se representação for poliédrica

Modeladores Híbridos podem usar as melhores características das várias representações, realizando conversões entre elas.

PROBLEMAS DE MODELADORES HÍBRIDOS

Os modeladores de sólidos híbridos devem prever problemas de conversões entre uma representação e outra, de consistência entre as representações, e de transações de modelamento.

Conversões

A figura 2-20 apresenta as conversões entre as diferentes representações e as dificuldades inerentes:

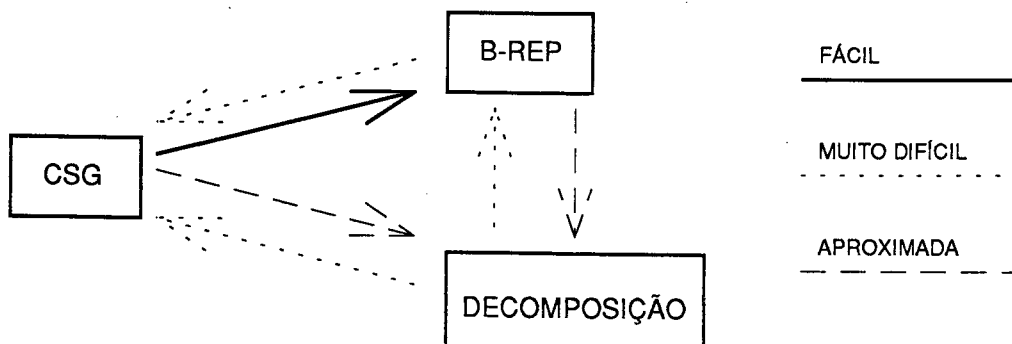


Figura 2-20 - Conversões de entre representações de sólidos

Consistência

Para manter a consistência entre as representações de um modelador híbrido, temos uma redução em funcionalidades disponíveis.

Um modelo CSG normalmente não pode incluir superfícies paramétricas. Se um modelo B-rep for criado por conversão de um CSG, e for modificado com inclusão de concordâncias (Blends), não será consistente com o CSG.

Modeladores híbridos que visam consistência entre as representações só suportam operações que possam ser mapeadas em todas as representações. Operações booleanas podem ser mapeadas nas representações importantes, mas não são suficientes para uma boa interface em um modelador de sólidos. Também é bem mais difícil suportar operações de desenho em várias representações.

Transações de Modelamento

Como as modificações nas representações são seqüenciais, é necessário estabelecer seqüências indivisíveis de operações de modelamento para garantir consistência. Cada interação com o usuário deve disparar uma transação que realize todas as atualizações antes de aceitar a próxima interação.

ARQUITETURAS HÍBRIDAS

A arquitetura esquematizada na figura 2-21 não permite modificações no modelo de contorno B-rep. O usuário só pode utilizar as ferramentas de modelamento sobre a representação CSG.

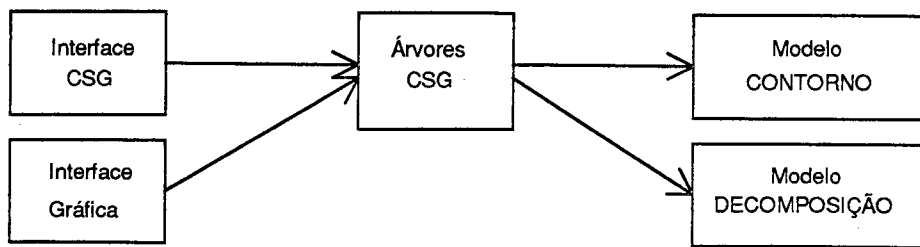


Figura 2-21 - Interface CSG / Modelador CSG

Modeladores como o proposto na figura 2-22 permitem modificações locais nas superfícies do sólido, ou operações de desenho como Sweeping.

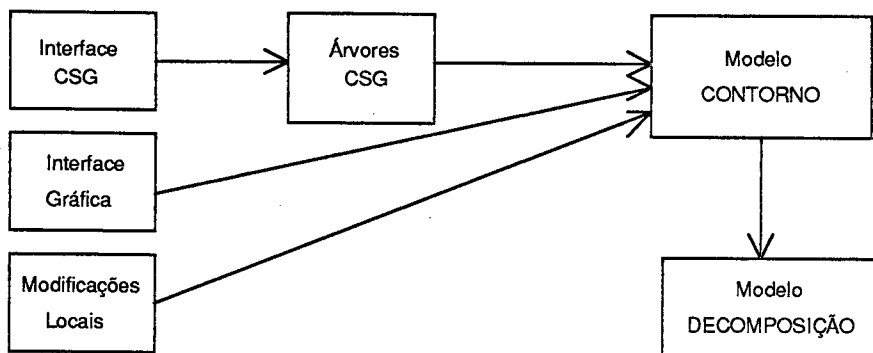


Figura 2-22 - Interface CSG e B-rep em Modeladores B-rep

MODELADORES DISTRIBUÍDOS

Modeladores distribuídos permitem a divisão do processamento, concentrando poder de visualização nas estações de trabalho, enquanto o servidor é incumbido dos cálculos, como mostra a figura 2-23:

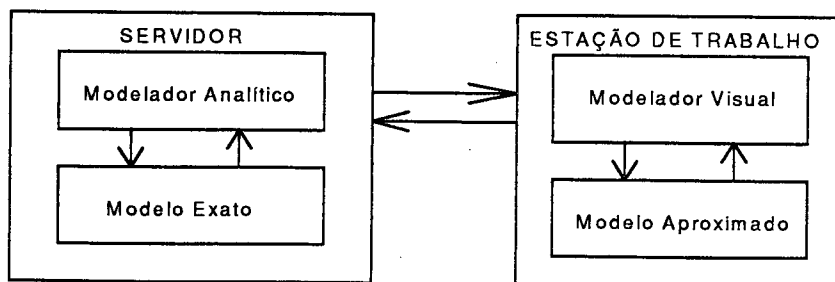


Figura 2-23 - Modeladores distribuídos

OUTRAS ABORDAGENS HÍBRIDAS

Para evitar as dificuldades da adoção de múltiplas representações, estão sendo propostas novas representações únicas para sólidos.

Tipicamente são uma combinação de CSG ou B-rep com Octree ou Enumeração.

A predominância dos modeladores B-rep em software para aplicações de mecânica, deve-se à necessidade de modificações locais, permitindo maior liberdade de criação. Esses sistemas computacionais adotam também uma interface de construção CSG, e um registro do histórico de construção, para viabilizar a parametrização do modelo B-rep.

2.3.2 Modelamento Associativo Paramétrico e Variacional

Modelamento associativo paramétrico é uma denominação usada para modeladores com capacidade de associação e de recálculo das dimensões nominais representadas, caso alguma delas sofra modificação. Isto é, se uma representação das trajetórias de ferramenta foi produzida em um sistema CAM, com base nas dimensões presentes no modelo geométrico produzido em CAD, e depois este modelo geométrico sofrer alterações, é necessário que sejam recalculadas as trajetórias, com base na nova representação geométrica da peça.

A manutenção da associatividade entre as diferentes representações se torna mais difícil, quando o ambiente de trabalho é heterogêneo, composto por sistemas com diferentes arquiteturas internas, decorrentes das diferentes estratégias de desenvolvimento adotadas pelos produtores dos programas.

A desejada interoperabilidade entre sistemas CAD dissimilares é difícil de obter em função dos diferentes métodos adotados na representação interna do modelo, e do histórico de construção e parametrização [35].

2.3.3 Gerenciamento de Dados PDM/EDM

PDM ("Product Data Management") e EDM (Engineering Data Management) são sistemas de gerenciamento de dados de produtos e processos, colocados a disposição de todos os setores da empresa, a fim de centralizar e gerenciar a distribuição de todas as informações sobre o produto. O gerenciamento de dados de produto é uma focalização dos primeiros esforços em gerenciar eletronicamente os documentos das empresas.

Dickerson [36] diz que um sistema de gerenciamento de dados de produto ou engenharia PDM/EDM é composto de:

- depósito de arquivos
- gerenciador de fluxo de trabalho
- um gerenciador de estrutura de produto
- sistema de classificação e pesquisa de dados
- gerenciamento de projetos
- comunicação e notificação
- distribuição de dados
- tradução de dados
- interface de usuário.

Gössling [37] diz que EDM pode ser uma ligação da engenharia ao mundo do MRP, permitindo o gerenciamento do projeto e planejamento e simulação da produção.

Existem vários produtos comerciais de PDM, como o IMAN [38] da EDS/UNIGRAPHICS ou o EPD da Computervision [39].

2.3.4 Tecnologia de Features

Conforme Shah [40], a tecnologia de modelamento baseado em “features” surgiu da necessidade de associar as geometrias dos componentes, em projetos de sistemas mecânicos, às operações de manufatura correspondentes. Isso inicialmente visava facilitar o planejamento de processos e a programação de máquinas CNC. Para superar a limitação dos sistemas de CAD, que simplesmente armazenavam geometria, foi necessário acrescentar informações como tolerâncias de fabricação, acabamento superficial, forma e dimensões características [parâmetros] da geometria das peças mecânicas. A representação geométrica passa a ser uma consequência da representação por “features”, conforme o CAM - I [41].

Posteriormente, o conceito de “feature” foi estendido para: conjuntos de informações [geométricas e/ou não geométricas] que possam ser formulados em termos de parâmetros e propriedades genéricas. Esses conjuntos são referidos como objetos. Em ambientes computacionais de suporte à engenharia simultânea, os objetos ou “features”, visam permitir a construção de um modelo único, centralizado, com a representação da geometria, das características funcionais e das diretrizes de manufatura, para componentes e sistemas mecânicos.

Projeto por Features

A representação de um projeto por um modelo de “features” permite que se mantenham associadas as informações referentes as diversas visões sobre o mesmo. Pode-se ter informações geométricas, ou sobre processos de

manufatura, inspeção, características funcionais, comportamento, ou matéria prima, por exemplo, associadas a cada "feature" de uma peça.

Rosa [42] diz que a partir de seu modelo funcional, uma peça pode ser descrita como vários grupos de "features" que suportam as suas funções elementares, como mostra a figura 2-24.

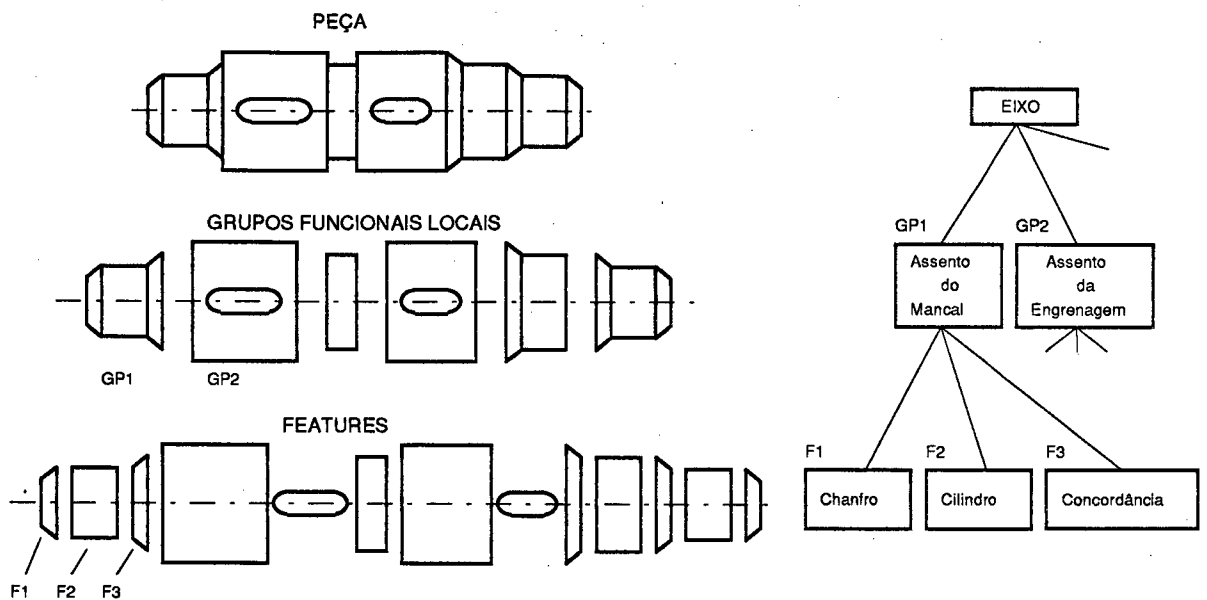


Figura 2-24 - Features a partir dos grupos funcionais da peça

Cada "feature" agrega informações geométricas e não geométricas. As informações geométricas podem ser explícitas, na forma de parametrizações, ou implícitas devendo ser inferidas algoritmicamente.

Faux [43] diz que uma alternativa de projeto por "features" capaz de reduzir os custos de fabricação, deve suportar as "features" que possam ser produzidas com os equipamentos e ferramentas de usinagem disponíveis. Ele propõe o uso de coleções de "features" que reflitam as capacidades de fabricação disponíveis.

As "features" usadas para modelar um componente mecânico são elementos geometricamente simples, que podem ser geometricamente definidos

por parâmetros pré-estabelecidos. A digitalização 3D deverá fornecer os dados para a inferência dos parâmetros dimensionais das mesmas.

Requicha [44] e Dong [45] apresentam a possibilidade de reconhecer “features” como furos, rasgos e rebaixos em peças, durante o planejamento de processos, com base em arquivos de CAD e técnicas de heurística.

2.3.5 Orientação a Objetos

Coad [46] diz que a orientação a objetos visou, inicialmente, dar consistência ao código de programas, através do encapsulamento de atributos [dados] e serviços [rotinas de entrada, alteração, exibição ou cálculo dos atributos]. Esse encapsulamento mantém juntos os atributos e os serviços relacionados, reduzindo o tráfego de dados entre diferentes partes do trabalho.

Uma classe foi definida como uma descrição de objetos com conjuntos uniformes de atributos e serviços, e pode conter a descrição de como criar novos Objetos na Classe.

Com a orientação a objetos, o código de programa para uma classe de objetos, uma vez testado e aprovado, pode ser reaproveitado, através de herança, para classes derivadas. Isso evita erros, e acelera a produção de programas, além de facilitar a sua manutenção. Como exemplo, pode-se citar o problema comum, na programação tradicional, de múltiplas implementações de uma mesma função. Em alguns sistemas CAD, foram encontradas dezenas de rotinas diferentes com a função de rotação de matrizes, antes de se adotar a programação orientada a objetos.

A orientação a objetos tem sido utilizada também, na interface e no banco de dados dos novos sistemas de CAD, como metodologia de desenvolvimento OOD (Object Oriented Design), visando facilitar a manipulação de "features".

2.3.6 Banco de dados de Engenharia Simultânea

Vários trabalhos na área de estruturação de sistemas de informação voltados para Engenharia Simultânea, têm concordado que a Tecnologia de Modelamento por "features" é uma solução para a integração das diferentes informações sobre o produto. Conforme Afsarmanesh[47] a Tecnologia de "Features" pode fornecer a estrutura básica do banco de dados de Engenharia Simultânea, porque permite a decomposição do produto nos seus detalhes mais elementares, e a associação de várias informações a esses detalhes, numa representação orientada a objetos.

As visões individuais das áreas de conhecimento envolvidas nas várias etapas do ciclo de vida de um produto, podem ser vinculadas às "features". Uma "feature" que represente um furo em uma peça prismática, por exemplo, pode ser o elo de ligação entre informações geométricas em CAD, com informações de ferramental necessário para sua produção em CAM. Rosenman [48] defende que as múltiplas visões dos objetos projetados em ambientes colaborativos devem se basear nas propriedades funcionais como aspecto essencial.

A estrutura do banco de dados forma um modelo do produto, permitindo várias visões diferentes desse mesmo produto.

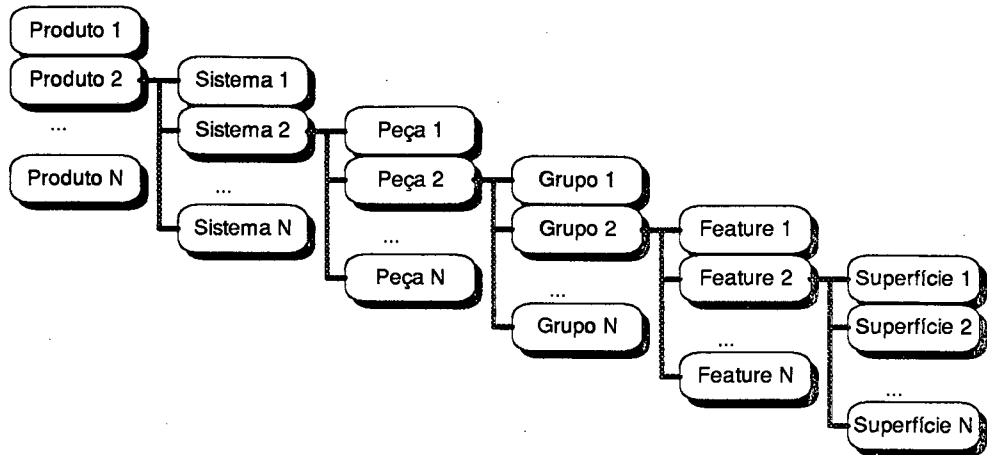


Figura 2-25 - Hierarquia de Classes do Banco de dados

A figura 2-25 mostra um exemplo de hierarquia de classes para definição de um produto no banco de dados:

- Produto
- Sistema
- Peça
- Grupo
- Feature
- Superfície

A cada nível da hierarquia podemos agregar atributos necessários para análise de resistência, análise cinemática, confiabilidade, usinagem, montagem, etc... Também podem ser agregadas transformações geométricas (matrizes de rotação, translação) para fazer um posicionamento relativo entre diferentes peças de um produto.

A “feature” pode agregar representações de diferentes níveis dimensionais, conforme as necessidades em cada atividade envolvida no projeto:

- "Feature" 0D (projeto funcional)
- "Feature" 1D (projeto conceitual)
- "Feature" 2D (projeto preliminar)
- "Feature" 3D (projeto detalhado)

As informações de parâmetros geométricos têm por objetivo fornecer subsídios para a geração de desenhos, modelos de análise, modelos para programação CNC, etc. A representação geométrica necessária para cada atividade é diferente, sendo armazenada através das classes derivadas da "feature".

2.3.7 Tecnologia de Núcleos de Modelamento

O desenvolvimento de aplicações baseado na orientação a objetos, permitiu a utilização de objetos produzidos por terceiros, na produção de programas para engenharia. Em função disso, empresas especializadas na programação de modeladores de sólidos passaram a ter um mercado muito grande junto aos fornecedores de sistemas de CAE/CAD/CAM, que anteriormente eram obrigados a desenvolver suas próprias rotinas. Aplicações de visualização e modelamento por superfícies ou sólidos tiveram seu tempo de desenvolvimento muito reduzido, graças à utilização dos núcleos prontos, de empresas cuja competência principal é essa.

Um produto da empresa Spatial Technology [49], denominado "ACIS 3D Toolkit", vem provocando uma mudança nos desenvolvimentos dos novos programas de engenharia para microcomputadores. ACIS é um núcleo de

processamento geométrico para programas escritos em linguagem C++. É um conjunto de rotinas desenvolvido com o propósito de tornar-se um padrão mundial de modelamento 3D, oferecendo recursos para construção de curvas paramétricas, superfícies nurbs e sólidos, numa arquitetura aberta, orientada a objetos, conforme o esquema da figura 2-26:

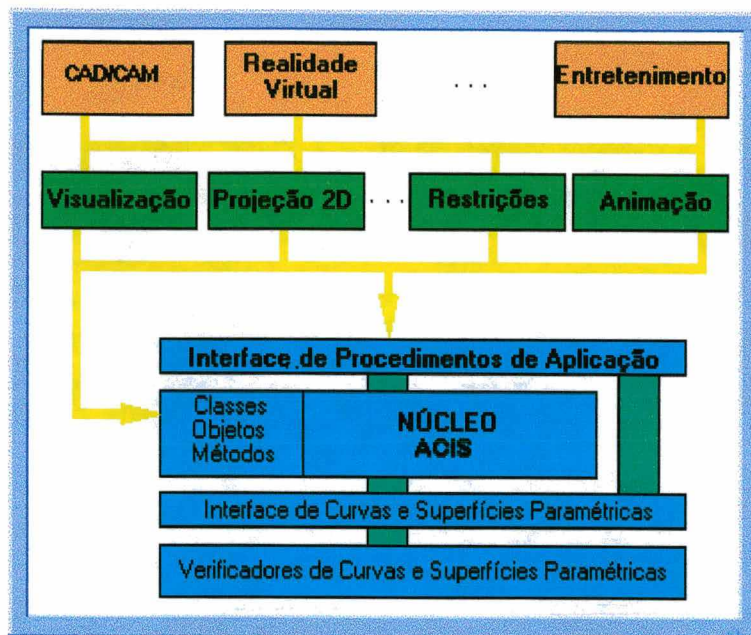


Figura 2-26 - Arquitetura do ACIS 3D Toolkit

Aplicações como CAD/CAM ou Realidade Virtual podem utilizar rotinas prontas de visualização ou animação que, por sua vez, utilizam-se das classes, objetos e métodos do núcleo de modelamento. Para facilitar ainda mais a programação, evitando o uso direto das classes, o núcleo é dotado de interfaces de alto nível. Uma interface facilita a manipulação de curvas e superfícies, podendo comandar verificações de área, volume e topologia, enquanto outra funciona como interpretador de comandos. Dessa forma as aplicações podem ser rapidamente escritas, em linguagem C++, oferecendo poderosos recursos de modelamento, e visualização.

Outras empresas importantes usam outros núcleos ou mesmo suas próprias rotinas de modelamento:

- Cadra Solids - Adra - Núcleo Ricoh da Design Base;
- Helix - MicroCadam - Núcleo Ricoh da Design Base;
- IDEAS - SDRC - Núcleo SDRC;

Ao final de 1995, o formato de arquivos SAT (abreviação de "Save As Text"), gerado pelo núcleo ACIS foi tornado público, com divulgação pela Internet [60]. Isso permitiu que qualquer um escreva, arquivos neste formato, para serem lidos diretamente por programas baseados no ACIS. O formato é uma representação de contorno B-Rep das geometrias construídas com ACIS. Foram incluídos nos apêndices deste trabalho, os primeiros capítulos disponibilizados na internet.

O compartilhamento de geometrias entre aplicações ACIS pode ser feito sem o uso de arquivos de troca como IGES, já que todos tem o mesmo formato nativo de armazenamento. A figura 2-27 representa esta vantagem.

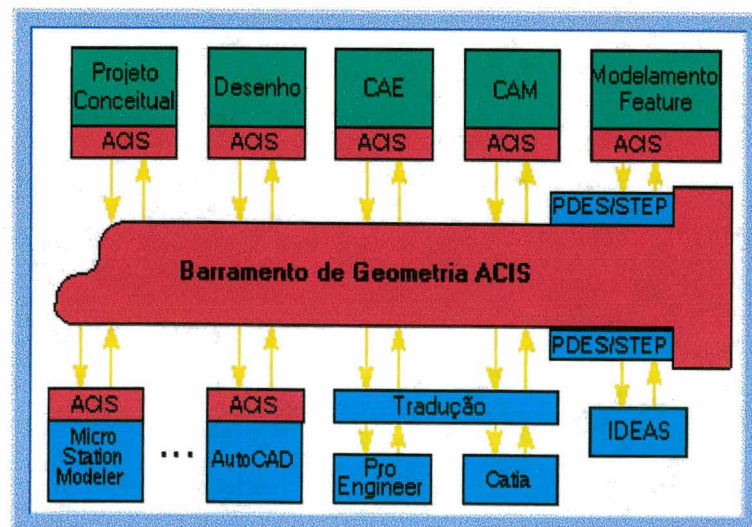


Figura 2-27 - Barramento de Geometria ACIS

O formato SAT inclui também um registro de histórico de modelamento, que permite que se mantenha a interdependência utilizada na construção de uma "feature", quando esta for utilizada em outro sistema.

O tempo do ciclo de desenvolvimento de produtos de engenharia pode ser reduzido em ambientes colaborativos, com a redução de dificuldades como conversão de formatos de arquivos [61].

2.3.8 Padrão de fato?

Pode ACIS vir a tornar-se um padrão de modelamento, na representação de geometrias tridimensionais?

Existe uma batalha comercial entre os dois maiores concorrentes no fornecimento do núcleo: ACIS x PARASOLID. Outros núcleos também são usados como o DESIGN BASE da Ricoh, e núcleos proprietários.

A hegemonia de um padrão de modelamento teria como consequência positiva, do ponto de vista dos usuários [62], a desejada interoperabilidade de diferentes sistemas de engenharia com os mesmos arquivos. Por outro lado, os próprios desenvolvedores de programas temem que um concorrente possa utilizar os arquivos que seu programa produz, sob risco de que o usuário troque de sistema, mantendo toda a base de dados.

Se a aceitação do núcleo ACIS continuar no ritmo atual, poderá vir a tornar-se um padrão de fato [63]. A figura 2-28 mostra o crescimento até 1995, quando haviam 250 000 usuários ativos em um universo de 1 600 000 usuários potenciais. Atualmente, apenas dois anos depois, já existem aproximadamente 1 000 000 de usuários ativos, conforme apresentado no

capítulo 2.3.7. Desde 1995 o número de usuários do concorrente mais próximo, o PARASOLID, subiu de 36 000 para aproximadamente 75 000 .

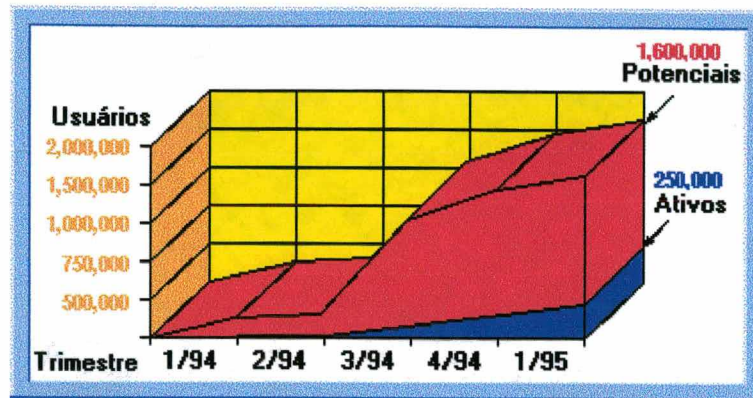


Figura 2-28 - Número de usuários ACIS

2.3.9 STEP x ACIS

Inicialmente pode parecer que há alguma competição entre ACIS e STEP. Por seus propósitos distintos, eles não concorrem. ACIS é uma representação puramente geométrica, enquanto STEP procura representar um produto em todas as etapas de seu ciclo de vida [64], de forma orientada a objetos, baseada em "features". Um arquivo .SAT (formato ACIS) é uma representação de superfícies, topologicamente consistente, do modelo sólido. O arquivo não contém outras informações além da geometria e topologia da peça. STEP armazena a estrutura de "features" da peça, e não apenas a geometria da peça.

O STEP (ISO 10303) pode ser usado como formato para a troca de informações entre aplicações em Engenharia Simultânea. Tavares [65] e Vaquero [66] propõem a implementação de sistemas de gerenciamento de informações baseados em arquivos STEP, e na linguagem EXPRESS. Gu e Chan [67] apresentaram um modelador STEP baseado em um pacote comercial de CAD que se utiliza do ACIS para o modelamento geométrico.

Existe até a possibilidade de que ACIS venha a complementar a linguagem EXPRESS, que integra o STEP, na construção de representações geométricas, caso venha a tornar-se um padrão de fato.

2.3.10 OLE para Design e Modelamento

Está sendo concluído pelo DMAC (Design and Modeling Advisory Council - Conselho Consultivo para Design e Modelamento) [68] a especificação para o "OLE for Design and Modeling".

OLE "Object Linking and Embedding" é uma função do sistema operacional, que permite vincular ou inserir objetos em arquivos. Os primeiros objetos que puderam ser inseridos em arquivos foram os gráficos ou fotografias em textos. O DMAC está formulando a estrutura do OLE de modelos geométricos tridimensionais, que servirá para permitir a cópia e colagem de objetos 3D de um programa para outro. O OLE para design e modelamento permitirá por exemplo, que uma montagem de peças seja feita a partir de vários modelos diferentes, sem necessidade de conversão explícita de formatos de arquivos.

2.3.11 Intranet e Internet

O suporte ao trabalho em rede tem se tornado recurso valioso para o trabalho colaborativo.

A rede Internet é uma estrutura de comunicação digital que surgiu no meio militar, depois acadêmico, para recentemente ser disponibilizado para o público em geral. O maior impulso para essa popularização foi o desenvolvimento da "World Wide Web" ou Teia Global, que introduziu a interface gráfica com hiper texto e hiper mídia. A WWW permite a transmissão de páginas formatadas com

texto, imagens, vídeos e sons com marcações ("links") que levam a outras páginas. Isso permitiu que pessoas sem preparo especial pudessem "navegar" na rede.

Intranet é a denominação recente para as redes internas de empresas, nas quais as informações podem ser distribuídas no formato de hipertexto ou hiperídia.

Tanto em intranets como na Internet a linguagem predominante para a construção de páginas de hipertexto é o HTML "Hiper Text Markup Language".

Para a transmissão e apresentação de modelos geométricos poliédricos através da Internet foi desenvolvida a VRML "Virtual Reality Modeling Language" ou Linguagem de Modelamento para Realidade Virtual. Esse formato permite a aplicação de texturas sobre as superfícies poligonais dos objetos, dando um aspecto mais realista à visualização. Os modelos VRML não são representações sólidas de aplicação geral, de geometria e topologia consistentes, mas sim uma representação visual por superfícies poligonais.

Quando as redes internas tem conexão com a Internet, existe a possibilidade de usufruir da WWW para a transferência de texto e arquivos entre uma empresa e seus parceiros e fornecedores.

A maioria dos fornecedores de sistemas de EDM/PDM oferecem ferramentas de acesso a bancos de dados através da WWW.

Segundo a revista Integrated Design & Manufacturing [69], a Boeing diz ter reduzido seus custos de modificação em 75 % utilizando distribuição de dados de engenharia através da Internet .

Noaker [70] diz que empresas como Ford Motor Co. e seus fornecedores economizam US\$ 600 000 anualmente, utilizando a Internet para compartilhar dados de projeto, e apresenta maneiras simples de garantir segurança nas transações feitas.

3. ANÁLISE DE APLICABILIDADE

À primeira vista, a digitalização 3D parece ser perfeitamente aplicável à construção de quaisquer modelos geométricos para engenharia, sendo até descrita por alguns fornecedores de equipamentos como uma forma de “fotocópia tridimensional” de uma peça física. É necessário, porém, que se verifique quais os tipos de modelos geométricos que realmente podem ser construídos. As diferentes tecnologias de digitalização permitem obter diferentes “nuvens de pontos”, que por sua vez terão de ser transformadas em diferentes modelos geométricos. A aplicabilidade da digitalização 3D depende dos modelos construídos a partir dos pontos amostrados.

A aplicabilidade da digitalização 3D em ambientes de Engenharia Simultânea depende das possibilidades reais de construção de modelos consistentes e significativos do produto, sob o ponto de vista de cada uma das diferentes atividades suportadas pelo sistema computacional.

3.1 APLICAÇÕES EM ENGENHARIA

Se a única aplicação de um modelo geométrico de uma peça fosse a sua visualização em computadores, uma nuvem densa de pontos poderia ser suficiente, especialmente se a cor da superfície também fosse registrada durante a digitalização.

Como normalmente as diferentes aplicações em engenharia exigem a manipulação ou modificação do modelo geométrico, é natural que se exija uma transformação da nuvem de pontos em uma representação de nível mais elevado, como modelos de superfícies ou sólidos.

Como áreas de aplicação da Digitalização 3D na engenharia mecânica podemos citar:

- **Ergonomia e Biomecânica** – A digitalização 3D aplicada à antropometria de características físicas individuais visando, por exemplo, a produção de próteses, implantes ou equipamentos de proteção adaptados especificamente para uma determinada pessoa;
- **Controle de processos** – O controle de processos pode se valer da digitalização 3D, para a automação de operações como soldagem, usinagem ou montagem.
- **Inspeção dimensional** – A digitalização 3D de precisão, associada a programas para metrologia dimensional, pode compor um sistema CAI, que permita a verificação por comparação entre uma nuvem de pontos digitalizados e o modelo CAD da peça. Os afastamentos verificados, para cada ponto digitalizado, podem ser apresentados textualmente ou graficamente. Apresentações gráficas podem ser feitas através da aplicação de cores relacionadas ao afastamento verificado, ou através da projeção de vetores normais às superfícies do modelo CAD, passando pelos pontos digitalizados, com módulo proporcional aos afastamentos.

- **Engenharia Reversa** – A digitalização pode facilitar a construção de modelos geométricos digitais de peças de geometria complexa quando não houver especificação técnica, mas um modelo físico da peça estiver disponível. Esses modelos são necessários, por exemplo, para produção de peças de reposição na manutenção de equipamentos. A digitalização 3D de modelos físicos, ou peças existentes, é comparada por alguns com a duplicação de documentos por fotocópia [71]. Os pontos obtidos podem ser utilizados para produzir um modelo geométrico manipulável em sistemas CAE/CAD/CAM. Os modelos geométricos podem ser representações por malhas poligonais, ou superfícies paramétricas. As malhas poligonais são aproximações da geometria original, que podem ser refinadas adaptativamente. Uma representação por superfícies paramétricas pode ser obtida através de ajustes matemáticos aos pontos da nuvem inteira, ou aos pontos selecionados como os pertencentes a determinadas seções transversais selecionadas da nuvem.

Em todas as aplicações em engenharia o propósito da digitalização 3D é a produção de um modelo geométrico, que atenda aos requisitos da aplicação a que se destina, seja digitalização manual ou automática.

3.1.1 Digitalização Manual

A digitalização manual pode ser feita em 2 níveis:

- Programas dedicados escritos para monitorar ou controlar o equipamento e fazer o cálculo das coordenadas tridimensionais a partir dos parâmetros do equipamento (ângulos nas articulações e comprimentos dos braços ou tempo entre a emissão do ultrassom e a captação nos sensores). Fazem acesso de **baixo nível** ao hardware. São geralmente fornecidos pelo fabricante do equipamento de digitalização, na forma de drivers para Windows, ou para aplicações específicas.
- Programas que fazem o acionamento dos programas descritos acima, quando são chamados pela aplicação. Chamados "plug-in".

No primeiro caso é usado um programa que funciona em "background", fazendo a leitura das coordenadas x,y,z cada vez que o gatilho (ou pedal) for pressionado, e procedendo a entrada destes valores como texto na posição atual do cursor. Estes programas devem oferecer a possibilidade de configuração da seqüência de caracteres que são inseridos, permitindo definir uma separação dos valores, com vírgula, tabulação, ou uma combinação qualquer. Pode-se também fazer a entrada de valores no clipboard do Windows, ou por DDE (Dynamic Data Entry), quando o programa aplicativo necessitar.

No segundo caso, um programa de modelamento faz a chamada ao equipamento através de programas do tipo "plug-in" que permitem um controle direto do digitalizador, pelo programa hospedeiro. Neste caso o digitalizador é controlado pela aplicação sempre que uma coordenada 3D for solicitada pelo operador.

Os programas de CAD/CAM oferecem diferentes modos de acesso às suas funções internas através de API's (Application Program Interface). Isso permite que se desenvolvam aplicações na linguagem oferecida pelos programas de CAD para a construção de modelos tridimensionais de tipos específicos, conforme a necessidade (superfícies poligonais, superfícies paramétricas, sólidos poliédricos, ou sólidos delimitados por superfícies paramétricas - NURBS).

A digitalização 3D, mais uma vez, funciona apenas como **modo de aquisição de coordenadas** quando as funções do programa necessitarem. Se as coordenadas já fossem conhecidas pelo operador do sistema, poderiam ser digitadas, numa interação normal como o programa, sem prejuízo à qualidade do modelo gerado pela aplicação.

Os programas do tipo "plug-in" podem transformar as seqüências de pontos em linhas, poli-linhas, ou splines, antes de entregá-las ao programa hospedeiro, que pode ser um CAD, por exemplo.

Fornecedores de digitalizadores 3D oferecem o serviço de desenvolvimento de "plug-in's" gratuitos para desenvolvedores de aplicações utilizarem seu equipamento [72]. Digitalizadores manuais podem servir para controlar ambientes virtuais através da monitoração da sua movimentação no espaço de digitalização.

3.1.2 Digitalização Automática

O sistema de digitalização 3D automático (laser, fotogrametria, radar, tomografia) pode fornecer um arquivo com os pontos diretamente para o

programa de aplicação, que fará a construção assistida ou automática do modelo de superfícies, ou sólido.

3.1.3 Modelamento Geométrico em Engenharia

A aplicação de um arquivo de pontos obtido por digitalização 3D depende das possibilidades de transformação das coordenadas desse arquivo em representações mais significativas da peça digitalizada, para tarefas de engenharia.

A realização individual das diversas atividades de engenharia como, por exemplo, modificações de geometria em CAD, simulações de cinemática de mecanismos e análises de resistência em CAE, planejamento de processos de fabricação com CAPP ou programação de usinagem em CAM, depende da produção de representações válidas sob cada um desses pontos de vista.

Qualquer aplicação individual da digitalização 3D depende da transformação das nuvens de pontos digitalizados em modelos geométrica e topologicamente consistentes, do ponto de vista específico dessa aplicação, possibilitando sua edição e manipulação.

A figura 3-1 apresenta um esquema das etapas desenvolvidas na aplicação da digitalização 3D na criação de um modelo de engenharia, puramente geométrico.

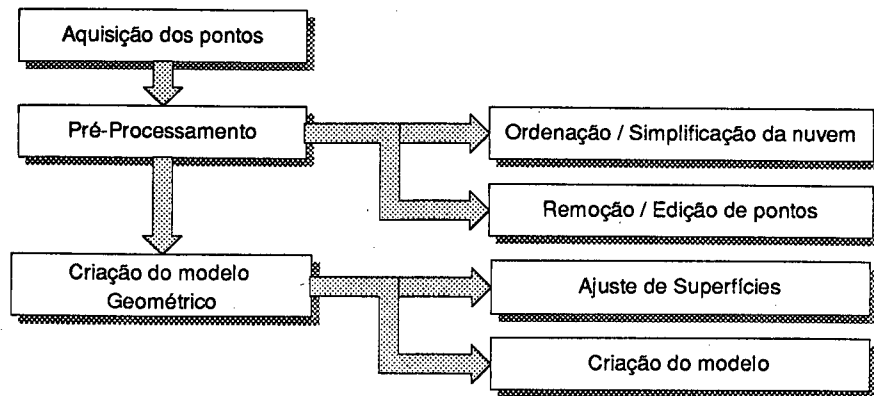


Figura 3-1 - Digitalização Aplicada em Engenharia

Diferentemente da aplicação em ambientes de Engenharia Simultânea, em aplicações não colaborativas não há preocupação com a compatibilidade da representação construída para uma aplicação, com as outras aplicações.

Aplicações como CAE, CAD ou CAM podem necessitar modelos sólidos ou apenas de superfícies. Os modelos sólidos podem ser construídos diretamente a partir da nuvem de pontos, ou a partir da transformação de um modelo de superfícies consistente. A figura 3-2 ilustra o exposto:

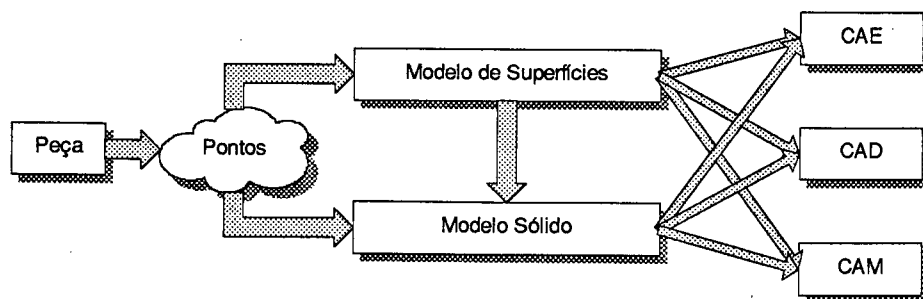


Figura 3-2 - Modelos geométricos para aplicações em Engenharia

Os arquivos geométricos podem ser produzidos pelo simples “fechamento” externo da nuvem, com faces poligonais, ou por sofisticados algoritmos de ajuste de superfícies paramétricas sobre os pontos da nuvem.

Várias limitações existem na produção de modelos sólidos. A principal é o fornecimento de nuvens com regiões onde há insuficiência de pontos para a construção de um modelo totalmente fechado. Isso decorre da geometria digitalizada e da tecnologia de digitalização empregada. Em alguns casos é possível compor o modelo a partir de nuvens complementares, resultantes de duas fixações da peça.

Atualmente existem desenvolvimentos de modeladores de sólidos com funções que permitam o início do modelamento a partir de dados digitalizados.

Arquivos de Superfícies Poliédricas

Quando uma representação poliédrica for suficiente, como em casos de aplicação em protótipagem rápida por estereo-litografia ou tecnologias afins, é necessário utilizar os algoritmos disponíveis para a produção da casca poligonal. Estes algoritmos fazem a ligação dos pontos adjacentes por arestas, e depois fazem as faces poligonais pela associação das arestas.

Alguns algoritmos como o proposto por Véron [73] fazem a redução da quantidade de faces em função dos ângulos entre as normais a cada polígono. Ângulos pequenos significam pouca curvatura e, dependendo das tolerâncias estabelecidas, isso possibilita o agrupamento de várias faces em uma. Onde as curvaturas forem maiores, será necessário manter uma quantidade maior de faces para respeitar as tolerâncias.

Arquivos de Superfícies Paramétricas

Quando uma representação poliédrica não for suficiente, como em tarefas de reprodução de acabamento fino em moldes com CAM, é necessário proceder ajustes de superfícies B-spline sobre os pontos. Os algoritmos de ajuste mais simples necessitam estruturação regular da nuvem em seções transversais, com quantidades iguais de pontos em cada seção [74]. Se a nuvem obtida no processo de digitalização não for regular, poderá ser feito um tratamento dos dados para seleccionar seções, e equalizar o número de pontos antes do ajuste.

Na figura 3-3 tem-se à esquerda, 25000 pontos digitalizados. À direita tem-se somente as linhas de seção transversal seleccionadas entre os pontos digitalizados, para a construção das superfícies.

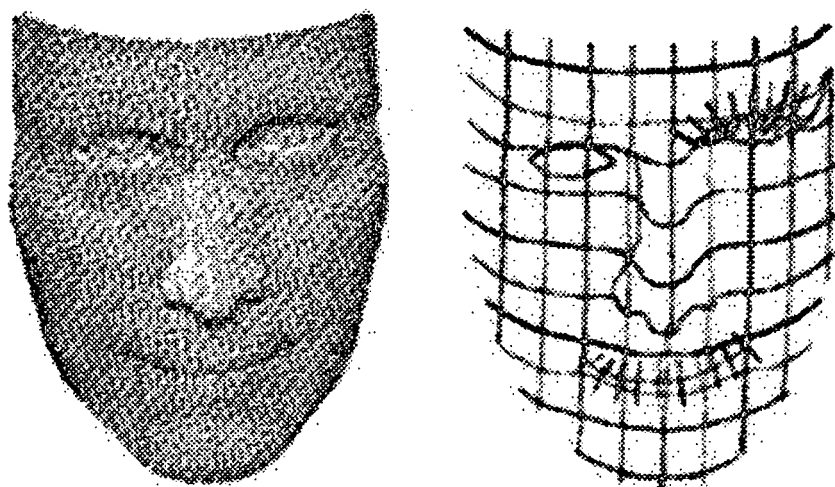


Figura 3-3 - Nuvem e linhas seccionais

Na figura 3-4 à esquerda tem-se os perfis digitalizados com baixa densidade totalizando 2730 pontos, e à direita a mesma peça digitalizada com alta densidade totalizando 57000 pontos.

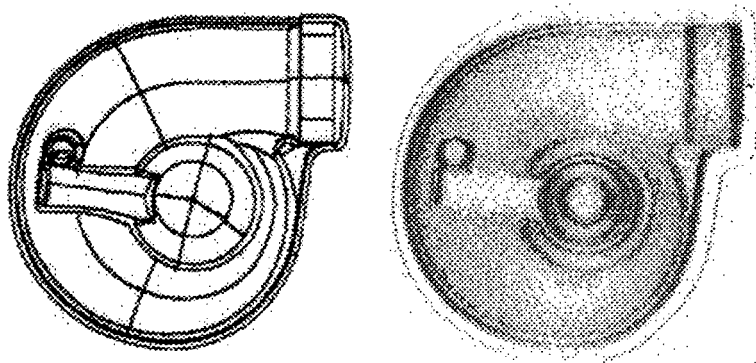


Figura 3-4 - Densidade de digitalização

Conforme o tipo de peça digitalizada pode ser recomendável que os pontos digitalizados venham alinhados com as seções transversais que definem a peça, para a construção das curvas que serão usadas para definir as superfícies.

Uma digitalização de alta densidade obtém uma quantidade muito grande de pontos que, por um lado podem permitir uma descrição completa da peça, mas por outro lado podem não ser todos necessários, e por isso representar uma dificuldade de processamento.

Os dados podem vir **estruturados** do próprio equipamento de digitalização, na forma de fatias da peça, ou podem vir **dispersos**, como os apresentados na figura 3-5:

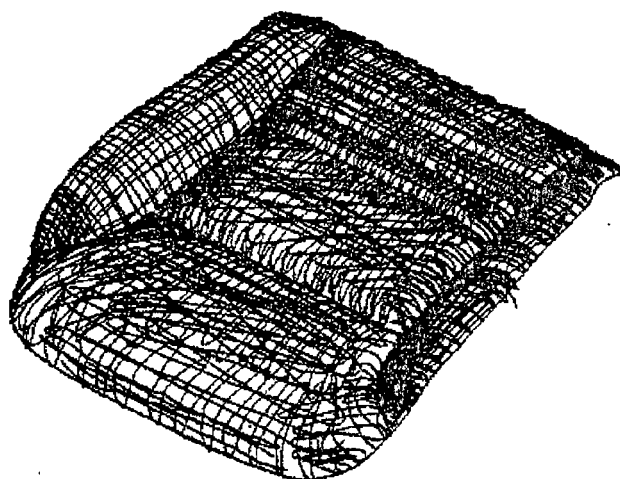


Figura 3-5 - Dados dispersos obtidos com digitalização manual

Entre os pontos dispersos da figura 3-5 foram selecionados alguns para a construção manual de curvas paramétricas que, por sua vez serão usadas para criar as superfícies paramétricas, como mostram as figuras 3-6 e 3-7:

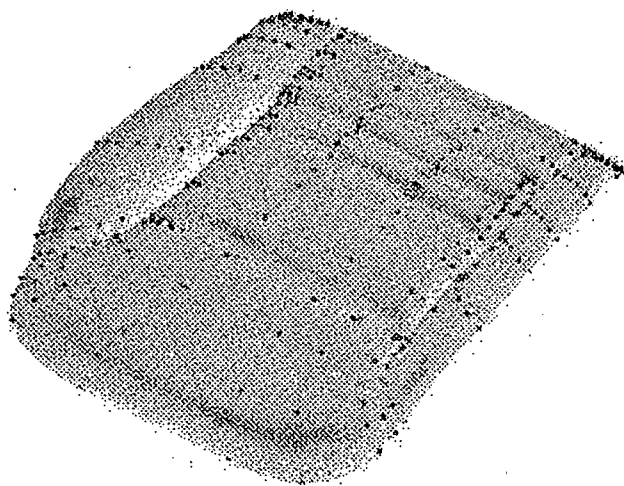


Figura 3-6 - Pontos selecionados para compor as curvas de construção

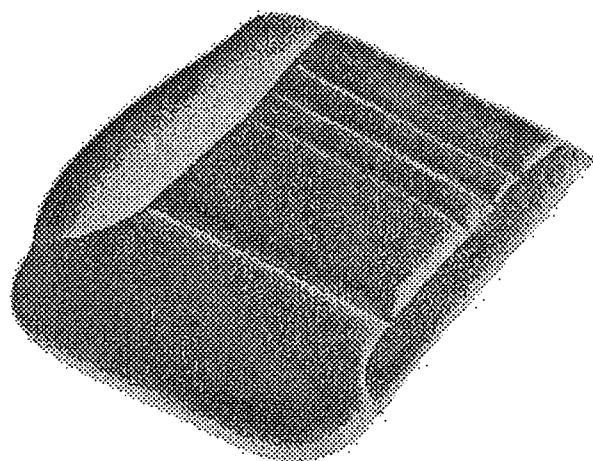


Figura 3-7 - Superfícies criadas a partir das curvas de construção

Para a utilização de pontos não estruturados é necessário que o programa de pós-processamento da nuvem de pontos disponha de ferramentas para a seleção de pontos pertencentes a seções perpendiculares a um eixo escolhido, ou perpendiculares a um contorno especificado, ou ainda a uma seção transversal qualquer escolhida interativamente pelo usuário. Também é

importante oferecer a possibilidade de inferir a posição de eventuais pontos ausentes, e editar a posição de pontos.

Também deve-se ter a possibilidade de comparar as superfícies construídas com os pontos digitalizados, para verificar a exatidão do modelo.

Programas comerciais como o Surfacer [75], oferecem várias alternativas de pós-processamento da nuvem de pontos para a obtenção de superfícies paramétricas.

Existem também estudos para o ajuste automático de superfícies paramétricas sobre nuvens de pontos de topologia não-estruturada. Eck e Hoppe [76] desenvolveram um algoritmo que produz modelos formados pela associação de várias superfícies. A quantidade de "patches" produzidos depende da tolerância de erro estipulada.

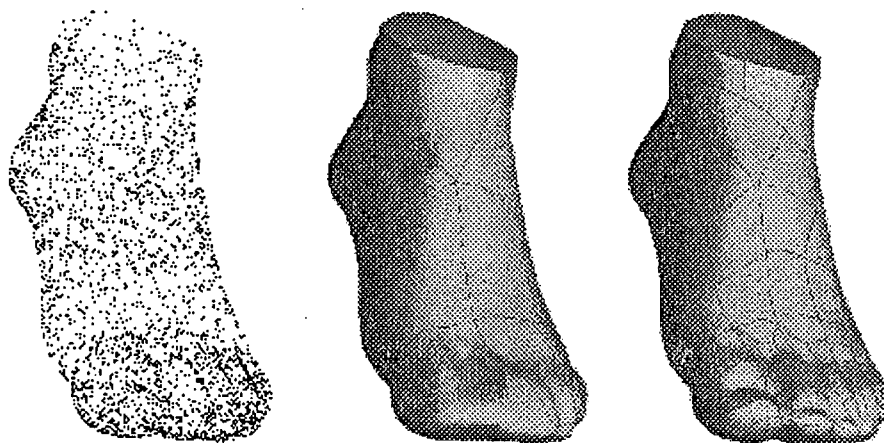


Figura 3-8 - Nuvem de 20021 pontos e modelos b-spline

Para a nuvem de 20021 pontos da Figura 3.8, foram produzidos dois modelos b-spline, sendo um com 29 superfícies e 1,20 % de erro, e outro com 156 superfícies para limitar o erro máximo em 0,27 %.

Para a nuvem da Figura 3.9 foram necessários 15 segmentos para obter 3,00 % de erro máximo. Para um erro de 0,69 % foram necessários 94 segmentos.

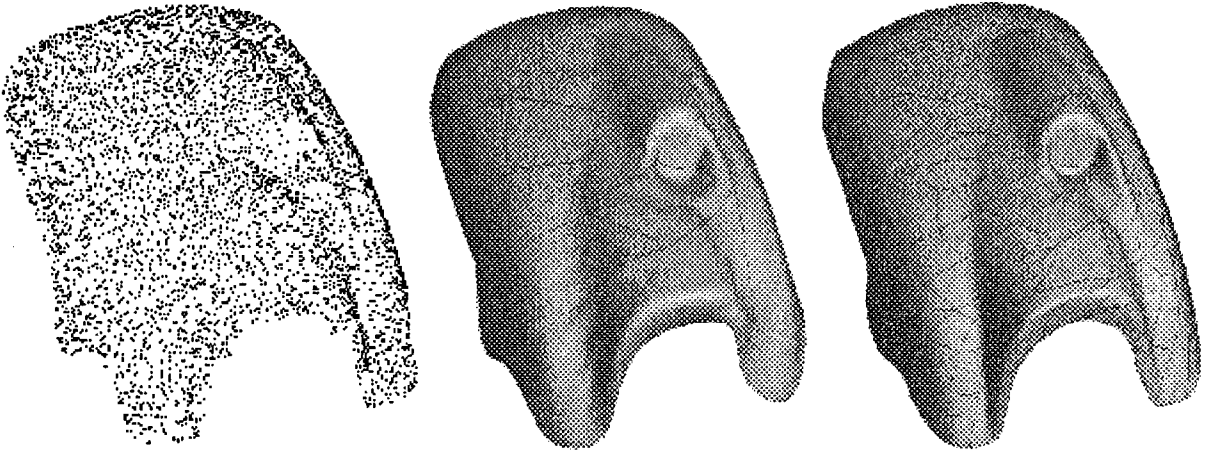


Figura 3-9 – Nuvem de 37974 pontos e modelos b-spline

O algoritmo é dividido em várias etapas:

- Construção de faces triangulares sobre a nuvem de pontos;
- Agrupamento de faces;
- Ajuste de curvas B-spline;
- Ajuste de superfícies B-spline;
- Refinamento adaptativo.

A figura 3-10 apresenta um exemplo de nuvem digitalizada, e os resultados de cada etapa do seu processamento. Em cima à esquerda tem-se a nuvem, no centro as faces triangulares e à direita os agrupamentos de faces. Em baixo à esquerda é apresentado o resultado do ajuste de curvas B-spline aos contornos dos agrupamentos de triângulos. Ao centro tem-se o resultado do ajuste de superfícies B-spline, e a direita o resultado do refinamento adaptativo:

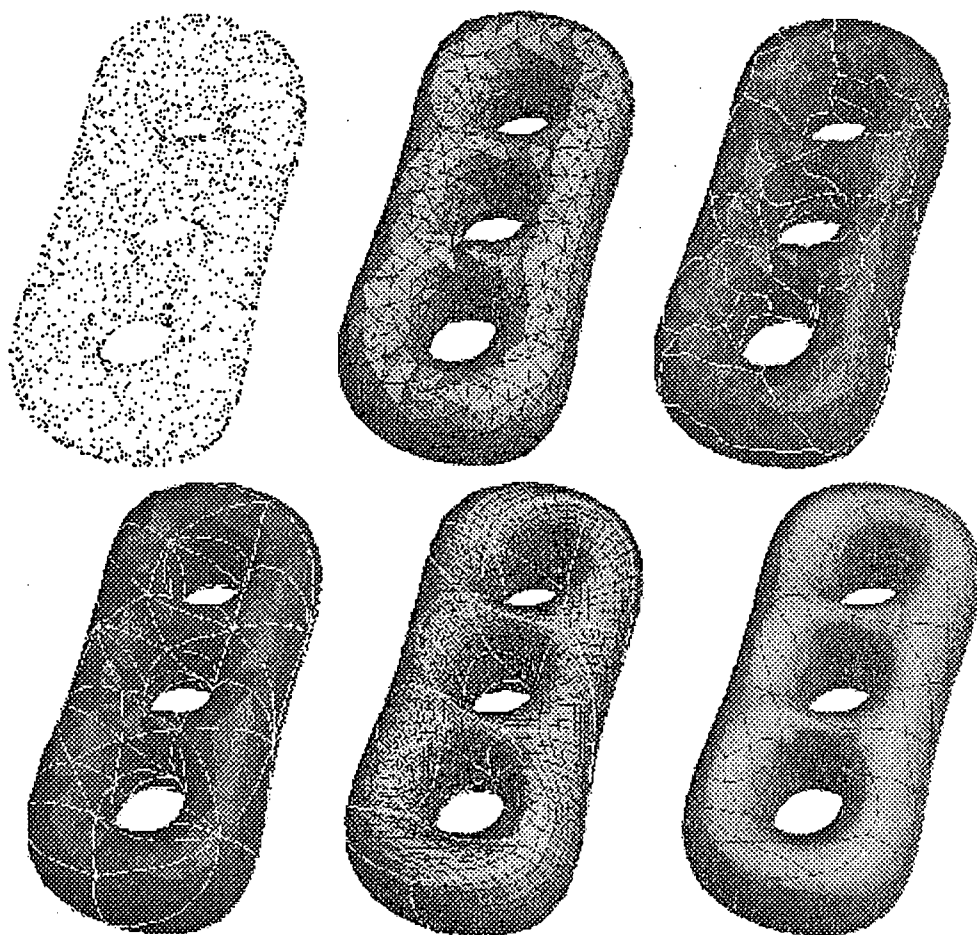


Figura 3-10 - Etapas do ajuste de B-spline

3.2 APLICAÇÕES EM ENGENHARIA SIMULTÂNEA

Para a aplicação da digitalização 3D em ambientes computacionais de Engenharia Simultânea seria desejável que houvesse uma única representação de produto, que satisfizesse às necessidades de todos os programas presentes no ambiente computacional. Isso tornaria dispensáveis as transformações de arquivos, e os riscos de falha inerentes a esse trabalho.

Se o sistema fizer uso da tecnologia de "features", a digitalização deve fornecer os dados para a identificação das "features" presentes na peça, e a

inferência dos parâmetros geométricos e dimensionais necessários para a descrição das mesmas.

3.2.1 Modelamento Geométrico em Engenharia Simultânea

Normalmente o modelamento geométrico inicial a partir da digitalização 3D é feito da mesma forma em ambientes de Engenharia Simultânea e em ambientes de Engenharia Seqüencial (não colaborativos).

Depois do modelamento geométrico de Engenharia é necessário produzir um modelo apropriado para Engenharia Simultânea, que possa ser compartilhado no ambiente colaborativo. A figura 3-11 ilustra as etapas da aplicação da digitalização 3D à criação de modelos de Engenharia Simultânea.

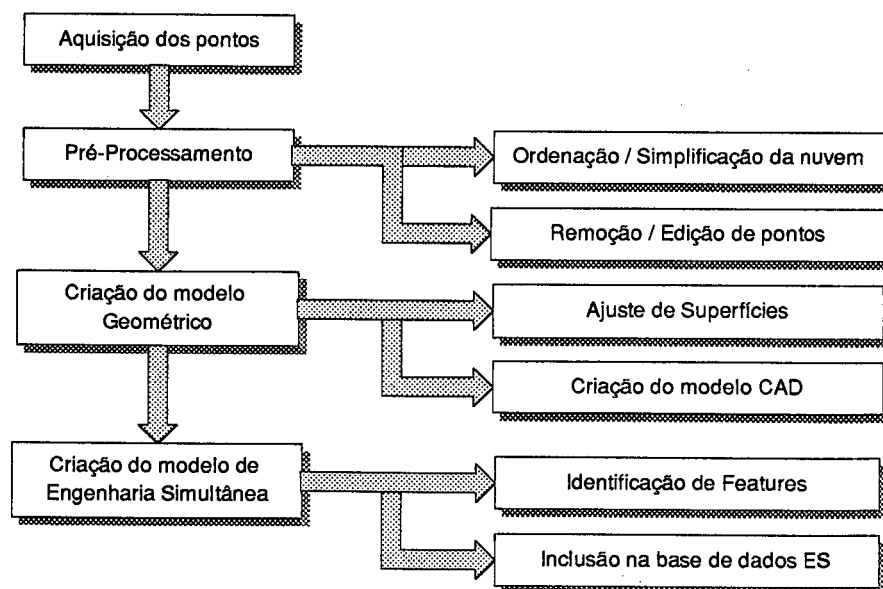


Figura 3-11 - Atividades da criação de modelos

Como foi visto anteriormente [capítulo 2.3.4], em ambientes de Engenharia Simultânea baseados em projeto por “features” as várias representações geométricas, necessárias nas diferentes atividades de engenharia, devem ser

derivadas do modelo de "features". A partir das informações armazenadas no banco de dados pode ser construído um modelo geométrico de uma peça para uso com CAE/CAD/CAM, com o nível de detalhe apropriado a cada aplicação (OD, 1D, 2D ou 3D). A figura 3-12 ilustra a utilização do modelo de Engenharia Simultânea como base para a criação dos modelos geométricos:

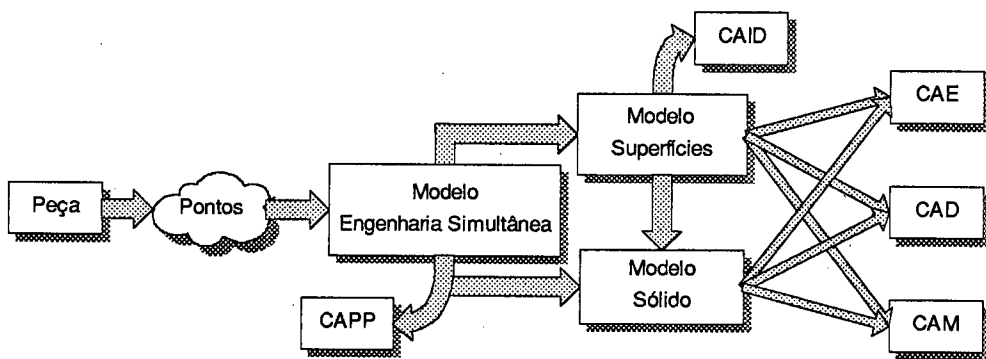


Figura 3-12 - Modelo de Eng. Simultânea

A digitalização 3D em ambientes de Engenharia Simultânea exige que se faça o caminho inverso: a partir de uma representação geométrica 3D, geralmente do tipo B-rep, é necessário fazer a decomposição e o reconhecimento das suas "features" constituintes, antes de inserir seus parâmetros no banco de dados que conterà o Modelo de Engenharia Simultânea.

Isso é uma tarefa muito difícil, devido às várias possibilidades de interpretação das peças, e às dificuldades em inquirir modelos geométricos de topologia arbitrária, para encontrar os parâmetros dimensionais das "features".

3.2.2 Decomposição Assistida de Features Durante a Digitalização

Com auxílio de um sistema de digitalização 3D manual ou programável voltado à digitalização de "features" em determinadas famílias de peças, pode-se

evitar a necessidade de reconhecimento posterior nos arquivos gerados. O operador observa a peça, identifica o tipo de "feature" que vai digitalizar e seleciona a opção correspondente no programa que, por sua vez, solicita os pontos necessários para encontrar seus parâmetros dimensionais.

É possível com os sistemas manuais, e com os automáticos programáveis. Consiste basicamente na utilização do equipamento de digitalização 3D como um dispositivo de entrada de coordenadas tridimensionais, em conjunto com um programa que recebe comandos do operador, e assiste a tomada das coordenadas da superfície da peça, tirando vantagem da capacidade de interpretação do operador sobre o que ele estiver digitalizando, para reconhecimento de "features" na peça.

3.2.3 Decomposição Assistida de Features Após a Digitalização

Para permitir a decomposição em "features" após a digitalização, é necessário que a nuvem de pontos seja primeiramente tratada de modo a originar um arquivo compatível com o algoritmo de reconhecimento e decomposição que será utilizado.

Se o sistema for capaz de procurar "features" de fresamento na peça, por exemplo, é necessário que se construa um modelo poliédrico com as superfícies planas que descrevem esse tipo de "feature".

Owen et. al. [77] desenvolveu um sistema para a decomposição interativa de features de fresamento. A capacidade de reconhecimento fica por conta do usuário, enquanto o sistema faz os ajustes de superfícies e os cálculos dos

parâmetros dimensionais das "features" suportadas. A figura 3.13 ilustra o comentado.

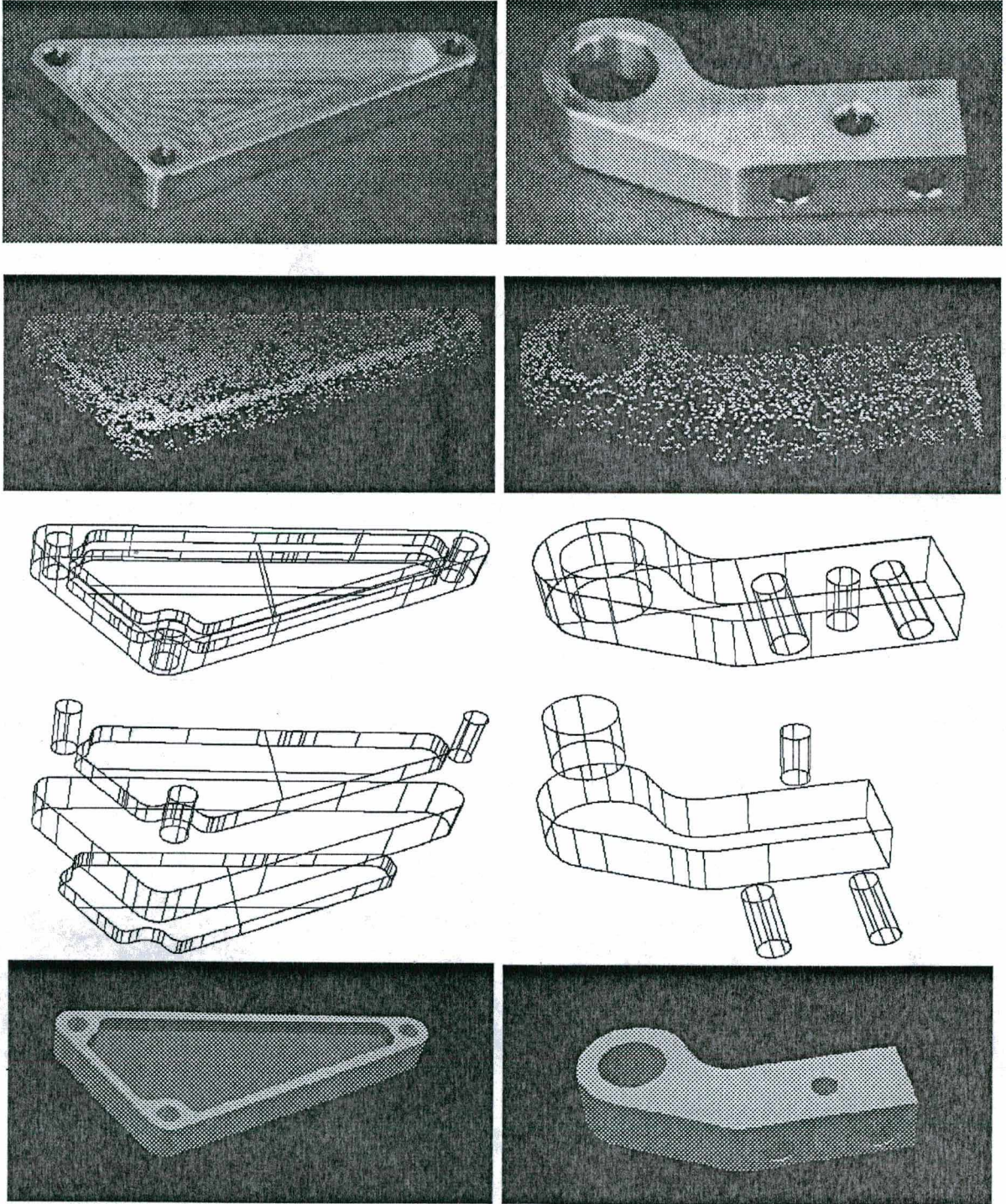


Figura 3-13 - Reconhecimento Assistido após a Digitalização

3.2.4 Decomposição Automática de Features Após a Digitalização

O reconhecimento e a decomposição automática de “features” permanecem limitados a um conjunto reduzido de formas. Sistemas automáticos de reconhecimento de features em modelos de CAD já representam um grande desafio, mesmo com a organização topológica inerente aos sistemas atuais de CAD. O reconhecimento se baseia nas faces e contornos do modelo CAD.

Kulkarni e Pandle [78] apresentam uma proposta de extração automática de **“features” 3D de fresamento**, dividida em 5 etapas:

- Geração de seqüências de contornos;
- Detecção da “assinatura” de “features”;
- Verificação geométrica e classificação;
- Geração de entidades abstratas;
- Construção do volume e avaliação dos parâmetros.

Desde a primeira etapa existem dificuldades com seções transversais complexas, e “features” compostas que incluem alinhamentos e intersecções de “features”. O algoritmo proposto funciona bem com representações B-rep de modeladores de sólidos.

Regli et. all. [79] também propõe um sistema para reconhecimento de **features de fresamento 3D**, capaz de funcionar com sistemas de processamento paralelo, para acelerar o processo.

Nezis e Vosniakos [80] apresentam um método de reconhecimento de **“features” de fresamento 2 ½ D** usando heurística e redes neurais.

Milroy, et. al.[81] apresentou um sistema interativo para segmentação de um modelo de contorno de uma peça digitalizada, em superfícies que permitam inferir algoritmicamente a presença de algumas formas de "features". Mesmo com o apoio do operador, ficou quase impossível encontrar contornos das formas primitivas devido a presença de geometrias secundárias como arredondamentos de raio constante e variável, bem como de superfícies resultantes das intersecções e uniões dessas geometrias.

A publicação de trabalhos sobre reconhecimento de formas de "features" está restrita, ainda, a decomposição automática ou assistida de "features" simples, de fresamento ou torneamento.

4. EXPERIÊNCIAS DE APLICAÇÃO

4.1 DIGITALIZAÇÃO 3D MANUAL POR ULTRA-SOM

O Laboratório de CAE/CAD do GRANTE - Grupo de Análise de Tensões, adquiriu um equipamento de digitalização 3D manual por ultra-som, da Science Accessories Corporation (absorvida em 1996 pela GTCO), modelo GP12 3D XL.

Este equipamento viabilizou a experimentação do uso da digitalização 3D manual, a fim de verificar possibilidades e limitações. As características técnicas declaradas pelo fabricante foram apenas as seguintes [82]:

- Volume de digitalização de 1,0 x 1,0 x 1,0 m ou 2,4 x 2,4 x 2,4 m;
- Resolução de 0,1 mm;
- Taxa de comunicação serial até 38,4 baud;

A incerteza da medição não foi declarada pelo fabricante, devendo ser verificada em função do intervalo entre emissões de ultra-som, conforme descrição no item 4.1.2

4.1.1 Configuração do Equipamento

O equipamento funciona ligado a um microcomputador pela porta serial RS 232C e é constituído por:

- Sonda com dois emissores de ultra-som;
- Receptor triangular com três microfones sensores;

- Unidade digital de processamento de sinais;
- Barra-piloto;
- Software de cálculo de coordenadas;

A digitalização 3D por ultra-som baseia-se na velocidade de propagação do ultra-som no ar. Como esta velocidade varia conforme as condições de temperatura, umidade e pressão atmosférica do local onde se realiza a digitalização, o equipamento é dotado de uma barra-piloto. Em uma extremidade da barra fica montado um emissor de ultra-som igual aos dois da sonda, enquanto na outra extremidade é montado um microfone igual aos três do triângulo sensor. A velocidade do ultra-som no ambiente é calculada dividindo-se a distância fixa conhecida entre emissor e microfone, pelo tempo cronometrado entre a emissão e a recepção.

As coordenadas são calculadas conforme a descrição do item 2.1.2 “Tecnologias de Digitalização 3D”.

O volume de digitalização do GP12 XL pode ser configurado para 1,0m x 1,0m x 1,0m ou para 2,4m x 2,4m x 2,4m. A incerteza das coordenadas é diretamente proporcional ao volume de trabalho.

4.1.2 Procedimento de Digitalização com GP 12 3D XL

Quando o gatilho da sonda é pressionado o equipamento registra os tempos entre a emissão do pulso de ultra-som e sua captação nos três microfones.

O modo de digitalização pode ser **ponto por ponto**, pressionando-se o gatilho para cada um, ou **contínuo**, quando seqüências de pontos podem ser

digitalizados enquanto o gatilho permanecer pressionado. A frequência máxima de aquisição de pontos no modo contínuo depende das condições de digitalização, e é consequência direta do intervalo entre leituras ajustado no software de controle do equipamento.

Determinação do Intervalo entre emissões de Ultra-som

O intervalo entre emissões é escolhido a partir de testes feitos no ambiente de digitalização, verificando as coordenadas obtidas na digitalização de um padrão geométrico. O intervalo de tempo entre emissões de ultra-som pode ser ajustado para valores entre 10 ms e 50 ms. O valor escolhido deve ser o tempo suficiente para que cessem os ecos da emissão anterior. Esse intervalo é usado entre as 5 emissões de ultra-som de cada um dos dois emissores da sonda, e para as 5 emissões da barra-piloto, num total de 15 vezes para cada ponto digitalizado.

O trabalho feito em 1996 pelo bolsista de iniciação científica do laboratório, Rafael Piassa da Silva Neto, determinou que, no ambiente do GRANTE, com temperatura entre 20 e 24 graus Celsius, o intervalo apropriado para o volume de 1,0 x 1,0 x 1,0 m é de 20 ms – 30 ms, quando os erros de leitura se reduziram ao mínimo de 0,6 mm. Intervalos menores ou maiores resultaram em erros de 1,0 – 3,0 mm. Para o volume de 2,4 x 2,4 x 2,4 m o erro mínimo ficou entre 0,6 mm e 0,8 mm aproximadamente, com intervalo de 10 ms – 15 ms, crescendo até 3,5 mm – 4,5 mm de erro nas coordenadas, com intervalos de 50 ms, conforme figuras 4-1 e 4-2.

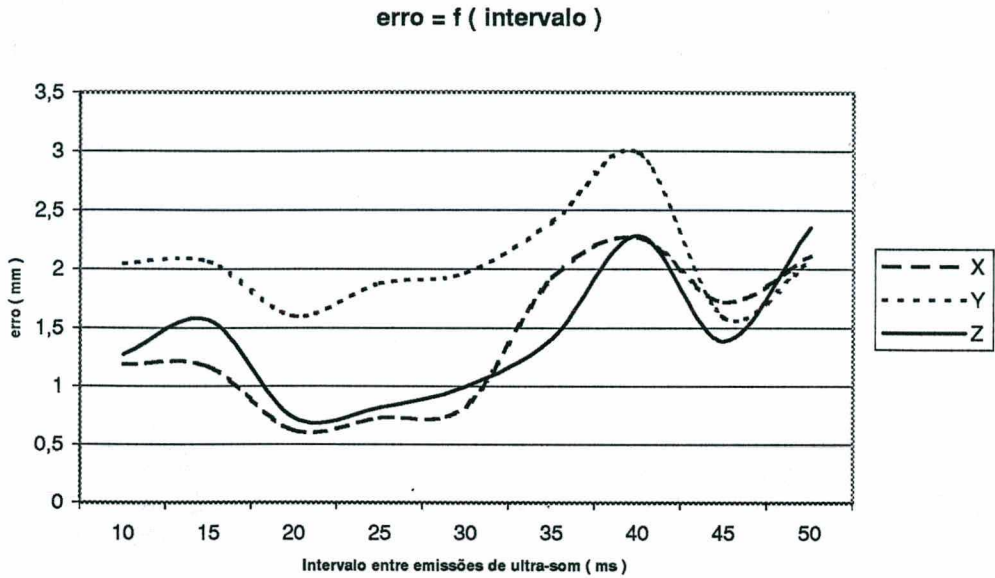


Figura 4-1 - Erro na leitura de coordenadas GP12 – Vol. 1,0 x 1,0 x 1,0 m

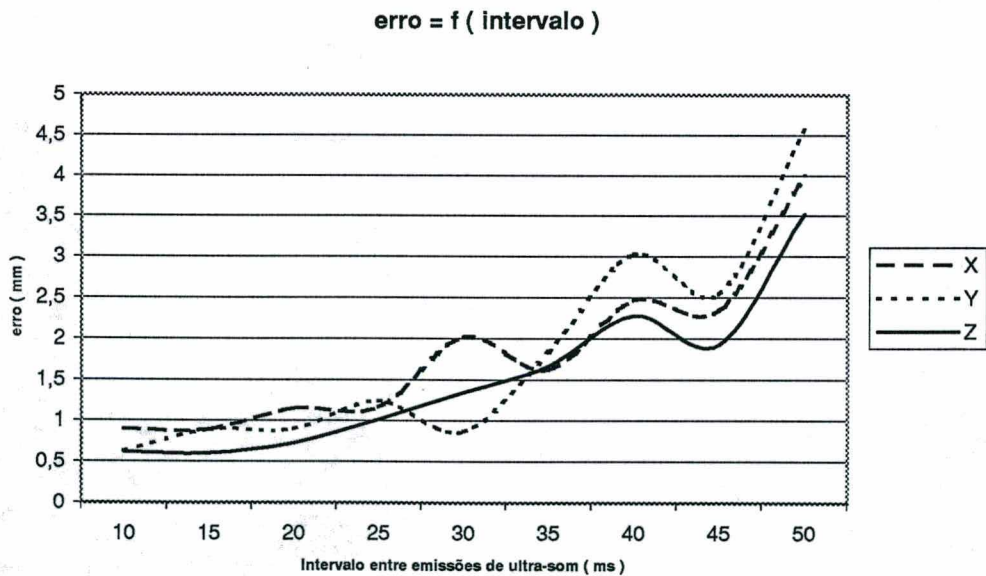


Figura 4-2 - Erro na leitura de coordenadas GP12 – Vol. 2,4 x 2,4 x 2,4 m

O equipamento de digitalização funciona conforme descrito na revisão bibliográfica no item 2.1.2, e foi configurado para operar com aplicações “Windows” de forma a fornecer as coordenadas tridimensionais como uma

entrada de teclado, sem exigir modificação direta em nenhum dos programas para o armazenamento das coordenadas. O controle do equipamento e o cálculo das coordenadas é efetuado por meio do programa "Windows" Freepoint 3D, obtido junto a GTCO, através do seu endereço Internet [83].

Como teste foram digitalizadas várias peças, com diferentes tipos de geometria, para verificação das possibilidades de construção de um modelo significativo para Engenharia Simultânea, utilizando programas comerciais disponíveis.

4.1.3 Digitalização de Geometrias Primitivas

Foram digitalizados os elementos cone, cilindro e cubo, e intersecções volumétricas entre eles.

O método adotado foi:

- configurar o programa de digitalização e ligar o equipamento;
- fixar os objetos à mesa;
- tomar os pontos de referência para definir o sistema de coordenadas;
- tomar os pontos de referência da peça para alinhamento com o sistema de coordenadas;
- tomar os pontos necessários para a construção interativa dos objetos em um sistema CAD de modelamento de sólidos (CAD3X Native Acis Modeler) [84].

4.1.4 Digitalização de Geometrias Complexas

Um trabalho de doutorado em vibrações necessitou uma digitalização 3D que fornecesse as coordenadas de pontos escolhidos para a construção de um modelo para análise modal, de uma carcaça de caixa de redução. Não estavam disponíveis os desenhos da peça, que foi emprestada pelo fabricante, sem especificações dimensionais.

O trabalho de digitalização inicia com a configuração do programa de cálculo no microcomputador, para o volume de trabalho, o sistema de coordenadas e os pontos de referência "fiducials" da peça. Os pontos de referência da peça são escolhidos para permitir o realinhamento do sistema de coordenadas à peça, no caso de necessidade de mudança da posição da mesma.

O volume de trabalho escolhido foi de 1,0 m e o sistema de coordenadas foi definido digitalizando um ponto que será usado como origem, e outro ponto no sentido positivo do eixo X. Um terceiro ponto qualquer foi digitalizado sobre a superfície da mesa, para estabelecer a posição do plano XZ. O eixo Y é sempre perpendicular a este plano, e mede a altura nesta montagem do equipamento.

A figura 4-3 apresenta a posição de montagem dos sensores, e o manuseio da sonda emissora de sinais de ultra-som.

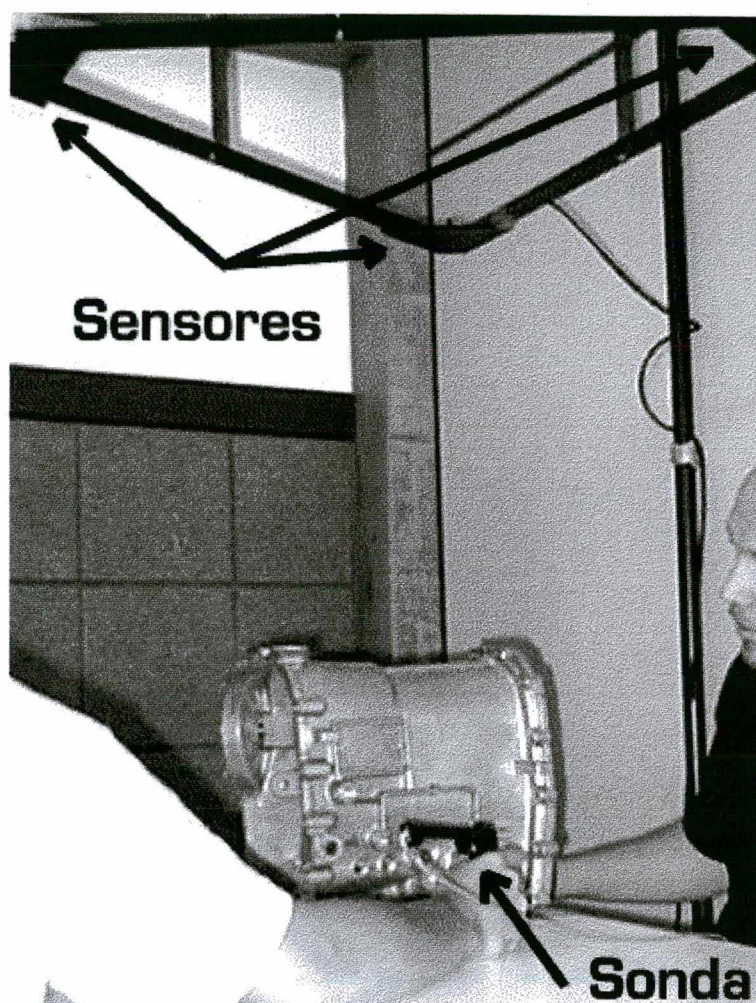


Figura 4-3 - Digitalização da Carcaça da Caixa de Redução

O programa foi configurado para fornecer as coordenadas em tríades separadas por caracteres de tabulação, como entrada no "buffer" do teclado. O arquivo com a lista de pontos foi criado com o editor de textos básico do sistema operacional, o NOTEPAD. Cada vez que a sonda foi posicionada em um ponto da superfície, o ultra-som foi disparado através do gatilho. Em algumas posições foi usado o gatilho no programa, para permitir um posicionamento mais firme da sonda, já que pequenos movimentos durante a emissão das seqüências de pulsos de ultra-som podem causar a rejeição do ponto digitalizado pelo equipamento. A rejeição acontece quando o afastamento da média dos valores

das coordenadas para os cinco pares de pontos tomados (dois emissores na sonda, acionados cinco vezes), for maior que o limite tolerado.

4.2 CONSTRUÇÃO AUTOMÁTICA DE MODELOS POLIÉDRICOS

Um modelo geométrico poliédrico da carcaça da caixa de redução foi construído de forma automática, utilizando o programa Geomagic Wrap, baseado em regras de geometria e topologia [85]. O algoritmo aplicado toma a nuvem de pontos obtida através de algum processo de digitalização 3D, e procura ligar os pontos entre si por uma malha, cujas linhas são posteriormente usadas como arestas de faces poligonais.

Visando possibilitar a comparação de eficiência do algoritmo para a nuvem de pouca densidade digitalizada manualmente, com nuvens de alta densidade possíveis com digitalizadores laser por varredura de linha, foi gerado o modelo de faces poligonais de um coletor de admissão de automóvel. O coletor foi digitalizado com um digitalizador Digibot II conforme revisão bibliográfica (item 2.1.6). A nuvem de alta densidade de pontos foi fornecida pelos fabricantes do digitalizador, para permitir a comparação.

4.3 CONSTRUÇÃO INTERATIVA DE MODELOS SÓLIDOS

O digitalizador GP12 3D XL foi usado como entrada de coordenadas para os programas Windows de modelamento de sólidos (CAD 3X), e de superfícies (Microstation). O digitalizador fornece as coordenadas tridimensionais quando acionado, no formato de texto digitado pelo teclado, com separação por tab, vírgula, enter ou qualquer outro caractere previamente definido, que seja

necessário ao introduzir entradas de coordenadas solicitadas para a construção de primitivas geométricas.

Como as “features” usadas para produzir componentes mecânicos geralmente são elementos geometricamente simples, que podem ser definidos por parâmetros pré-estabelecidos, um trabalho de digitalização 3D de componentes mecânicos poderia ser feito interativamente, ficando o operador encarregado de identificar as primitivas ou “features” presentes na peça, e solicitar ao programa que construa a geometria correspondente, com as coordenadas tridimensionais sendo fornecidas pelo digitalizador manual.

O operador deve fazer a aquisição das coordenadas que forem necessárias para a parametrização dimensional das “features” identificadas por ele, conforme as exigências da ferramenta de modelamento CAD.

5. RESULTADOS

5.1 DIGITALIZAÇÃO 3D MANUAL POR ULTRA-SOM

A digitalização manual por ultra-som mostrou-se um trabalho bastante demorado. O tempo necessário para a configuração do sistema de coordenadas e para a digitalização dos 1040 pontos deste exemplo foi de 8 horas.

A frequência máxima de aquisição de coordenadas, no modo de digitalização contínua, foi de aproximadamente 2 pontos por segundo. Isso ocorreu devido ao intervalo de 30 ms, verificado como necessário até cessarem os ecos do ambiente, após cada emissão de ultra-som. Como o equipamento faz 5 leituras para cada um dos dois emissores da sonda, mais 5 leituras na barra-piloto, a fim de calcular a média dos tempos medidos, o intervalo total ficou em 450 ms entre a aquisição de um conjunto de coordenadas e outro.

A figura 5-1 mostra a carcaça que foi digitalizada, dando origem a um arquivo de 1040 pontos escolhidos para uma análise de vibrações. A figura 5-2 mostra a nuvem de pontos. A incerteza dos valores das coordenadas ficou na ordem de 0,8 mm, confirmando os resultados da verificação descrita no item 4.1.2 .

O arquivo de pontos resultante da digitalização da carcaça encontra-se no apêndice A3.

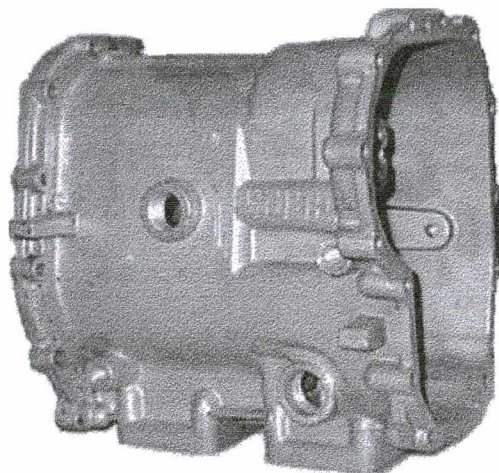


Figura 5-1 - Carcaça de caixa de redução

O propósito da digitalização destes 1040 pontos foi encontrar as coordenadas dos nós escolhidos para uma análise de vibrações. Os pontos foram marcados com tinta sobre a superfície da peça, e foram numerados para definir a seqüência de digitalização, afim de obter um arquivo ordenado para a criação dos elementos da malha de análise.



Figura 5-2 - Nuvem de 1040 pontos da Carcaça

Se fosse possível, o tempo mínimo para a obtenção de 1040 pontos em modo de digitalização contínua, seria de aproximadamente 520 segundos. O trabalho demorou 8 horas, porque não é possível posicionar manualmente a sonda sobre cada ponto marcado na superfície da peça, em modo contínuo (intervalo de 0,45 segundos entre cada ponto). Além disso, quando não existe possibilidade de traçar uma linha reta entre os dois emissores da sonda e os três microfones no sensor, ocorre um erro de leitura. Vários pontos ficavam próximos à base da peça, e por isso não puderam ser digitalizados com a primeira fixação. Foi necessário virar a peça para fazer a leitura das coordenadas destes pontos. Isso exigiu que fosse reconfigurado o sistema de coordenadas, baseado nos mesmos pontos escolhidos como "fiducials" anteriormente escolhidos na peça, antes de prosseguir com a digitalização, após a virada.

Outro problema encontrado foi a dificuldade em manter a sonda imóvel, durante as 10 emissões de ultra-som (5 para cada emissor da sonda), necessárias para calcular as médias dos tempos de percurso do ultra-som para cada ponto. Se a posição da sonda mudar além de um limite pré-estabelecido pelo fabricante, durante as emissões, o equipamento não registra as coordenadas, sendo necessário repetir a leitura.

Trabalhar em modo contínuo de digitalização por ultra-som significaria manter a sonda imóvel durante 300 ms para então movimentá-la rapidamente até o próximo ponto a ser digitalizado, para ficar novamente imóvel por 300 ms,

repetidamente, enquanto o gatilho da sonda permanecesse pressionado. Proceder assim milhares de vezes, sem colocar a sonda em posições em que a trajetória do ultra-som seja obstruída pela peça ou o pelo operador, impossibilitando a captação em linha reta entre os emissores da sonda e os receptores, foi totalmente impossível.

A obtenção de nuvens de alta densidade de pontos com a tecnologia de digitalização 3D por ultra-som demandaria tantas horas de trabalho paciente, em função das dificuldades apresentadas, que seria economicamente impraticável.

5.2 CONSTRUÇÃO AUTOMÁTICA DE MODELOS POLIÉDRICOS

5.2.1 Nuvem de Baixa Densidade

A aplicação do algoritmo de construção automática de faces sobre a nuvem de pontos resultou no modelo poliédrico mostrado nas figuras 5.3 e 5.4:

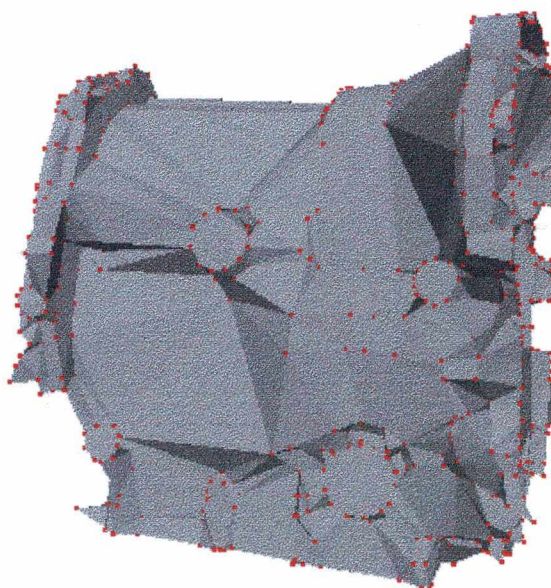


Figura 5-3 - Modelo poliédrico gerado para a nuvem da Carcaça

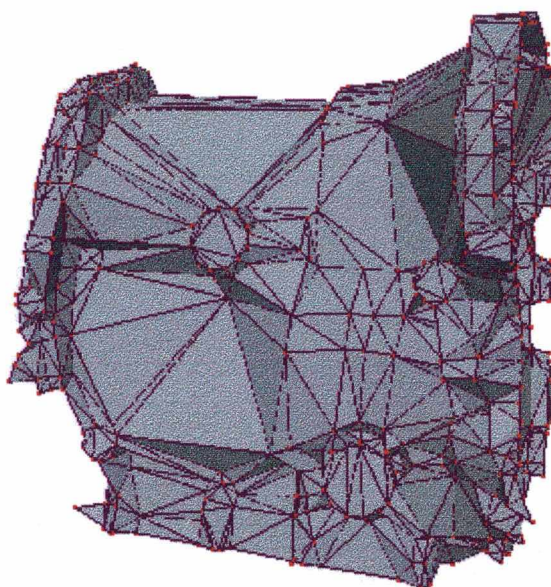


Figura 5-4 - Arestas das Faces geradas para a nuvem de Carcaça

A complexidade da geometria da peça, neste exemplo, exigiria muitos milhares de pontos (nuvem de alta densidade) para que fosse possível a construção de uma representação fiel completa para aplicações como Prototipagem Rápida, ou manufatura com máquinas CNC.

5.2.2 Nuvem de Alta Densidade

Para testar a construção automática de modelos poliédricos a partir de nuvens de alta densidade, foram usados os pontos obtidos por digitalização laser de varredura por ponto, de um coletor de admissão de motor. Como a nuvem foi obtida com a tecnologia descrita no item 2.1.6, para o digitalizador Digibot II, os pontos estão estruturados em seções transversais paralelas à base da peça.

A figura 5-5 mostra a nuvem densa e estruturada, com 90 000 pontos, utilizada para a geração do modelo poliédrico da figura 5-6

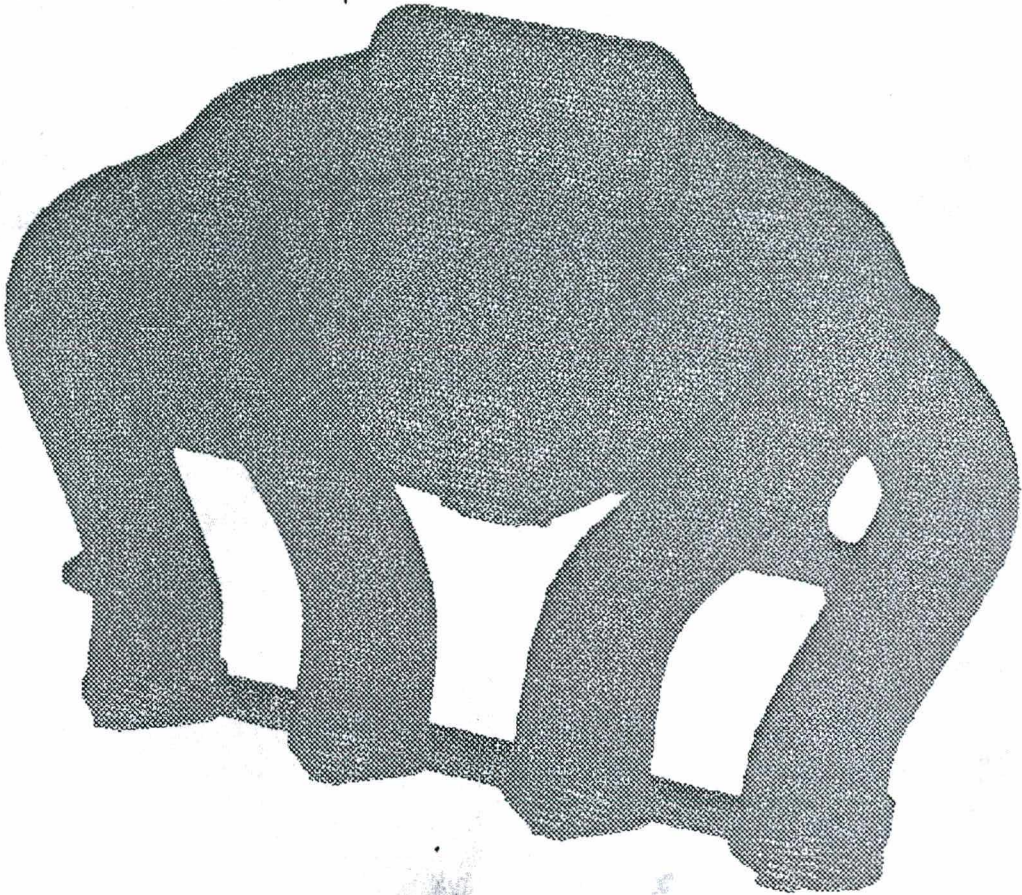


Figura 5-5 - Nuvem de 90 000 pontos

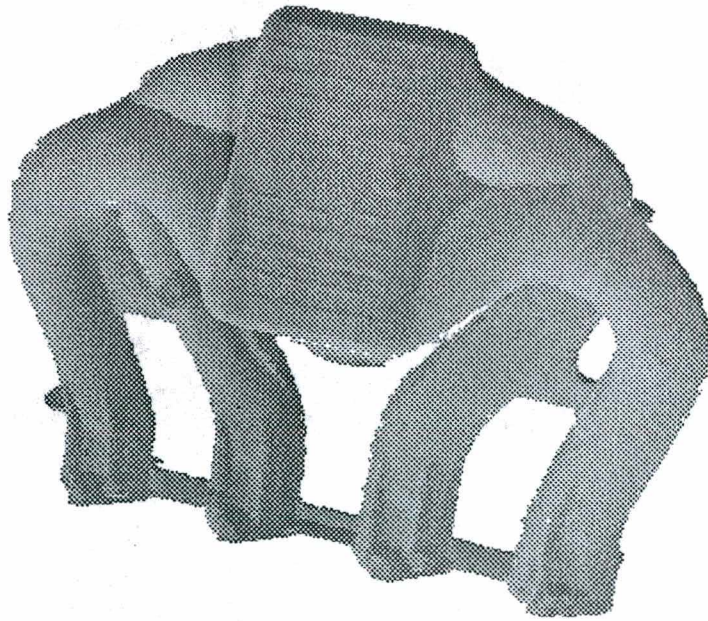


Figura 5-6 - Modelo poliédrico para a nuvem de alta densidade

Como o resultado da aplicação do mesmo algoritmo anteriormente usado com a carcaça foi muito superior com o coletor de admissão, ficou claro que o resultado da aplicação de algoritmos de facetamento automático, está ligado diretamente à densidade da nuvem obtida na digitalização, e à complexidade da geometria da peça. Neste caso a densidade da nuvem de pontos foi compatível com o nível de detalhes da peça.

Nuvens pouco densas resultam em representações pouco aproximadas da peça original, especialmente quando a mesma tiver geometria detalhada, e formada por superfícies curvas.

Nuvens de alta densidade permitem que algoritmos de construção automática de modelos geométricos poliédricos apresentem melhores aproximações da geometria original da peça. A maior quantidade de pontos permitiu a construção de uma representação muito próxima do objeto original, que permitiria sua reprodução através de CAM ou tecnologias de Prototipagem Rápida.

Como não foi utilizado nenhum algoritmo de relaxamento de geometria, o modelo foi construído exatamente sobre as coordenadas originais dos pontos. Os vértices das faces correspondem aos pontos digitalizados, sendo o volume total da representação poliédrica menor que o volume real da peça, para peças convexas.

Se for executado algum tipo de ajuste matemático de superfícies polinomiais sobre o modelo poliédrico ou diretamente sobre a nuvem de pontos, as superfícies resultantes poderão fazer uma descrição mais aproximada da peça

modelo. A melhor aproximação obtida através de superfícies paramétricas (bezier, splines ou NURBS) fica mais evidente quando a nuvem de pontos tem baixa densidade, resultando em uma representação poliédrica deficiente para peças com curvaturas acentuadas.

5.2.3 Considerações Sobre Estruturação das Nuvens

A estruturação dos pontos em seções transversais, que pode ser obtida com as tecnologias de digitalização sem contato, pode facilitar o trabalho de construção interativa do modelo de faces, quando forem utilizados programas de CAD com modelamento por superfícies NURBS. A ligação dos pontos pertencentes a uma seção transversal, formando uma curva, facilita a construção de superfícies NURBS sobre estas seções, em processos interativos de construção de modelos.

No caso da aplicação de algoritmos para construção automática de modelos poliédricos, a estruturação em seções com pontos coplanares não é indispensável. O algoritmo desenvolvido para nuvens não-estruturadas pôde ser aplicado sem problemas à nuvem estruturada do coletor.

5.3 CONSTRUÇÃO INTERATIVA DE MODELOS SÓLIDOS

A utilização do digitalizador 3D manual para entrada das coordenadas necessárias para construção dos modelos sólidos no programa de modelamento disponível, o CAD 3X, foi possível, resultando em arquivos no formato nativo ACIS (extensão .SAT) incluídos nos apêndices deste trabalho.

Os sólidos foram produzidos através da interface gráfica de modelamento CSG do programa, utilizando-se o digitalizador como dispositivo de entrada das coordenadas tridimensionais necessárias para a parametrização dos elementos primitivos disponíveis no modelador.

No exemplo do paralelepípedo, os pontos digitalizados foram os extremos da diagonal da base e um ponto qualquer da face superior. No caso do cone e do cilindro, a base do cone foi definida por três pontos pertencentes à sua circunferência, enquanto a altura foi definida pelo ponto do vértice. O cilindro também foi digitalizado a partir de uma circunferência de base no plano perpendicular a base do cone, e sua altura na direção paralela à base do cone.

Os modelos resultantes são mostrados na figura 5-7:

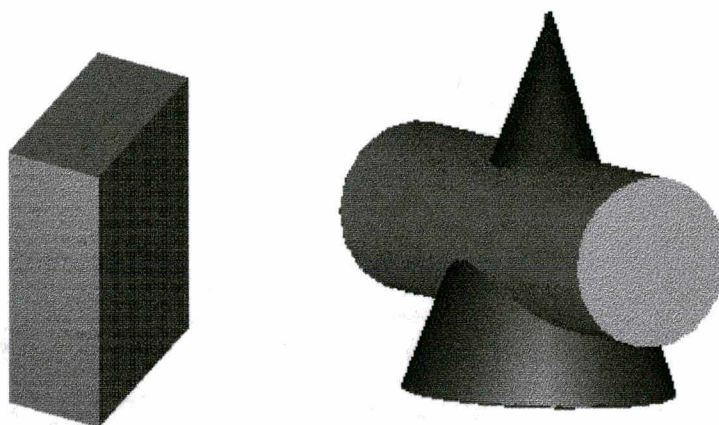


Figura 5-7 - Sólidos Primitivos Digitalizados

Os arquivos completos dos sólidos digitalizados, encontram-se em formato ACIS, nos apêndices A1 e A2, para verificação.

6. CONCLUSÕES

A questão fundamental analisada neste trabalho, foi a transformação dos arquivos de pontos obtidos através das diversas tecnologias de digitalização 3D disponíveis, em informações úteis para o suporte computacional ao trabalho colaborativo em Engenharia Simultânea. A análise feita com base na revisão bibliográfica das tecnologias, e os resultados obtidos com as experiências de aplicação realizadas, permitem chegar a várias conclusões sobre a APLICABILIDADE DA DIGITALIZAÇÃO 3D EM AMBIENTES DE ENGENHARIA SIMULTÂNEA:

- **A digitalização 3D se aplica perfeitamente à construção de modelos puramente geométricos para CAD/CAE/CAM/CNC, nas tarefas de engenharia reversa de componentes cujas superfícies não puderem ser descritas através de um conjunto simples de parâmetros, e não houver a necessidade de utilização dos modelos resultantes, em ambientes de Engenharia Simultânea baseados em “features”.**
- **A construção de modelos puramente geométricos pode ser facilmente automatizada quando uma representação do tipo poliédrico for suficiente. Também é possível construir automaticamente, uma representação por superfícies paramétricas (NURBS), quando houver necessidade. Essa geometria porém, dificilmente terá a organização topológica resultante**

dos processos tradicionais de construção por CAD, devido à dificuldade de controlar a posição dos limites entre uma superfície e outra. Os algoritmos disponíveis atualmente para o ajuste de NURBS geram diferentes quantidades de superfícies para representar a peça, sem qualquer relação com a função local dos detalhes da mesma.

- **A construção de um modelo geometricamente consistente a partir das nuvens resultantes de trabalhos de digitalização 3D será inviável sempre que a densidade ou organização da nuvem de pontos for incompatível com o nível de detalhes da peça, mesmo que o programa verifique a topologia do modelo evitando "non manifolds", não é possível adivinhar pontos ausentes.**

- **A aplicabilidade da digitalização 3D em ambientes computacionais de Engenharia Simultânea baseados no modelamento por "features", é pequena, em razão da dificuldade de identificação, decomposição e parametrização de "features" em geometrias de forma orgânica escultural, que é a principal motivação da digitalização 3D. A dificuldade reside justamente na natureza estilística das formas, que raramente são decorrentes dos processos de fabricação ou do projeto funcional do sistema mecânico. Essa é uma limitação da tecnologia de "features", que ainda não tem solução para o desafio do reconhecimento em peças de forma orgânica escultural, onde é difícil a comparação com a geometria de "features" pré - definidas.**

- **A construção automática de modelos de “features” a partir da digitalização 3D, através de testes matemático/heurísticos é possível apenas para componentes cuja geometria possa ser construída através dos processos mais comuns de usinagem, como torneamento e fresamento 2 ½ D, onde a digitalização 3D não é o único, e nem sempre o mais prático, método de medição.**
- **A automação do processo de reconhecimento e decomposição da geometria de peças em “features”, é dificultada também pela possibilidade de criação de diferentes representações geométricas tridimensionais válidas, para uma mesma peça, a partir da digitalização 3D. Do ponto de vista de CAD/CAM, uma determinada representação geométrica, construída a partir de nuvens de digitalização 3D, pode ser apropriada, sendo no entanto, pouco apropriada para um processo de reconhecimento de “features”, já que pode ser muito difícil definir onde começa ou termina uma “feature”. Nestas, é difícil estabelecer regras heurísticas, ou topológicas para a decomposição. A determinação de regras universais para a transformação de modelos de superfícies em modelos de “features” é dificultada também pela ausência de um padrão universalmente adotado (de fato), para a representação geométrica tridimensional em Engenharia Simultânea.**
- **Quando os parâmetros dimensionais de “features” puderem ser obtidos com facilidade, por processos simples de medição, a aplicação da digitalização 3D é questionável. A construção do modelo de**

engenharia simultânea através dos programas tradicionais de modelamento por “features” é suficiente neste caso, sendo naturalmente mais rápida e econômica, e produzindo um modelo rigorosamente de acordo com a estrutura do banco de dados de Engenharia Simultânea.

PROPOSTAS PARA PESQUISAS FUTURAS

A partir dos resultados desse trabalho, podemos recomendar a continuidade dos estudos, na área de construção de modelos geométricos em formato ACIS, a partir da digitalização de superfícies esculturais, e modelos de engenharia simultânea, em formato STEP para peças digitalizadas, que não sejam esculturais.

Sugestões de temas específicos:

- Novas alternativas em algoritmos para a produção de modelos B-rep, com superfícies Nurbs, a partir do ajuste de pontos digitalizados.
- Implementação de um programa específico para a digitalização de peças de geometria escultural, que produza sólidos ACIS que poderão ser usados em ambientes de suporte a Engenharia Simultânea.
- Implementação de um programa para a digitalização assistida de peças produzidas por operações de fresamento, sem formas esculturais, visando a produção de modelos de “features”, em formato STEP.

- Verificação dos limites da possibilidade de reconhecimento de “features” em geometrias digitalizadas, visando a produção automática de arquivos em conformidade com a normalização ISO do padrão STEP.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

-
- [1] MORUP, M. **Total Life Models : An important tool in design for quality.** ICED, 1993. v. 1, p. 849-856.
- [2] KUSIAK, A. (Ed.) **Concurrent Engineering: Automation, Tools, and Techniques.** New York: John Wiley & Sons, 1993. p.19.
- [3] HARTLEY, J. R. **Concurrent Engineering: shortening lead-times, raising quality, and lowering costs.** Cambridge: Productivity Press, 1992. p.124.
- [4] IMMERSION Corp. <http://www.immersion.com> (Outubro 1997).
- [5] FARO Technologies Inc. <http://www.faro.com/faroarm.htm> (Outubro 1997).
- [6] FARO Technologies Inc. **Faro Arm: Bronze Series Catalog.** (Fevereiro 1996).
- [7] SAC GP-12-3D **A three dimensional sonic digitizing system.** Science Accessories Corp. Shelton, 1993.
- [8] POLHEMUS Inc. <http://www.polhemus.com/3drawds.htm>. (Outubro 1997).
- [9] RENISHAW. <http://www.renishaw.com/scanning/retrosca.htm>. (Novembro 1997).
- [10] HEIDENHAIN, J. **Digitalisieren mit dem 3D-Tastsystem.** Lieferübersicht, p.47-49, Traunreut, 1991.
- [11] DECKEL, F. **El novo sistema de digitalización del especialista del fresado-copiado.** Catálogo. München, 1988.
- [12] PFEIFER, T. **Introdução à técnica de medição por coordenadas.** Colóquio: Técnicas avançadas de medição por coordenadas, UFSC/CERTI 1987.
- [13] MITUTOYO **CNC CMM Bright 504 Séries 196.** Catálogo 1996.
- [14] BRITE-MODESTI **3D digitizing devices and coordinate measurement machines.** Status report. 1988.
- [15] NVISION <http://www.nvision3d.com/techno.htm> (Março 1996).
- [16] 3D SCANNERS <http://www.3dscanners.com> (Outubro 1997).
- [17] RITTER, D. **Paralleler, optischer 3D-Sensor.** http://gareth.physik.uni-erlangen.de/optik/haeusler/people/dr/dipl/dipl_e.html (Outubro 1997).

-
- [18] HÄEUSLER G. **Calibration of optical 3D Sensors**, http://gareth.physik.uni-erlangen.de/optik/haeusler/research/kalib/kalib_e.html (Outubro 1997).
- [19] FOLEY, J. D. **Computer graphics : principles and practice**. - 2. ed. - Reading: Addison-Wesley, c1990. 1175p. : il.
- [20] HEMAYED, E. **Stereo Vision**, <http://cairo.spd.louisville.edu/~sayed/Research/Stereo/stereo.html>. (Novembro 1997).
- [21] PHOTOMODELER <http://www.photomodeler.com> [Março 1997].
- [22] PERCEPTRON <http://www.perceptron.com/web/index.htm>. (Novembro 1997).
- [23] AEA TECHNOLOGY Tomohawk. <http://www.aeat.co.uk/ndt/tomohawk/tomohawk.html>. (Novembro 1997)
- [24] STRUERS, Inc. **Tunnelscope 2400**. Catálogo 1990.
- [25] MEDAR, Inc. **To Introduce 3D Automotive Body Panel Flaw Detection System**. <http://www.medar.com/whatnew/budd.html> (Março 1997).
- [26] EOIS <http://www.eois.com/handy.htm>. (Dezembro 1997).
- [27] MELHORAMENTOS **Dicionário Eletrônico Melhoramentos Soft da Língua Portuguesa**. São Paulo : Melhoramentos, 1995
- [28] FERREIRA, Aurélio B. de H. **Novo Dicionário da Língua Portuguesa**. 2. ed. Rio de Janeiro: Nova Fronteira, 1986.
- [29] KUME, H. **Quality Management in New-Product Development: Simultaneous Engineering**. Kenshu n.143. 1997.
- [30] DIETZ, P. **Concurrent Engineering : Folgen für die Ausbildung, Konstruktion**, n. 48, p. 5-11, Berlin, 1996.
- [31] PRASAD, B. **Concurrent engineering fundamentals: integrated product and process organization**. New Jersey: Prentice Hall, 1996. v.1, p.92.
- [32] PRASAD, B. **Concurrent engineering fundamentals: integrated product and process organization**. New Jersey: Prentice Hall, 1996. v.1, pp.207 - 258.
- [33] SAAD, M.; MAHER, M. L. **Shared understanding in computer-supported collaborative design**. Computer Aided Design, vol. 28 n.3 pp.183-192, 1996.
- [34] MÄNTYLÄ, M. **An Introduction to Solid Modeling**. Rockville: Computer Science Press, 1988.
- [35] ROWELL A. **The Challenge of Cad Interoperability**. Computer Graphics World, V.20. n.6 1997, pp. 57 - 63.
- [36] DICKERSON, C. **PDM Product Data Management: An Overview**. SME report 1997.
- [37] GÖSSLING, H. et al. **Prozessorientiertes EDM-System als Engineering-Frontend zur PPS-Welt**. CAD CAM CIM, Outubro 1994, pp.117-120.

-
- [38] UNIGRAPHICS <http://www.unigraphics.com/iman.htm> (Setembro 1997).
- [39] COMPUTERVISION <http://www.cv.com/Mktops/Products/Products.html>. (Outubro 1997).
- [40] SHAH, J. J.; et. al. **Current Status of Features Technology**. CAM-I, 1988.
- [41] **CAM-I Part Features for Process Planning**, CAM-I, 1986.
- [42] ROSA, E. **Banco de Dados em Sistemas Integrados de Manufatura**. Florianópolis, GRANTE/UFSC. 1993.
- [43] FAUX, I. D. **Reconciliation of Design and Manufacturing Requirements for Product Description Data Using Functional Primitive Part Features**. CAM-I, 1986.
- [44] REQUICHA, A. G.; HAN, J. **Integration of feature based design and feature recognition**. *Computer-Aided Design*, v.29, n.5, pp.393-403, 1997.
- [45] DONG, J. **Manufacturing feature determination and extraction**. *Computer-Aided Design*, v.29, n.6, pp.427-440, 1997.
- [46] COAD, P.; YOURDON, E. **Object Oriented Design**. Engle Wood Cliffs: Prentice Hall, 1991.
- [47] AFSARMANESH, H.; et. al. **Design of a Distributed Database for Concurrent Engineering Environment**, *RBCM* v.16, n.3. 1994. pp. 298 - 310.
- [48] ROSENMAN, M. A., GERO, J. S. **Modelling multiple views of design objects in a collaborative CAD environment**. *Computer-Aided Design*, v.28, n.3, pp. 193-205, 1996.
- [49] SPATIAL TECHNOLOGIES <http://www.spatial.com> [Novembro 1995].
- [50] HEWLET PACKARD <http://www.soliddesigner.com> (Julho 1996).
- [51] INTERGRAPH <http://www.solid-edge.com> (Outubro 1996).
- [52] AUTODESK <http://www.autodesk.com/products/acadr14/index.shtml> (Novembro 1997).
- [53] BENTLEY <http://www.bentley.com> (Novembro 1997).
- [54] 3D EYE <http://www.3deye.com/products/prodtt.htm> (Novembro 1997).
- [55] BAYSTATE <http://www.baystate.com/product/cadkey.htm> (Agosto 1997).
- [56] PARASOLID <http://www.parasolid.com>. (Outubro 1997).
- [57] PARAMETRIC TECHNOLOGY CORP. <http://www.ptc.com> (Novembro 1997).
- [58] EDS UNIGRAPHICS <http://www.eds.com/unigraphics>. (Setembro 1997).
- [59] SOLIDWORKS CORP. <http://www.solidworks.com> (Novembro 1997).

-
- [60] SPATIAL TECHNOLOGIES <http://www.spatial.com/Support/Publications/satfile.htm> (Novembro 1995).
- [61] MOLLON, R. Innovation in **CAD/CAM Collaboration**. *Integrated Design & Manufacturing*, v1, n.6, pp. 16 – 19, 1997.
- [62] POTTER, C. **The Engines of Mechanical CAD**. *Computer Graphics World*, v.20 , n.5, pp. 51-56.
- [63] PORTER, S. **What's Up With ACIS?**, *Computer Graphics World*, v.18, n.9, pp. 30 - 36.
- [64] STEP/PDES <http://www.scra.org/pdesinc/whystep.html> (Setembro 1997).
- [65] TAVARES, M., et. al. **A STEP Based Information Management System as a Support to a Concurrent Engineering Environment**. *RCBM* v.16, n.3, 1994, pp. 311-317.
- [66] VAQUERO, R. M. S. H. **Information Integration in Computer Integrated Manufacturing (CIM)**. *RBCM* v.17, n.1, 1995, pp. 35-48.
- [67] GU, P.; CHAN, K. **Product modelling using STEP**. *Computer-Aided Design*, v.27, n.3, pp.163-179, 1995.
- [68] DMAC <http://www.dmac.com> (Agosto 1996).
- [69] SME Intranet **Wildfire Sweeps Manufacturing**. *Integrated Design & Manufacturing*, v.1, n.2, pp. 14 – 15, 1997.
- [70] NOAKER, P. M. **Securing Web-Based Design Transactions**. *Integrated Design & Manufacturing*, v.1, n.7, pp. 20-24, 1997.
- [71] WOHLERS, T. **3D Digitizers for Engineering**. *Computer Graphics World* v.18, n.3. 1995.
- [72] IMMERSION Corp. <http://www.immerse.com/wwwpages/software.htm> (Setembro 1997).
- [73] VERON, P., LEON, J. C. **Static polyhedron simplification using error measurements**. *Computer-Aided Design*, V.29, n.4, pp.287-298, 1997.
- [74] ROGERS, D. F. **Mathematical Elements for Computer Graphics**. 2ed. New York: McGraw Hill, 1990. pp.348-350.
- [75] IMAGEWARE SURFACER <http://www.iware.com/htmls/surf7.html> (Novembro 1997).
- [76] ECK, M., HOPPE, H. **Automatic Reconstruction of B-Spline Surfaces of Arbitrary Topological Type**. <http://www.research.microsoft.com/research/graphics/hoppe/siggraph96bspline/paper.html>. (Outubro 1997).
- [77] OWEN, C. J. et.al. **Interactive Feature-Based Reverse Engineering of Mechanical Parts**. <http://www.cs.utah.edu/projects/robot/refab.html> (Julho 1996).
- [78] KULKARNI, V. S.; PANDE, S. S. **Automatic extraction of 3D part features**. *Int. J. Prod. Res*, v.33, n.6, pp.1569-1586., 1995.

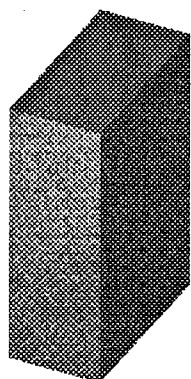
-
- [79] REGLI, W. C. et. al. **Towards multiprocessor feature recognition.** *Computer-Aided Design*, v.29, n.1, pp.37-51, 1997.
- [80] NEZIS, K., VOSNIAKOS, G. **Recognizing 2 ½ D shape features using a neural network and heuristics.** *Computer-Aided Design*, v.29, n.7, pp.523-539, 1997.
- [81] MILROY, M. J., et. al. **Segmentation of a Wrap-around model using an active contour.** *Computer-Aided Design*, v.29, n.4, pp.299-320, 1997.
- [82] GTCO Corp <http://www.gtco.com/frepoin.htm> (Outubro 1997).
- [83] GTCO Corp <http://www.gtco.com/technica.html> (Outubro 1997).
- [84] CAD3X <http://www.3x.com> (Dezembro 1995).
- [85] GEOMAGIC Corp <http://www.geomagic.com> (Outubro 1997).

APÊNDICES

APÊNDICES.....	100
A. Arquivos de Exemplos Digitalizados	101
A.1 Paralelepípedo (Formato ACIS).....	101
A.2 ConeCilindro (Formato ACIS).....	104
A.3 Pontos da Carcaça (Formato Texto)	120
B. Especificação do Formato ACIS 2.1 (.SAT)	128

A. ARQUIVOS DE EXEMPLOS DIGITALIZADOS

A.1 PARALELEPÍPEDO (FORMATO ACIS)



Paralele.sat

```

106 0 7 0
wcs $7 1 0 0 0 1 0 0 0 1 0 0 0 1 0 0 0 #
active wcs $8 $0 #
refinement $9 0 0 0 0.5 0 0 0 0 4 0 #
refinement $10 0 0 0 0.5 0 0 0 0 4 0 #
profile-ptc $11 2 0 F F 44 2 3 3000 3000 -4 -4 0 4 812 590 44 0 0 -1 -1 -1 -1 0 456 812 572 44 0
1 -1 -1 -1 -1 0 128 800 534 3270 2 5 1.2 4 2 7 Layer 11 1 1 1 1 0 1 1 1 0 0 1 0 0 1 0 0 44 0 1
-1 -1 -1 -1 0 270 266 405 0 0 258 108 7.8181818181818175 3.2727272727272725 658.68136832663708
0.99999998462866946 1.4999999996528259 0.49999999039697024 0.99999998462866946 1.4999999996528259
0 0 1 1 1 1 44 0 1 -1 -1 -1 -1 0 135 266 270 0 0 258 108 5.2121212121212128 2.1818181818181821
0.5 1 500 0.5 1 1.5 0 1 0 1 1 1 44 0 1 -1 -1 -1 -1 0 266 135 0 0 258 108 7.8181818181818175
3.2727272727272725 0.5 -500 1.5 0.5 1 1.5 0 0 1 1 1 1 44 0 1 -1 -1 -1 -1 266 0 799 406 0 0 525
379 5.5325510375427474 3.9939749394832411 204.6241452247032 -407.24829047335396
205.62414522017818 0.49999999277163543 0.99999999050912614 1.4999999882466168 0 0 1 1 1 1
0.00809375000000000002 T T T 0.0500000000000000003 F F 0.0500000000000000003 0.0500000000000000003 F
F 0.25 0.775000000000000002 0.225000000000000001 0.100000000000000001 F 180 #
body $12 $13 $-1 $14 #
rh material-rh entity $15 4 5 plain5 color-4 0 0 1 5 phong14 ambient factor-2 1 14 diffuse
factor-2 0.75 I5 specular factor-2 0.5 8 exponent-2 10 14 specular color-4 1 1 1 4 none4 none#
display attribute-st-attrib $-1 $16 $-1 $0 3 #
rgb_color-st-attrib $-1 $17 $-1 $1 0 0 0 #
rgb_color-st-attrib $-1 $18 $-1 $2 0 0 0 #
rgb_color-st-attrib $-1 $19 $-1 $3 0 0 0 #
rgb_color-st-attrib $-1 $20 $-1 $4 0 0 0 #
f body-lwd-attrib $-1 $21 $-1 $5 #
lump $-1 $-1 $22 $5 #
transform $-1 1 0 0 0 1 0 0 0 1 0.5 1 1.5 1 1 0 0 #
named_string attribute-named attribute-st-attrib $-1 $23 $-1 $6 4 name15 <Default Color>#
rgb_color-st-attrib $-1 $24 $7 $0 0 0 0 #
line_type-vsc-attrib $-1 $25 $8 $1 0 #
line_type-vsc-attrib $-1 $26 $9 $2 0 #
line_type-vsc-attrib $-1 $27 $10 $3 0 #
line_type-vsc-attrib $-1 $28 $11 $4 0 #
render_lwd-attrib $-1 $29 $12 $5 $6 $-1 0 1 1 0 0 0 1 0 0 0 1 0.5 1 1.5 1 1 0 0 #
shell $-1 $-1 $-1 $30 $13 #
rgb_color-st-attrib $-1 $31 $15 $6 1 0 0 #
line_type-vsc-attrib $-1 $32 $16 $0 0 #
id attribute-st-attrib $-1 $-1 $17 $1 50 #
id attribute-st-attrib $-1 $-1 $18 $2 51 #
id attribute-st-attrib $-1 $-1 $19 $3 52 #
named_string attribute-named attribute-st-attrib $-1 $33 $20 $4 5 layer7 Layer 1#
display attribute-st-attrib $-1 $34 $21 $5 2 #
face $35 $36 $37 $22 $-1 $38 forward single #
line_type-vsc-attrib $-1 $39 $23 $6 0 #
id attribute-st-attrib $-1 $-1 $24 $0 49 #
id attribute-st-attrib $-1 $-1 $28 $4 53 #
rgb_color-st-attrib $-1 $40 $29 $5 1 0 0 #
face-lwd-attrib $-1 $-1 $-1 $30 #
face $41 $42 $43 $22 $-1 $44 reversed single #

```



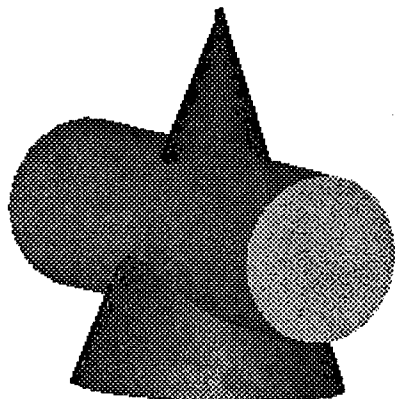
```

loop $-1 $-1 $45 $30 #
plane-surface $-1 0 0 1.5 0 0 1 1 0 0 0 I I I I #
id attribute-st-attrib $-1 $-1 $31 $6 79 #
line_type-vsc-attrib $-1 $46 $34 $5 0 #
fface-lwd-attrib $-1 $-1 $-1 $36 #
face $47 $48 $49 $22 $-1 $50 reversed single #
loop $-1 $-1 $51 $36 #
plane-surface $-1 0 0 -1.5 0 0 1 1 0 0 0 I I I I #
coedge $52 $53 $54 $55 $56 0 $37 $-1 #
named_string attribute-named attribute-st-attrib $-1 $57 $40 $5 5 layer7 Layer 1#
fface-lwd-attrib $-1 $-1 $-1 $42 #
face $58 $59 $60 $22 $-1 $61 reversed single #
loop $-1 $-1 $62 $42 #
plane-surface $-1 0 -1 0 0 1 0 0 0 1 0 I I I I #
coedge $63 $64 $65 $66 $67 0 $43 $-1 #
copar-lwd-attrib $-1 $-1 $-1 $45 #
coedge $68 $69 $45 $70 $71 0 $37 $-1 #
coedge $72 $45 $69 $73 $74 0 $37 $-1 #
coedge $75 $76 $77 $45 $56 1 $78 $-1 #
edge $79 $80 $81 $55 $82 0 #
id attribute-st-attrib $-1 $-1 $46 $5 76 #
fface-lwd-attrib $-1 $-1 $-1 $48 #
face $83 $84 $85 $22 $-1 $86 reversed single #
loop $-1 $-1 $87 $48 #
plane-surface $-1 -0.5 0 0 1 0 0 0 0 -1 0 I I I I #
coedge $88 $89 $73 $90 $91 0 $49 $-1 #
copar-lwd-attrib $-1 $-1 $-1 $51 #
coedge $92 $93 $51 $89 $94 0 $43 $-1 #
coedge $95 $51 $93 $96 $97 0 $43 $-1 #
coedge $98 $77 $76 $51 $67 1 $78 $-1 #
edge $99 $100 $101 $66 $102 0 #
copar-lwd-attrib $-1 $-1 $-1 $53 #
coedge $103 $54 $53 $104 $105 0 $37 $-1 #
coedge $106 $107 $108 $53 $71 1 $85 $-1 #
edge $109 $81 $110 $70 $111 0 #
copar-lwd-attrib $-1 $-1 $-1 $54 #
coedge $112 $62 $113 $54 $74 1 $49 $-1 #
edge $114 $115 $80 $73 $116 0 #
copar-lwd-attrib $-1 $-1 $-1 $55 #
coedge $117 $66 $55 $113 $118 0 $78 $-1 #
coedge $119 $55 $66 $107 $120 1 $78 $-1 #
loop $-1 $-1 $76 $84 #
epar-lwd-attrib $-1 $121 $-1 $56 #
vertex $-1 $56 $122 #
vertex $-1 $56 $123 #
straight-curve $-1 0.5 0 1.5 0 1 0 I I #
fface-lwd-attrib $-1 $-1 $-1 $59 #
face $124 $-1 $78 $22 $-1 $125 reversed single #
loop $-1 $-1 $107 $59 #
plane-surface $-1 0 1 0 0 -1 0 0 0 -1 0 I I I I #
coedge $126 $127 $104 $108 $128 0 $60 $-1 #
copar-lwd-attrib $-1 $-1 $-1 $62 #
coedge $129 $113 $62 $64 $94 1 $49 $-1 #
coedge $130 $104 $127 $62 $91 1 $60 $-1 #
edge $131 $115 $132 $90 $133 0 #
copar-lwd-attrib $-1 $-1 $-1 $64 #
coedge $134 $65 $64 $127 $135 0 $43 $-1 #
edge $136 $101 $132 $89 $137 0 #
copar-lwd-attrib $-1 $-1 $-1 $65 #
coedge $138 $108 $107 $65 $97 1 $85 $-1 #
edge $139 $140 $100 $96 $141 0 #
copar-lwd-attrib $-1 $-1 $-1 $66 #
epar-lwd-attrib $-1 $142 $-1 $67 #
vertex $-1 $67 $143 #
vertex $-1 $118 $144 #
straight-curve $-1 0.5 0 -1.5 0 -1 0 I I #
copar-lwd-attrib $-1 $-1 $-1 $69 #
coedge $145 $87 $90 $69 $105 1 $60 $-1 #
edge $146 $110 $115 $104 $147 0 #
copar-lwd-attrib $-1 $-1 $-1 $70 #
coedge $148 $96 $70 $77 $120 0 $85 $-1 #
coedge $149 $70 $96 $87 $128 1 $85 $-1 #
epar-lwd-attrib $-1 $150 $-1 $71 #
vertex $-1 $71 $151 #
straight-curve $-1 0 1 1.5 -1 0 0 I I #
copar-lwd-attrib $-1 $-1 $-1 $73 #
coedge $152 $73 $89 $76 $118 1 $49 $-1 #
epar-lwd-attrib $-1 $153 $-1 $74 #
vertex $-1 $105 $154 #
straight-curve $-1 0 -1 1.5 1 0 0 I I #
copar-lwd-attrib $-1 $-1 $-1 $76 #
edge $155 $80 $101 $76 $156 0 #
copar-lwd-attrib $-1 $-1 $-1 $77 #
edge $157 $81 $100 $77 $158 0 #
line_type-vsc-attrib $-1 $-1 $79 $56 0 #
point $-1 0.5 -1 1.5 #
point $-1 0.5 1 1.5 #
fface-lwd-attrib $-1 $-1 $-1 $84 #
plane-surface $-1 0.5 0 0 -1 0 0 0 0 1 0 I I I I #
copar-lwd-attrib $-1 $-1 $-1 $87 #
coedge $159 $90 $87 $93 $135 1 $60 $-1 #
edge $160 $110 $140 $108 $161 0 #
copar-lwd-attrib $-1 $-1 $-1 $89 #
copar-lwd-attrib $-1 $-1 $-1 $90 #
epar-lwd-attrib $-1 $162 $-1 $91 #
vertex $-1 $135 $163 #
straight-curve $-1 -0.5 -1 0 0 0 -1 I I #
copar-lwd-attrib $-1 $-1 $-1 $93 #

```

```
edge $164 $132 $140 $127 $165 0 #
epar-lwd-attrib $-1 $166 $-1 $94 #
straight-curve $-1 0 -1 -1.5 -1 0 0 I I #
copar-lwd-attrib $-1 $-1 $-1 $96 #
epar-lwd-attrib $-1 $167 $-1 $97 #
vertex $-1 $97 $168 #
straight-curve $-1 0 1 -1.5 1 0 0 I I #
line_type-vsc-attrib $-1 $-1 $99 $67 0 #
point $-1 0.5 1 -1.5 #
point $-1 0.5 -1 -1.5 #
copar-lwd-attrib $-1 $-1 $-1 $104 #
epar-lwd-attrib $-1 $169 $-1 $105 #
straight-curve $-1 -0.5 0 1.5 0 -1 0 I I #
copar-lwd-attrib $-1 $-1 $-1 $107 #
copar-lwd-attrib $-1 $-1 $-1 $108 #
line_type-vsc-attrib $-1 $-1 $109 $71 0 #
point $-1 -0.5 1 1.5 #
copar-lwd-attrib $-1 $-1 $-1 $113 #
line_type-vsc-attrib $-1 $-1 $114 $74 0 #
point $-1 -0.5 -1 1.5 #
epar-lwd-attrib $-1 $170 $-1 $118 #
straight-curve $-1 0.5 -1 0 0 0 -1 I I #
epar-lwd-attrib $-1 $171 $-1 $120 #
straight-curve $-1 0.5 1 0 0 0 -1 I I #
copar-lwd-attrib $-1 $-1 $-1 $127 #
epar-lwd-attrib $-1 $172 $-1 $128 #
straight-curve $-1 -0.5 1 0 0 0 -1 I I #
line_type-vsc-attrib $-1 $-1 $131 $91 0 #
point $-1 -0.5 -1 -1.5 #
epar-lwd-attrib $-1 $173 $-1 $135 #
straight-curve $-1 -0.5 0 -1.5 0 1 0 I I #
line_type-vsc-attrib $-1 $-1 $136 $94 0 #
line_type-vsc-attrib $-1 $-1 $139 $97 0 #
point $-1 -0.5 1 -1.5 #
line_type-vsc-attrib $-1 $-1 $146 $105 0 #
line_type-vsc-attrib $-1 $-1 $155 $118 0 #
line_type-vsc-attrib $-1 $-1 $157 $120 0 #
line_type-vsc-attrib $-1 $-1 $160 $128 0 #
line_type-vsc-attrib $-1 $-1 $164 $135 0 #
End-of-ACIS-data
```

A.2 CONECILINDRO (FORMATO ACIS)



CONECILI.SAT

```

106 0 227 0
wcs $227 -4.2598488881934637e-028 -1 -2.793186688887506e-014 6.9829667222187673e-015 -
2.7931866888875063e-014 1 -1 2.3350282794541949e-028 6.9829667222187665e-015 0 0 0 1 1 0 0 #
active wcs $228 $222 #
refinement $229 0 0 0.5 0 0 0 0 4 0 #
refinement $230 0 0 0.5 0 0 0 0 4 0 #
profile-pt0 $231 2 0 F F 44 0 1 -1 -1 -4 -4 0 0 812 612 44 0 0 -1 -1 -1 -1 0 456 812 572 44 0 1 -
1 -1 -1 -1 0 128 804 566 3270 2 5 1.2 4 2 7 Layer 11 1 1 1 1 0 1 1 1 0 0 1 0 1 1 1 0 0 44 0 1 -1
-1 -1 -1 0 291 267 436 0 0 259 118 17.85319305858145 8.1338871849907761 518.41397023016077
4.8600001660138412 12.719749721900161 14.86999998036816 4.8600001660138412 12.719749721900161 0 0
1 1 1 1 44 0 1 -1 -1 -1 0 145 267 290 0 0 259 118 25.55856965692703 11.644444863001505
14.869999885559082 4.8600001931190491 500 14.869999885559082 4.8600001931190491
12.719749927520752 0 1 0 1 1 1 44 0 1 -1 -1 -1 0 0 267 145 0 0 259 118 17.85319305858145
8.1338871849907761 14.869999885559082 -500 12.719749927520752 14.869999885559082
17.298220316569012 13.49064241007564 53.255190859340942 -124.84445423314996 -481.67793063703391
15.359482981037273 3.7038105400857235 11.630543159344139 -0.18599214557816751 0.73437648269608413
-0.65276190410145551 1 1 1 0.00809375000000000002 T T T 0.050000000000000003 F F
0.050000000000000003 0.050000000000000003 F F 0.25 0.775000000000000002 0.225000000000000001
0.100000000000000001 F 180 #
point $232 11.390000000000001 -0.14000000000000001 14.33 #
point $233 11.42 -0.089999999999999997 14.369999999999999 #
point $234 11.42 -0.13 14.42 #
point $235 11.56 -0.17000000000000001 14.56 #
point $236 11.720000000000001 -0.28999999999999998 14.789999999999999 #
point $237 11.85 -0.35999999999999999 14.880000000000001 #
point $238 11.84 -0.25 14.94 #
point $239 11.949999999999999 -0.14000000000000001 15.17 #
point $240 12.01 -0.089999999999999997 15.210000000000001 #
point $241 12.15 -0.23999999999999999 15.27 #
point $242 12.300000000000001 -0.20999999999999999 15.42 #
point $243 12.449999999999999 -0.20999999999999999 15.56 #
point $244 12.67 -0.23000000000000001 15.67 #
point $245 12.76 -0.11 15.800000000000001 #
point $246 12.970000000000001 -0.089999999999999997 15.949999999999999 #
point $247 13.140000000000001 -0.11 15.98 #
point $248 13.49 -0.11 16.030000000000001 #
point $249 13.800000000000001 -0.14000000000000001 16.100000000000001 #
point $250 13.98 -0.11 16.140000000000001 #
point $251 14.17 -0.19 16.170000000000002 #
point $252 14.199999999999999 -0.20000000000000001 16.23 #
point $253 14.630000000000001 -0.20000000000000001 16.370000000000001 #
point $254 14.66 -0.28000000000000003 16.379999999999999 #
point $255 15 -0.22 16.25 #
point $256 15.16 -0.23000000000000001 16.25 #
point $257 15.529999999999999 -0.27000000000000002 16.120000000000001 #
point $258 15.75 -0.28000000000000003 16.010000000000002 #
point $259 15.98 -0.27000000000000002 15.91 #
point $260 16.170000000000002 -0.28000000000000003 15.83 #
point $261 16.399999999999999 -0.22 15.68 #
point $262 16.579999999999998 -0.22 15.529999999999999 #
point $263 16.690000000000001 -0.23999999999999999 15.43 #
point $264 17.039999999999999 -0.22 15.24 #
point $265 17.239999999999998 -0.23999999999999999 15.07 #
point $266 17.489999999999998 -0.17999999999999999 14.84 #
point $267 17.640000000000001 -0.26000000000000001 14.609999999999999 #
point $268 17.670000000000002 -0.38 14.44 #
point $269 17.649999999999999 -0.22 14.34 #
point $270 17.760000000000002 -0.20000000000000001 14.210000000000001 #
point $271 17.969999999999999 -0.22 13.76 #
point $272 18.149999999999999 -0.22 13.43 #
point $273 18.18 -0.17999999999999999 13.23 #
point $274 18.43 -0.16 12.710000000000001 #
point $275 18.16 -0.14999999999999999 12.68 #

```

```

point $276 18.359999999999999 -0.14999999999999999 12.23 #
point $277 17.98 -0.23999999999999999 11.68 #
point $278 17.91 -0.22 11.52 #
point $279 17.789999999999999 -0.23000000000000001 11.300000000000001 #
point $280 17.66 -0.17999999999999999 10.970000000000001 #
point $281 17.510000000000002 -0.14999999999999999 10.76 #
point $282 17.329999999999998 -0.17999999999999999 10.51 #
point $283 17.059999999999999 -0.12 10.23 #
point $284 17.010000000000002 -0.05999999999999998 10.17 #
point $285 16.899999999999999 -0.16 9.970000000000006 #
point $286 16.82 -0.20000000000000001 9.929999999999997 #
point $287 16.690000000000001 -0.25 9.75 #
point $288 16.359999999999999 -0.22 9.539999999999991 #
point $289 16.100000000000001 -0.17999999999999999 9.429999999999997 #
point $290 15.9 -0.13 9.3800000000000008 #
point $291 15.67 -0.14999999999999999 9.279999999999994 #
point $292 15.31 -0.13 9.269999999999996 #
point $293 15.130000000000001 -0.11 9.210000000000009 #
point $294 14.82 -0.08000000000000002 9.220000000000006 #
point $295 14.49 -0.05000000000000003 9.169999999999999 #
point $296 14.039999999999999 0 9.160000000000001 #
point $297 13.93 -0.05000000000000003 9.179999999999997 #
point $298 13.75 -0.07000000000000007 9.199999999999993 #
point $299 13.550000000000001 -0.07000000000000007 9.199999999999993 #
point $300 13.279999999999999 -0.07000000000000007 9.210000000000009 #
point $301 13.199999999999999 -0.01 9.220000000000006 #
point $302 13.01 -0.05000000000000003 9.339999999999999 #
point $303 12.890000000000001 -0.02 9.390000000000006 #
point $304 12.68 -0.04000000000000001 9.560000000000005 #
point $305 12.449999999999999 -0.10000000000000001 9.720000000000006 #
point $306 12.279999999999999 -0.04000000000000001 9.910000000000001 #
point $307 12.050000000000001 -0.04000000000000001 10.17 #
point $308 11.84 -0.17999999999999999 10.25 #
point $309 11.56 -0.23000000000000001 10.66 #
point $310 11.449999999999999 -0.08999999999999997 10.81 #
point $311 11.199999999999999 -0.07000000000000007 11.130000000000001 #
point $312 11.19 -0.07000000000000007 11.18 #
point $313 11.050000000000001 -0.08000000000000002 11.48 #
point $314 10.970000000000001 -0.07000000000000007 11.84 #
point $315 10.9 -0.01 12.33 #
point $316 10.82 -0.05999999999999998 12.42 #
point $317 10.82 -0.08000000000000002 12.630000000000001 #
point $318 10.85 -0.07000000000000007 12.84 #
point $319 10.359999999999999 0.23000000000000001 13.449999999999999 #
point $320 11.17 0 12.789999999999999 #
point $321 11.109999999999999 0 13.1 #
point $322 11.16 0.01 13.35 #
point $323 11.039999999999999 -0.01 13.4 #
point $324 15.01 10.1 12.73 #
point $325 15.029999999999999 10.1 12.77 #
point $326 15.08 10.039999999999999 12.76 #
point $327 14.98 9.929999999999997 12.800000000000001 #
point $328 14.890000000000001 9.980000000000004 12.76 #
point $329 21.079999999999998 6.059999999999996 11.92 #
point $330 21.100000000000001 6 11.83 #
point $331 21.100000000000001 6.04 11.82 #
point $332 21.120000000000001 6 11.710000000000001 #
point $333 21.120000000000001 5.799999999999998 11.529999999999999 #
point $334 21.18 5.769999999999996 11.44 #
point $335 21.210000000000001 5.650000000000004 11.32 #
point $336 21.25 5.480000000000004 11.130000000000001 #
point $337 21.219999999999999 5.29 10.949999999999999 #
point $338 21.140000000000001 5.309999999999996 10.94 #
point $339 21.260000000000002 5.299999999999998 10.890000000000001 #
point $340 21.300000000000001 5.219999999999998 10.890000000000001 #
point $341 21.34 5.110000000000003 10.85 #
point $342 21.289999999999999 4.910000000000001 10.81 #
point $343 21.32 4.589999999999999 10.710000000000001 #
point $344 21.18 4.339999999999999 10.619999999999999 #
point $345 21.260000000000002 4.29 10.52 #
point $346 21.260000000000002 4.330000000000001 10.73 #
point $347 21.210000000000001 4.169999999999999 10.800000000000001 #
point $348 21.190000000000001 3.910000000000001 10.779999999999999 #
point $349 21.25 3.5 10.75 #
point $350 21.260000000000002 3.27 10.789999999999999 #
point $351 21.309999999999999 3.149999999999999 10.880000000000001 #
point $352 21.300000000000001 3.029999999999998 10.75 #
point $353 21.260000000000002 3.180000000000002 10.890000000000001 #
point $354 21.300000000000001 3.080000000000001 10.94 #
point $355 21.300000000000001 2.939999999999999 11.039999999999999 #
point $356 21.260000000000002 2.819999999999998 11.130000000000001 #
point $357 21.239999999999998 2.54 11.27 #
point $358 21.170000000000002 2.399999999999999 11.4 #
point $359 21.16 2.069999999999998 11.710000000000001 #
point $360 21.059999999999999 2.060000000000001 11.67 #
point $361 21.120000000000001 2.02 11.720000000000001 #
point $362 21.170000000000002 2.109999999999999 11.85 #
point $363 21.140000000000001 2.02 11.99 #
point $364 21.129999999999999 2.100000000000001 12.199999999999999 #
point $365 21.07 2.04 12.4 #
point $366 21.059999999999999 1.95 12.52 #
point $367 21.02 1.889999999999999 12.640000000000001 #
point $368 21.02 2 12.9 #
point $369 21.079999999999998 1.96 13.01 #
point $370 21.02 2.080000000000001 13.26 #
point $371 21.039999999999999 2.049999999999998 13.34 #
point $372 21.030000000000001 2.02 13.449999999999999 #
point $373 21.050000000000001 2 13.539999999999999 #

```

```

point $374 21.030000000000001 2.04 13.710000000000001 #
point $375 21.010000000000002 2.149999999999999 13.890000000000001 #
point $376 21.02 2.27 14.02 #
point $377 21.039999999999999 2.5 14.140000000000001 #
point $378 21.059999999999999 2.589999999999999 14.25 #
point $379 21.109999999999999 2.529999999999998 14.380000000000001 #
point $380 21.149999999999999 2.649999999999999 14.41 #
point $381 21.149999999999999 2.919999999999999 14.609999999999999 #
point $382 21.079999999999998 3.049999999999998 14.720000000000001 #
point $383 21.109999999999999 3.370000000000001 14.94 #
point $384 21.09 3.419999999999999 14.869999999999999 #
point $385 21.149999999999999 3.700000000000002 14.94 #
point $386 21.149999999999999 3.75 14.94 #
point $387 21.100000000000001 3.830000000000001 14.94 #
point $388 21.300000000000001 3.98 14.9 #
point $389 21.27 4.219999999999998 14.869999999999999 #
point $390 21.32 4.469999999999998 14.880000000000001 #
point $391 21.27 4.650000000000004 14.800000000000001 #
point $392 21.260000000000002 4.809999999999996 14.76 #
point $393 21.27 4.950000000000002 14.609999999999999 #
point $394 21.239999999999998 5.110000000000003 14.640000000000001 #
point $395 21.219999999999999 5.169999999999999 14.57 #
point $396 21.219999999999999 5.360000000000003 14.57 #
point $397 21.289999999999999 5.419999999999999 14.48 #
point $398 21.260000000000002 5.629999999999999 14.5 #
point $399 21.260000000000002 5.629999999999999 14.33 #
point $400 21.210000000000001 5.740000000000002 14.279999999999999 #
point $401 21.010000000000002 5.969999999999998 14.039999999999999 #
point $402 20.989999999999998 6.04 13.93 #
point $403 20.879999999999999 6.110000000000003 13.779999999999999 #
point $404 21.030000000000001 6.089999999999999 13.720000000000001 #
point $405 21.120000000000001 6.070000000000003 13.619999999999999 #
point $406 21.140000000000001 6.110000000000003 13.56 #
point $407 21.190000000000001 6.179999999999997 13.48 #
point $408 21.23 6.259999999999998 13.31 #
point $409 21.219999999999999 6.339999999999999 13.24 #
point $410 21.23 6.370000000000001 13.07 #
point $411 21.18 6.440000000000004 12.960000000000001 #
point $412 21.109999999999999 6.429999999999997 12.81 #
point $413 21.109999999999999 6.349999999999996 12.66 #
point $414 21.09 6.349999999999996 12.49 #
point $415 8.789999999999999 5.71 12.300000000000001 #
point $416 8.75 5.679999999999997 11.970000000000001 #
point $417 8.679999999999997 5.480000000000004 11.68 #
point $418 8.630000000000000 5.080000000000001 11.41 #
point $419 8.669999999999999 4.5 11.4 #
point $420 8.619999999999992 3.899999999999999 11.390000000000001 #
point $421 8.5 3.27 11.369999999999999 #
point $422 8.400000000000004 3.02 11.720000000000001 #
point $423 8.519999999999996 2.819999999999998 12.24 #
point $424 8.599999999999996 2.98 12.69 #
point $425 8.550000000000007 3.120000000000001 13.039999999999999 #
point $426 8.509999999999998 3.419999999999999 13.460000000000001 #
point $427 8.560000000000005 3.689999999999999 13.720000000000001 #
point $428 8.490000000000002 4.200000000000002 14.130000000000001 #
point $429 8.5 4.419999999999999 14.1 #
point $430 8.560000000000005 4.809999999999996 13.949999999999999 #
point $431 8.599999999999996 5.440000000000004 13.56 #
point $432 8.689999999999995 4.980000000000004 13.6 #
point $433 8.75 4.530000000000002 13.109999999999999 #
point $434 8.679999999999997 3.779999999999998 12.619999999999999 #
point $435 8.660000000000001 3.439999999999999 12.25 #
point $436 8.599999999999996 3.25 11.85 #
point $437 8.539999999999991 3.439999999999999 11.300000000000001 #
point $438 8.449999999999993 3.680000000000002 10.859999999999999 #
point $439 8.480000000000004 4.070000000000003 10.52 #
point $440 8.550000000000007 4.490000000000002 10.56 #
point $441 8.650000000000004 4.690000000000004 11.130000000000001 #
refinement $442 0 0 0.5 0 0 0 4 0 #
refinement $443 0 0 0.5 0 0 0 4 0 #
edge $444 $445 $445 $-1 $446 0 #
point $447 14.585870088348216 -1.3266411462945435e-013 12.665496858934072 #
edge $448 $449 $450 $-1 $451 0 #
body $452 $453 $-1 $454 #
rh material-rh entity $455 4 5 plain5 color-4 1 0 0 5 phong14 ambient factor-2 1 14 diffuse
factor-2 0.75 I5 specular factor-2 0.5 8 exponent-2 10 14 specular color-4 1 1 4 none4 none#
wcs $456 -0.0074693915255749669 0.98595968137585821 0.1668164107378346 0.049787387950779659
0.16698084851580972 -0.98470229624490002 -0.99873190806706302 0.00095022637117530943 -
0.050335602495324261 21.02 2.080000000000001 13.26 1 1 0 0 #
edge $457 $458 $458 $-1 $459 0 #
point $460 21.045573544622691 4.091378099800151 12.79055393533001 #
body $461 $462 $-1 $463 #
rh material-rh entity $464 4 5 plain5 color-4 0 1 1 5 phong14 ambient factor-2 1 14 diffuse
factor-2 0.75 I5 specular factor-2 0.5 8 exponent-2 10 14 specular color-4 1 1 4 none4 none#
rgb_color-st-attrib $-1 $465 $-1 $0 0 1 1 #
rgb_color-st-attrib $-1 $466 $-1 $1 0 1 1 #
rgb_color-st-attrib $-1 $467 $-1 $2 0 1 1 #
rgb_color-st-attrib $-1 $468 $-1 $3 0 1 1 #
rgb_color-st-attrib $-1 $469 $-1 $4 0 1 1 #
display_attribute-st-attrib $-1 $470 $-1 $5 2 #
display_attribute-st-attrib $-1 $471 $-1 $6 2 #
display_attribute-st-attrib $-1 $472 $-1 $7 2 #
display_attribute-st-attrib $-1 $473 $-1 $8 2 #
display_attribute-st-attrib $-1 $474 $-1 $9 2 #
display_attribute-st-attrib $-1 $475 $-1 $10 2 #
display_attribute-st-attrib $-1 $476 $-1 $11 2 #
display_attribute-st-attrib $-1 $477 $-1 $12 2 #
display_attribute-st-attrib $-1 $478 $-1 $13 2 #

```



```

display_attribute-st-attrib $-1 $675 $-1 $210 2 #
display_attribute-st-attrib $-1 $676 $-1 $211 2 #
display_attribute-st-attrib $-1 $677 $-1 $212 2 #
display_attribute-st-attrib $-1 $678 $-1 $213 2 #
display_attribute-st-attrib $-1 $679 $-1 $214 2 #
rgb_color-st-attrib $-1 $680 $-1 $215 0 1 1 #
rgb_color-st-attrib $-1 $681 $-1 $216 0 1 1 #
display_attribute-st-attrib $-1 $682 $-1 $217 1 #
vertex $-1 $217 $683 #
ellipse-curve $-1 14.585870088348216 -1.3266411462945435e-013 12.665496858934072 0 1
1.0474450083328143e-014 -1.7034189501586638 3.3227707329229891e-014 -3.1722627025658756 1 I I #
display_attribute-st-attrib $-1 $684 $-1 $218 1 #
display_attribute-st-attrib $-1 $685 $-1 $219 1 #
vertex $-1 $219 $686 #
vertex $-1 $219 $687 #
straight-curve $-1 14.585870088348216 -1.3266411462945435e-013 12.665496858934072
0.0304584346554541 0.999491224689119 0.009464434889874947 I I #
f_body-lwd-attrib $-1 $688 $-1 $220 #
lump $-1 $-1 $689 $220 #
transform $-1 1 0 0 0 1.0552614887526101e-014 -1 0 1 1.0552614887526101e-014 14.585870088348216
5.0499999999999332 12.665496858934125 1 1 0 0 #
named_string attribute-named attribute-st-attrib $-1 $690 $-1 $221 4 name15 <Default Color>#
display_attribute-st-attrib $-1 $691 $-1 $222 2 #
display_attribute-st-attrib $-1 $692 $-1 $223 1 #
vertex $-1 $223 $693 #
ellipse-curve $-1 21.045573544622691 4.091378099800151 12.79055393533001 -0.99873190806706302
0.00095022637117535877 -0.050335602495324094 -0.047410967224166711 -2.031940236438019
0.90234427145277785 1 I I #
display_attribute-st-attrib $-1 $694 $-1 $224 1 #
f_body-lwd-attrib $-1 $695 $-1 $225 #
lump $-1 $-1 $696 $225 #
transform $-1 -0.0074693915255749296 0.98595968137585821 0.1668164107378346 0.04978738795077961
0.16698084851580972 -0.98470229624490013 -0.99873190806706313 0.00095022637117533806 -
0.050335602495324205 14.785424901625234 4.0973342110248003 12.47504548795756 1 1 0 0 #
named_string attribute-named attribute-st-attrib $-1 $697 $-1 $226 4 name15 <Default Color>#
line_type-vsc-attrib $-1 $698 $227 $0 0 #
line_type-vsc-attrib $-1 $699 $228 $1 0 #
line_type-vsc-attrib $-1 $700 $229 $2 0 #
line_type-vsc-attrib $-1 $701 $230 $3 0 #
line_type-vsc-attrib $-1 $702 $231 $4 0 #
rgb_color-st-attrib $-1 $703 $232 $5 0 1 1 #
rgb_color-st-attrib $-1 $704 $233 $6 0 1 1 #
rgb_color-st-attrib $-1 $705 $234 $7 0 1 1 #
rgb_color-st-attrib $-1 $706 $235 $8 0 1 1 #
rgb_color-st-attrib $-1 $707 $236 $9 0 1 1 #
rgb_color-st-attrib $-1 $708 $237 $10 0 1 1 #
rgb_color-st-attrib $-1 $709 $238 $11 0 1 1 #
rgb_color-st-attrib $-1 $710 $239 $12 0 1 1 #
rgb_color-st-attrib $-1 $711 $240 $13 0 1 1 #
rgb_color-st-attrib $-1 $712 $241 $14 0 1 1 #
rgb_color-st-attrib $-1 $713 $242 $15 0 1 1 #
rgb_color-st-attrib $-1 $714 $243 $16 0 1 1 #
rgb_color-st-attrib $-1 $715 $244 $17 0 1 1 #
rgb_color-st-attrib $-1 $716 $245 $18 0 1 1 #
rgb_color-st-attrib $-1 $717 $246 $19 0 1 1 #
rgb_color-st-attrib $-1 $718 $247 $20 0 1 1 #
rgb_color-st-attrib $-1 $719 $248 $21 0 1 1 #
rgb_color-st-attrib $-1 $720 $249 $22 0 1 1 #
rgb_color-st-attrib $-1 $721 $250 $23 0 1 1 #
rgb_color-st-attrib $-1 $722 $251 $24 0 1 1 #
rgb_color-st-attrib $-1 $723 $252 $25 0 1 1 #
rgb_color-st-attrib $-1 $724 $253 $26 0 1 1 #
rgb_color-st-attrib $-1 $725 $254 $27 0 1 1 #
rgb_color-st-attrib $-1 $726 $255 $28 0 1 1 #
rgb_color-st-attrib $-1 $727 $256 $29 0 1 1 #
rgb_color-st-attrib $-1 $728 $257 $30 0 1 1 #
rgb_color-st-attrib $-1 $729 $258 $31 0 1 1 #
rgb_color-st-attrib $-1 $730 $259 $32 0 1 1 #
rgb_color-st-attrib $-1 $731 $260 $33 0 1 1 #
rgb_color-st-attrib $-1 $732 $261 $34 0 1 1 #
rgb_color-st-attrib $-1 $733 $262 $35 0 1 1 #
rgb_color-st-attrib $-1 $734 $263 $36 0 1 1 #
rgb_color-st-attrib $-1 $735 $264 $37 0 1 1 #
rgb_color-st-attrib $-1 $736 $265 $38 0 1 1 #
rgb_color-st-attrib $-1 $737 $266 $39 0 1 1 #
rgb_color-st-attrib $-1 $738 $267 $40 0 1 1 #
rgb_color-st-attrib $-1 $739 $268 $41 0 1 1 #
rgb_color-st-attrib $-1 $740 $269 $42 0 1 1 #
rgb_color-st-attrib $-1 $741 $270 $43 0 1 1 #
rgb_color-st-attrib $-1 $742 $271 $44 0 1 1 #
rgb_color-st-attrib $-1 $743 $272 $45 0 1 1 #
rgb_color-st-attrib $-1 $744 $273 $46 0 1 1 #
rgb_color-st-attrib $-1 $745 $274 $47 0 1 1 #
rgb_color-st-attrib $-1 $746 $275 $48 0 1 1 #
rgb_color-st-attrib $-1 $747 $276 $49 0 1 1 #
rgb_color-st-attrib $-1 $748 $277 $50 0 1 1 #
rgb_color-st-attrib $-1 $749 $278 $51 0 1 1 #
rgb_color-st-attrib $-1 $750 $279 $52 0 1 1 #
rgb_color-st-attrib $-1 $751 $280 $53 0 1 1 #
rgb_color-st-attrib $-1 $752 $281 $54 0 1 1 #
rgb_color-st-attrib $-1 $753 $282 $55 0 1 1 #
rgb_color-st-attrib $-1 $754 $283 $56 0 1 1 #
rgb_color-st-attrib $-1 $755 $284 $57 0 1 1 #
rgb_color-st-attrib $-1 $756 $285 $58 0 1 1 #
rgb_color-st-attrib $-1 $757 $286 $59 0 1 1 #
rgb_color-st-attrib $-1 $758 $287 $60 0 1 1 #
rgb_color-st-attrib $-1 $759 $288 $61 0 1 1 #
rgb_color-st-attrib $-1 $760 $289 $62 0 1 1 #

```



```

rgb_color-st-attrib $-1 $859 $388 $161 0 1 1 #
rgb_color-st-attrib $-1 $860 $389 $162 0 1 1 #
rgb_color-st-attrib $-1 $861 $390 $163 0 1 1 #
rgb_color-st-attrib $-1 $862 $391 $164 0 1 1 #
rgb_color-st-attrib $-1 $863 $392 $165 0 1 1 #
rgb_color-st-attrib $-1 $864 $393 $166 0 1 1 #
rgb_color-st-attrib $-1 $865 $394 $167 0 1 1 #
rgb_color-st-attrib $-1 $866 $395 $168 0 1 1 #
rgb_color-st-attrib $-1 $867 $396 $169 0 1 1 #
rgb_color-st-attrib $-1 $868 $397 $170 0 1 1 #
rgb_color-st-attrib $-1 $869 $398 $171 0 1 1 #
rgb_color-st-attrib $-1 $870 $399 $172 0 1 1 #
rgb_color-st-attrib $-1 $871 $400 $173 0 1 1 #
rgb_color-st-attrib $-1 $872 $401 $174 0 1 1 #
rgb_color-st-attrib $-1 $873 $402 $175 0 1 1 #
rgb_color-st-attrib $-1 $874 $403 $176 0 1 1 #
rgb_color-st-attrib $-1 $875 $404 $177 0 1 1 #
rgb_color-st-attrib $-1 $876 $405 $178 0 1 1 #
rgb_color-st-attrib $-1 $877 $406 $179 0 1 1 #
rgb_color-st-attrib $-1 $878 $407 $180 0 1 1 #
rgb_color-st-attrib $-1 $879 $408 $181 0 1 1 #
rgb_color-st-attrib $-1 $880 $409 $182 0 1 1 #
rgb_color-st-attrib $-1 $881 $410 $183 0 1 1 #
rgb_color-st-attrib $-1 $882 $411 $184 0 1 1 #
rgb_color-st-attrib $-1 $883 $412 $185 0 1 1 #
rgb_color-st-attrib $-1 $884 $413 $186 0 1 1 #
rgb_color-st-attrib $-1 $885 $414 $187 0 1 1 #
rgb_color-st-attrib $-1 $886 $415 $188 0 1 1 #
rgb_color-st-attrib $-1 $887 $416 $189 0 1 1 #
rgb_color-st-attrib $-1 $888 $417 $190 0 1 1 #
rgb_color-st-attrib $-1 $889 $418 $191 0 1 1 #
rgb_color-st-attrib $-1 $890 $419 $192 0 1 1 #
rgb_color-st-attrib $-1 $891 $420 $193 0 1 1 #
rgb_color-st-attrib $-1 $892 $421 $194 0 1 1 #
rgb_color-st-attrib $-1 $893 $422 $195 0 1 1 #
rgb_color-st-attrib $-1 $894 $423 $196 0 1 1 #
rgb_color-st-attrib $-1 $895 $424 $197 0 1 1 #
rgb_color-st-attrib $-1 $896 $425 $198 0 1 1 #
rgb_color-st-attrib $-1 $897 $426 $199 0 1 1 #
rgb_color-st-attrib $-1 $898 $427 $200 0 1 1 #
rgb_color-st-attrib $-1 $899 $428 $201 0 1 1 #
rgb_color-st-attrib $-1 $900 $429 $202 0 1 1 #
rgb_color-st-attrib $-1 $901 $430 $203 0 1 1 #
rgb_color-st-attrib $-1 $902 $431 $204 0 1 1 #
rgb_color-st-attrib $-1 $903 $432 $205 0 1 1 #
rgb_color-st-attrib $-1 $904 $433 $206 0 1 1 #
rgb_color-st-attrib $-1 $905 $434 $207 0 1 1 #
rgb_color-st-attrib $-1 $906 $435 $208 0 1 1 #
rgb_color-st-attrib $-1 $907 $436 $209 0 1 1 #
rgb_color-st-attrib $-1 $908 $437 $210 0 1 1 #
rgb_color-st-attrib $-1 $909 $438 $211 0 1 1 #
rgb_color-st-attrib $-1 $910 $439 $212 0 1 1 #
rgb_color-st-attrib $-1 $911 $440 $213 0 1 1 #
rgb_color-st-attrib $-1 $912 $441 $214 0 1 1 #
line_type-vsc-attrib $-1 $913 $442 $215 0 #
line_type-vsc-attrib $-1 $914 $443 $216 0 #
rgb_color-st-attrib $-1 $915 $444 $217 0 0 1 #
point $-1 12.882451138189552 -9.9436407300224456e-014 9.4932341563681959 #
rgb_color-st-attrib $-1 $916 $447 $218 0 0 1 #
rgb_color-st-attrib $-1 $917 $448 $219 0 0 1 #
point $-1 14.585870088348216 -1.3266411462945435e-013 12.665496858934072 #
point $-1 14.890000000000001 9.980000000000004 12.76 #
render_lwd-attrib $-1 $918 $452 $220 $221 $-1 0 1 1 0 0 0 1.0552614887526101e-014 -1 0 1
1.0552614887526101e-014 14.585870088348216 5.0499999999999332 12.665496858934125 1 1 0 0 #
shell $-1 $-1 $-1 $919 $453 #
rgb_color-st-attrib $-1 $920 $455 $221 0 0 1 #
rgb_color-st-attrib $-1 $921 $456 $222 1 1 0 #
rgb_color-st-attrib $-1 $922 $457 $223 1 1 0 #
point $-1 20.998162577398524 2.059437863362132 13.692898206782788 #
rgb_color-st-attrib $-1 $923 $460 $224 1 1 0 #
render_lwd-attrib $-1 $924 $461 $225 $226 $-1 0 1 -0.0074693915255749296 0.98595968137585821
0.1668164107378346 0.04978738795077961 0.16698084851580972 -0.98470229624490013
0.99873190806706313 0.00095022637117533806 -0.050335602495324205 14.785424901625234
4.0973342110248003 12.47504548795756 1 1 0 0 #
shell $-1 $-1 $-1 $925 $462 #
rgb_color-st-attrib $-1 $926 $464 $226 1 1 0 #
id_attribute-st-attrib $-1 $-1 $465 $0 16 #
id_attribute-st-attrib $-1 $-1 $466 $1 17 #
id_attribute-st-attrib $-1 $-1 $467 $2 18 #
id_attribute-st-attrib $-1 $-1 $468 $3 19 #
named_string_attribute-named_attribute-st-attrib $-1 $927 $469 $4 5 layer7 Layer 1#
line_type-vsc-attrib $-1 $928 $470 $5 0 #
line_type-vsc-attrib $-1 $929 $471 $6 0 #
line_type-vsc-attrib $-1 $930 $472 $7 0 #
line_type-vsc-attrib $-1 $931 $473 $8 0 #
line_type-vsc-attrib $-1 $932 $474 $9 0 #
line_type-vsc-attrib $-1 $933 $475 $10 0 #
line_type-vsc-attrib $-1 $934 $476 $11 0 #
line_type-vsc-attrib $-1 $935 $477 $12 0 #
line_type-vsc-attrib $-1 $936 $478 $13 0 #
line_type-vsc-attrib $-1 $937 $479 $14 0 #
line_type-vsc-attrib $-1 $938 $480 $15 0 #
line_type-vsc-attrib $-1 $939 $481 $16 0 #
line_type-vsc-attrib $-1 $940 $482 $17 0 #
line_type-vsc-attrib $-1 $941 $483 $18 0 #
line_type-vsc-attrib $-1 $942 $484 $19 0 #
line_type-vsc-attrib $-1 $943 $485 $20 0 #
line_type-vsc-attrib $-1 $944 $486 $21 0 #

```

line_type-vsc-attrib	\$-1	\$945	\$487	\$22	0	#
line_type-vsc-attrib	\$-1	\$946	\$488	\$23	0	#
line_type-vsc-attrib	\$-1	\$947	\$489	\$24	0	#
line_type-vsc-attrib	\$-1	\$948	\$490	\$25	0	#
line_type-vsc-attrib	\$-1	\$949	\$491	\$26	0	#
line_type-vsc-attrib	\$-1	\$950	\$492	\$27	0	#
line_type-vsc-attrib	\$-1	\$951	\$493	\$28	0	#
line_type-vsc-attrib	\$-1	\$952	\$494	\$29	0	#
line_type-vsc-attrib	\$-1	\$953	\$495	\$30	0	#
line_type-vsc-attrib	\$-1	\$954	\$496	\$31	0	#
line_type-vsc-attrib	\$-1	\$955	\$497	\$32	0	#
line_type-vsc-attrib	\$-1	\$956	\$498	\$33	0	#
line_type-vsc-attrib	\$-1	\$957	\$499	\$34	0	#
line_type-vsc-attrib	\$-1	\$958	\$500	\$35	0	#
line_type-vsc-attrib	\$-1	\$959	\$501	\$36	0	#
line_type-vsc-attrib	\$-1	\$960	\$502	\$37	0	#
line_type-vsc-attrib	\$-1	\$961	\$503	\$38	0	#
line_type-vsc-attrib	\$-1	\$962	\$504	\$39	0	#
line_type-vsc-attrib	\$-1	\$963	\$505	\$40	0	#
line_type-vsc-attrib	\$-1	\$964	\$506	\$41	0	#
line_type-vsc-attrib	\$-1	\$965	\$507	\$42	0	#
line_type-vsc-attrib	\$-1	\$966	\$508	\$43	0	#
line_type-vsc-attrib	\$-1	\$967	\$509	\$44	0	#
line_type-vsc-attrib	\$-1	\$968	\$510	\$45	0	#
line_type-vsc-attrib	\$-1	\$969	\$511	\$46	0	#
line_type-vsc-attrib	\$-1	\$970	\$512	\$47	0	#
line_type-vsc-attrib	\$-1	\$971	\$513	\$48	0	#
line_type-vsc-attrib	\$-1	\$972	\$514	\$49	0	#
line_type-vsc-attrib	\$-1	\$973	\$515	\$50	0	#
line_type-vsc-attrib	\$-1	\$974	\$516	\$51	0	#
line_type-vsc-attrib	\$-1	\$975	\$517	\$52	0	#
line_type-vsc-attrib	\$-1	\$976	\$518	\$53	0	#
line_type-vsc-attrib	\$-1	\$977	\$519	\$54	0	#
line_type-vsc-attrib	\$-1	\$978	\$520	\$55	0	#
line_type-vsc-attrib	\$-1	\$979	\$521	\$56	0	#
line_type-vsc-attrib	\$-1	\$980	\$522	\$57	0	#
line_type-vsc-attrib	\$-1	\$981	\$523	\$58	0	#
line_type-vsc-attrib	\$-1	\$982	\$524	\$59	0	#
line_type-vsc-attrib	\$-1	\$983	\$525	\$60	0	#
line_type-vsc-attrib	\$-1	\$984	\$526	\$61	0	#
line_type-vsc-attrib	\$-1	\$985	\$527	\$62	0	#
line_type-vsc-attrib	\$-1	\$986	\$528	\$63	0	#
line_type-vsc-attrib	\$-1	\$987	\$529	\$64	0	#
line_type-vsc-attrib	\$-1	\$988	\$530	\$65	0	#
line_type-vsc-attrib	\$-1	\$989	\$531	\$66	0	#
line_type-vsc-attrib	\$-1	\$990	\$532	\$67	0	#
line_type-vsc-attrib	\$-1	\$991	\$533	\$68	0	#
line_type-vsc-attrib	\$-1	\$992	\$534	\$69	0	#
line_type-vsc-attrib	\$-1	\$993	\$535	\$70	0	#
line_type-vsc-attrib	\$-1	\$994	\$536	\$71	0	#
line_type-vsc-attrib	\$-1	\$995	\$537	\$72	0	#
line_type-vsc-attrib	\$-1	\$996	\$538	\$73	0	#
line_type-vsc-attrib	\$-1	\$997	\$539	\$74	0	#
line_type-vsc-attrib	\$-1	\$998	\$540	\$75	0	#
line_type-vsc-attrib	\$-1	\$999	\$541	\$76	0	#
line_type-vsc-attrib	\$-1	\$1000	\$542	\$77	0	#
line_type-vsc-attrib	\$-1	\$1001	\$543	\$78	0	#
line_type-vsc-attrib	\$-1	\$1002	\$544	\$79	0	#
line_type-vsc-attrib	\$-1	\$1003	\$545	\$80	0	#
line_type-vsc-attrib	\$-1	\$1004	\$546	\$81	0	#
line_type-vsc-attrib	\$-1	\$1005	\$547	\$82	0	#
line_type-vsc-attrib	\$-1	\$1006	\$548	\$83	0	#
line_type-vsc-attrib	\$-1	\$1007	\$549	\$84	0	#
line_type-vsc-attrib	\$-1	\$1008	\$550	\$85	0	#
line_type-vsc-attrib	\$-1	\$1009	\$551	\$86	0	#
line_type-vsc-attrib	\$-1	\$1010	\$552	\$87	0	#
line_type-vsc-attrib	\$-1	\$1011	\$553	\$88	0	#
line_type-vsc-attrib	\$-1	\$1012	\$554	\$89	0	#
line_type-vsc-attrib	\$-1	\$1013	\$555	\$90	0	#
line_type-vsc-attrib	\$-1	\$1014	\$556	\$91	0	#
line_type-vsc-attrib	\$-1	\$1015	\$557	\$92	0	#
line_type-vsc-attrib	\$-1	\$1016	\$558	\$93	0	#
line_type-vsc-attrib	\$-1	\$1017	\$559	\$94	0	#
line_type-vsc-attrib	\$-1	\$1018	\$560	\$95	0	#
line_type-vsc-attrib	\$-1	\$1019	\$561	\$96	0	#
line_type-vsc-attrib	\$-1	\$1020	\$562	\$97	0	#
line_type-vsc-attrib	\$-1	\$1021	\$563	\$98	0	#
line_type-vsc-attrib	\$-1	\$1022	\$564	\$99	0	#
line_type-vsc-attrib	\$-1	\$1023	\$565	\$100	0	#
line_type-vsc-attrib	\$-1	\$1024	\$566	\$101	0	#
line_type-vsc-attrib	\$-1	\$1025	\$567	\$102	0	#
line_type-vsc-attrib	\$-1	\$1026	\$568	\$103	0	#
line_type-vsc-attrib	\$-1	\$1027	\$569	\$104	0	#
line_type-vsc-attrib	\$-1	\$1028	\$570	\$105	0	#
line_type-vsc-attrib	\$-1	\$1029	\$571	\$106	0	#
line_type-vsc-attrib	\$-1	\$1030	\$572	\$107	0	#
line_type-vsc-attrib	\$-1	\$1031	\$573	\$108	0	#
line_type-vsc-attrib	\$-1	\$1032	\$574	\$109	0	#
line_type-vsc-attrib	\$-1	\$1033	\$575	\$110	0	#
line_type-vsc-attrib	\$-1	\$1034	\$576	\$111	0	#
line_type-vsc-attrib	\$-1	\$1035	\$577	\$112	0	#
line_type-vsc-attrib	\$-1	\$1036	\$578	\$113	0	#
line_type-vsc-attrib	\$-1	\$1037	\$579	\$114	0	#
line_type-vsc-attrib	\$-1	\$1038	\$580	\$115	0	#
line_type-vsc-attrib	\$-1	\$1039	\$581	\$116	0	#
line_type-vsc-attrib	\$-1	\$1040	\$582	\$117	0	#
line_type-vsc-attrib	\$-1	\$1041	\$583	\$118	0	#
line_type-vsc-attrib	\$-1	\$1042	\$584	\$119	0	#


```

named_string attribute-named attribute-st-attrib $-1 $1340 $887 $189 5 layer7 Layer 1#
named_string attribute-named attribute-st-attrib $-1 $1341 $888 $190 5 layer7 Layer 1#
named_string attribute-named attribute-st-attrib $-1 $1342 $889 $191 5 layer7 Layer 1#
named_string attribute-named attribute-st-attrib $-1 $1343 $890 $192 5 layer7 Layer 1#
named_string attribute-named attribute-st-attrib $-1 $1344 $891 $193 5 layer7 Layer 1#
named_string attribute-named attribute-st-attrib $-1 $1345 $892 $194 5 layer7 Layer 1#
named_string attribute-named attribute-st-attrib $-1 $1346 $893 $195 5 layer7 Layer 1#
named_string attribute-named attribute-st-attrib $-1 $1347 $894 $196 5 layer7 Layer 1#
named_string attribute-named attribute-st-attrib $-1 $1348 $895 $197 5 layer7 Layer 1#
named_string attribute-named attribute-st-attrib $-1 $1349 $896 $198 5 layer7 Layer 1#
named_string attribute-named attribute-st-attrib $-1 $1350 $897 $199 5 layer7 Layer 1#
named_string attribute-named attribute-st-attrib $-1 $1351 $898 $200 5 layer7 Layer 1#
named_string attribute-named attribute-st-attrib $-1 $1352 $899 $201 5 layer7 Layer 1#
named_string attribute-named attribute-st-attrib $-1 $1353 $900 $202 5 layer7 Layer 1#
named_string attribute-named attribute-st-attrib $-1 $1354 $901 $203 5 layer7 Layer 1#
named_string attribute-named attribute-st-attrib $-1 $1355 $902 $204 5 layer7 Layer 1#
named_string attribute-named attribute-st-attrib $-1 $1356 $903 $205 5 layer7 Layer 1#
named_string attribute-named attribute-st-attrib $-1 $1357 $904 $206 5 layer7 Layer 1#
named_string attribute-named attribute-st-attrib $-1 $1358 $905 $207 5 layer7 Layer 1#
named_string attribute-named attribute-st-attrib $-1 $1359 $906 $208 5 layer7 Layer 1#
named_string attribute-named attribute-st-attrib $-1 $1360 $907 $209 5 layer7 Layer 1#
named_string attribute-named attribute-st-attrib $-1 $1361 $908 $210 5 layer7 Layer 1#
named_string attribute-named attribute-st-attrib $-1 $1362 $909 $211 5 layer7 Layer 1#
named_string attribute-named attribute-st-attrib $-1 $1363 $910 $212 5 layer7 Layer 1#
named_string attribute-named attribute-st-attrib $-1 $1364 $911 $213 5 layer7 Layer 1#
named_string attribute-named attribute-st-attrib $-1 $1365 $912 $214 5 layer7 Layer 1#
named_string attribute-named attribute-st-attrib $-1 $1366 $915 $217 5 layer7 Layer 1#
named_string attribute-named attribute-st-attrib $-1 $1367 $916 $218 5 layer7 Layer 1#
named_string attribute-named attribute-st-attrib $-1 $1368 $917 $219 5 layer7 Layer 1#
rgb color-st-attrib $-1 $1369 $918 $220 0 0 1 #
fface-lwd-attrib $-1 $-1 $-1 $919 #
face $1370 $-1 $1371 $689 $-1 $1372 forward single #
loop $-1 $1373 $1374 $919 #
cone-surface $-1 0 0 0 0 0 1 1.8080538858578254 0 0 1 I I -0.33707742944448854
0.94147692832012397 0 I I I I #
id attribute-st-attrib $-1 $-1 $920 $221 240 #
id attribute-st-attrib $-1 $-1 $921 $222 243 #
named_string attribute-named attribute-st-attrib $-1 $1375 $922 $223 5 layer7 Layer 1#
named_string attribute-named attribute-st-attrib $-1 $1376 $923 $224 5 layer7 Layer 1#
rgb color-st-attrib $-1 $1377 $924 $225 1 1 0 #
fface-lwd-attrib $-1 $-1 $-1 $925 #
face $1378 $1379 $1380 $696 $-1 $1381 forward single #
loop $-1 $1382 $1383 $925 #
cone-surface $-1 0 0 0 0 0 1 2.25433223833305 0 0 1 I I 0 1 0 I I I I #
id attribute-st-attrib $-1 $-1 $926 $226 248 #
id attribute-st-attrib $-1 $-1 $928 $5 21 #
id attribute-st-attrib $-1 $-1 $929 $6 22 #
id attribute-st-attrib $-1 $-1 $930 $7 23 #
id attribute-st-attrib $-1 $-1 $931 $8 24 #
id attribute-st-attrib $-1 $-1 $932 $9 25 #
id attribute-st-attrib $-1 $-1 $933 $10 26 #
id attribute-st-attrib $-1 $-1 $934 $11 27 #
id attribute-st-attrib $-1 $-1 $935 $12 28 #
id attribute-st-attrib $-1 $-1 $936 $13 29 #
id attribute-st-attrib $-1 $-1 $937 $14 30 #
id attribute-st-attrib $-1 $-1 $938 $15 31 #
id attribute-st-attrib $-1 $-1 $939 $16 32 #
id attribute-st-attrib $-1 $-1 $940 $17 33 #
id attribute-st-attrib $-1 $-1 $941 $18 34 #
id attribute-st-attrib $-1 $-1 $942 $19 35 #
id attribute-st-attrib $-1 $-1 $943 $20 36 #
id attribute-st-attrib $-1 $-1 $944 $21 37 #
id attribute-st-attrib $-1 $-1 $945 $22 38 #
id attribute-st-attrib $-1 $-1 $946 $23 39 #
id attribute-st-attrib $-1 $-1 $947 $24 40 #
id attribute-st-attrib $-1 $-1 $948 $25 41 #
id attribute-st-attrib $-1 $-1 $949 $26 42 #
id attribute-st-attrib $-1 $-1 $950 $27 43 #
id attribute-st-attrib $-1 $-1 $951 $28 44 #
id attribute-st-attrib $-1 $-1 $952 $29 45 #
id attribute-st-attrib $-1 $-1 $953 $30 46 #
id attribute-st-attrib $-1 $-1 $954 $31 47 #
id attribute-st-attrib $-1 $-1 $955 $32 48 #
id attribute-st-attrib $-1 $-1 $956 $33 49 #
id attribute-st-attrib $-1 $-1 $957 $34 50 #
id attribute-st-attrib $-1 $-1 $958 $35 51 #
id attribute-st-attrib $-1 $-1 $959 $36 52 #
id attribute-st-attrib $-1 $-1 $960 $37 53 #
id attribute-st-attrib $-1 $-1 $961 $38 54 #
id attribute-st-attrib $-1 $-1 $962 $39 55 #
id attribute-st-attrib $-1 $-1 $963 $40 56 #
id attribute-st-attrib $-1 $-1 $964 $41 57 #
id attribute-st-attrib $-1 $-1 $965 $42 58 #
id attribute-st-attrib $-1 $-1 $966 $43 59 #
id attribute-st-attrib $-1 $-1 $967 $44 60 #
id attribute-st-attrib $-1 $-1 $968 $45 61 #
id attribute-st-attrib $-1 $-1 $969 $46 62 #
id attribute-st-attrib $-1 $-1 $970 $47 63 #
id attribute-st-attrib $-1 $-1 $971 $48 64 #
id attribute-st-attrib $-1 $-1 $972 $49 65 #
id attribute-st-attrib $-1 $-1 $973 $50 66 #
id attribute-st-attrib $-1 $-1 $974 $51 67 #
id attribute-st-attrib $-1 $-1 $975 $52 68 #
id attribute-st-attrib $-1 $-1 $976 $53 69 #
id attribute-st-attrib $-1 $-1 $977 $54 70 #
id attribute-st-attrib $-1 $-1 $978 $55 71 #
id attribute-st-attrib $-1 $-1 $979 $56 72 #
id attribute-st-attrib $-1 $-1 $980 $57 73 #

```



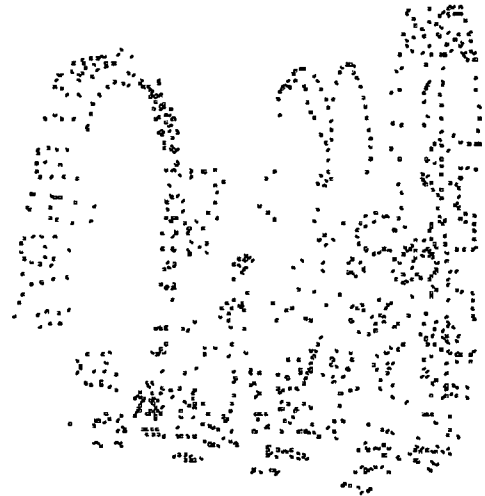
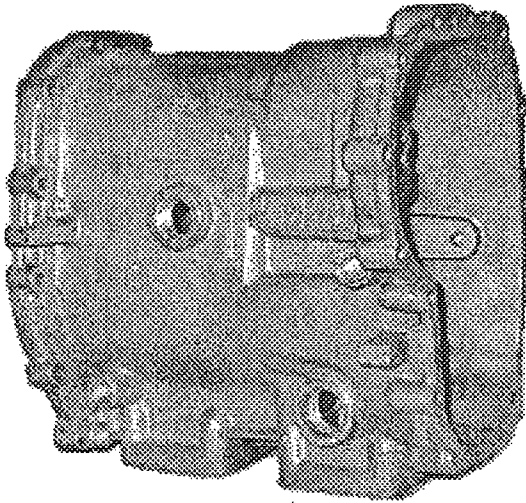
```

id_attribute-st-attrib $-1 $-1 $1079 $156 172 #
id_attribute-st-attrib $-1 $-1 $1080 $157 173 #
id_attribute-st-attrib $-1 $-1 $1081 $158 174 #
id_attribute-st-attrib $-1 $-1 $1082 $159 175 #
id_attribute-st-attrib $-1 $-1 $1083 $160 176 #
id_attribute-st-attrib $-1 $-1 $1084 $161 177 #
id_attribute-st-attrib $-1 $-1 $1085 $162 178 #
id_attribute-st-attrib $-1 $-1 $1086 $163 179 #
id_attribute-st-attrib $-1 $-1 $1087 $164 180 #
id_attribute-st-attrib $-1 $-1 $1088 $165 181 #
id_attribute-st-attrib $-1 $-1 $1089 $166 182 #
id_attribute-st-attrib $-1 $-1 $1090 $167 183 #
id_attribute-st-attrib $-1 $-1 $1091 $168 184 #
id_attribute-st-attrib $-1 $-1 $1092 $169 185 #
id_attribute-st-attrib $-1 $-1 $1093 $170 186 #
id_attribute-st-attrib $-1 $-1 $1094 $171 187 #
id_attribute-st-attrib $-1 $-1 $1095 $172 188 #
id_attribute-st-attrib $-1 $-1 $1096 $173 189 #
id_attribute-st-attrib $-1 $-1 $1097 $174 190 #
id_attribute-st-attrib $-1 $-1 $1098 $175 191 #
id_attribute-st-attrib $-1 $-1 $1099 $176 192 #
id_attribute-st-attrib $-1 $-1 $1100 $177 193 #
id_attribute-st-attrib $-1 $-1 $1101 $178 194 #
id_attribute-st-attrib $-1 $-1 $1102 $179 195 #
id_attribute-st-attrib $-1 $-1 $1103 $180 196 #
id_attribute-st-attrib $-1 $-1 $1104 $181 197 #
id_attribute-st-attrib $-1 $-1 $1105 $182 198 #
id_attribute-st-attrib $-1 $-1 $1106 $183 199 #
id_attribute-st-attrib $-1 $-1 $1107 $184 200 #
id_attribute-st-attrib $-1 $-1 $1108 $185 201 #
id_attribute-st-attrib $-1 $-1 $1109 $186 202 #
id_attribute-st-attrib $-1 $-1 $1110 $187 203 #
id_attribute-st-attrib $-1 $-1 $1111 $188 204 #
id_attribute-st-attrib $-1 $-1 $1112 $189 205 #
id_attribute-st-attrib $-1 $-1 $1113 $190 206 #
id_attribute-st-attrib $-1 $-1 $1114 $191 207 #
id_attribute-st-attrib $-1 $-1 $1115 $192 208 #
id_attribute-st-attrib $-1 $-1 $1116 $193 209 #
id_attribute-st-attrib $-1 $-1 $1117 $194 210 #
id_attribute-st-attrib $-1 $-1 $1118 $195 211 #
id_attribute-st-attrib $-1 $-1 $1119 $196 212 #
id_attribute-st-attrib $-1 $-1 $1120 $197 213 #
id_attribute-st-attrib $-1 $-1 $1121 $198 214 #
id_attribute-st-attrib $-1 $-1 $1122 $199 215 #
id_attribute-st-attrib $-1 $-1 $1123 $200 216 #
id_attribute-st-attrib $-1 $-1 $1124 $201 217 #
id_attribute-st-attrib $-1 $-1 $1125 $202 218 #
id_attribute-st-attrib $-1 $-1 $1126 $203 219 #
id_attribute-st-attrib $-1 $-1 $1127 $204 220 #
id_attribute-st-attrib $-1 $-1 $1128 $205 221 #
id_attribute-st-attrib $-1 $-1 $1129 $206 222 #
id_attribute-st-attrib $-1 $-1 $1130 $207 223 #
id_attribute-st-attrib $-1 $-1 $1131 $208 224 #
id_attribute-st-attrib $-1 $-1 $1132 $209 225 #
id_attribute-st-attrib $-1 $-1 $1133 $210 226 #
id_attribute-st-attrib $-1 $-1 $1134 $211 227 #
id_attribute-st-attrib $-1 $-1 $1135 $212 228 #
id_attribute-st-attrib $-1 $-1 $1136 $213 229 #
id_attribute-st-attrib $-1 $-1 $1137 $214 230 #
id_attribute-st-attrib $-1 $-1 $1138 $217 233 #
id_attribute-st-attrib $-1 $-1 $1139 $218 234 #
id_attribute-st-attrib $-1 $-1 $1140 $219 235 #
line_type-vsc-attrib $-1 $1384 $1141 $220 0 #
fface_lwd-attrib $-1 $-1 $-1 $1143 #
loop $-1 $-1 $1385 $1143 #
plane-surface $-1 0 0 -5.0500000000000664 0 0 -1 -1 0 0 0 I I I I #
loop $-1 $-1 $1386 $919 #
coedge $1387 $1374 $1374 $1385 $1388 1 $1144 $-1 #
id_attribute-st-attrib $-1 $-1 $1148 $223 244 #
id_attribute-st-attrib $-1 $-1 $1149 $224 245 #
line_type-vsc-attrib $-1 $1389 $1150 $225 0 #
fface_lwd-attrib $-1 $-1 $-1 $1152 #
face $1390 $-1 $1391 $696 $-1 $1392 forward single #
loop $-1 $-1 $1393 $1152 #
plane-surface $-1 0 0 -6.2680971664490954 0 0 -1 -1 0 0 0 I I I I #
loop $-1 $-1 $1394 $925 #
coedge $1395 $1383 $1383 $1393 $1396 1 $1153 $-1 #
named_string attribute-named attribute-st-attrib $-1 $1397 $1369 $220 5 layer7 Layer 1#
coedge $1398 $1385 $1385 $1374 $1388 0 $1371 $-1 #
coedge $1399 $1386 $1386 $-1 $1400 1 $1373 $-1 #
copar_lwd-attrib $-1 $-1 $-1 $1374 #
edge $1401 $1402 $1402 $1385 $1403 0 #
named_string attribute-named attribute-st-attrib $-1 $1404 $1377 $225 5 layer7 Layer 1#
fface_lwd-attrib $-1 $-1 $-1 $1379 #
loop $-1 $-1 $1405 $1379 #
plane-surface $-1 0 0 6.2680971664490954 0 0 1 1 0 0 0 I I I I #
coedge $1406 $1393 $1393 $1383 $1396 0 $1380 $-1 #
coedge $1407 $1394 $1394 $1405 $1408 1 $1382 $-1 #
copar_lwd-attrib $-1 $-1 $-1 $1383 #
edge $1409 $1410 $1410 $1393 $1411 0 #
id_attribute-st-attrib $-1 $-1 $1384 $220 236 #
copar_lwd-attrib $-1 $-1 $-1 $1385 #
copar_lwd-attrib $-1 $-1 $-1 $1386 #
edge $1412 $1413 $1413 $1386 $-1 0 #
epar_lwd-attrib $-1 $1414 $-1 $1388 #
vertex $-1 $1388 $1415 #
ellipse-curve $-1 0 0 -5.0500000000000664 0 0 -1 3.6161077717156509 0 0 1 I I #
id_attribute-st-attrib $-1 $-1 $1389 $225 247 #

```

```
coedge $1416 $1405 $1405 $1394 $1408 0 $1391 $-1 #
copar-lwd-attrib $-1 $-1 $-1 $1393 #
copar-lwd-attrib $-1 $-1 $-1 $1394 #
edge $1417 $1418 $1418 $1405 $1419 0 #
epar-lwd-attrib $-1 $1420 $-1 $1396 #
vertex $-1 $1396 $1421 #
ellipse-curve $-1 0 0 -6.2680971664490954 0 0 -1 2.2543322383305 0 0 1 I I #
epar-lwd-attrib $-1 $1422 $-1 $1400 #
vertex $-1 $1400 $1423 #
line type-vsc-attrib $-1 $-1 $1401 $1388 0 #
point $-1 3.6161077717156509 0 -5.0500000000000664 #
copar-lwd-attrib $-1 $-1 $-1 $1405 #
epar-lwd-attrib $-1 $1424 $-1 $1408 #
vertex $-1 $1408 $1425 #
ellipse-curve $-1 0 0 6.2680971664490954 0 0 1 2.2543322383305 0 0 1 I I #
line type-vsc-attrib $-1 $-1 $1409 $1396 0 #
point $-1 2.2543322383305 0 -6.2680971664490954 #
line type-vsc-attrib $-1 $-1 $1412 $1400 0 #
point $-1 0 0 5.0500000000000664 #
line type-vsc-attrib $-1 $-1 $1417 $1408 0 #
point $-1 2.2543322383305 0 6.2680971664490954 #
End-of-ACIS-data
```

A.3 PONTOS DA CARÇAÇA (FORMATO TEXTO)



PRIMEIRA FIXAÇÃO:

X	Y	Z
202.17	12.19	46.94
196.59	12.95	43.54
193.12	21.65	44.36
183.10	26.44	46.04
183.22	27.21	62.45
191.66	22.33	65.79
196.52	13.68	66.19
201.54	12.51	64.03
202.00	5.08	63.52
195.60	7.72	104.76
192.99	13.94	104.59
187.77	14.76	102.78
184.32	22.93	103.57
175.41	27.31	101.70
169.63	26.71	120.68
183.13	25.00	123.96
184.33	17.17	127.14
189.37	16.61	126.39
190.01	9.46	126.44
185.19	10.00	154.30
179.84	10.82	168.15
177.01	11.07	177.38
177.18	20.14	176.75
179.74	19.08	167.06
158.83	33.45	169.53
168.63	24.88	160.35
169.19	24.32	168.26
168.60	27.27	168.65
152.36	38.88	171.21
139.96	43.01	170.23
142.24	44.02	137.94
153.05	39.05	115.92
159.37	39.15	76.81
147.04	45.19	66.03
179.03	24.56	167.61
178.35	27.66	160.24
178.73	37.24	156.84
181.57	46.49	102.95
173.26	44.58	101.51
173.86	48.72	98.33
184.63	50.16	94.41
184.18	53.91	168.57
177.33	59.88	160.67
178.80	59.30	153.61
182.12	58.67	135.16
181.29	65.65	121.74
178.44	75.75	114.62
178.97	89.74	109.95
179.63	103.32	115.83
178.29	110.54	129.64
177.47	113.89	140.90
177.53	117.95	152.44
179.01	123.34	166.01
178.97	119.85	171.03
180.59	128.91	176.72
179.66	142.15	177.17
194.21	158.05	176.95
196.30	163.15	170.65
182.18	151.14	159.58
180.04	145.96	155.02

SEGUNDA FIXAÇÃO:

X	Y	Z
16.77	291.51	116.63
11.05	291.72	129.30
21.03	291.76	138.13
19.09	278.53	130.10
17.87	265.95	125.43
26.93	255.39	123.59
25.35	248.70	118.86
25.08	247.85	113.98
24.61	251.64	107.94
23.46	257.35	103.73
22.64	273.85	103.27
16.66	276.29	105.28
10.29	257.93	115.42
19.92	281.64	130.59
20.08	275.89	131.34
22.25	274.30	146.00
37.94	273.19	163.06
39.76	274.98	154.45
38.94	274.23	156.41
40.84	280.90	155.10
40.93	281.47	161.70
41.15	280.60	167.73
44.97	279.24	167.11
90.36	278.10	170.94
100.28	279.16	171.86
142.43	277.90	169.12
141.91	266.89	169.55
101.35	264.97	171.49
103.65	263.11	162.91
95.76	263.77	170.93
93.43	263.89	164.37
61.20	264.79	161.29
56.74	252.16	159.61
50.94	238.61	161.00
56.90	242.90	161.14
64.60	243.51	162.00
92.25	243.14	163.27
95.78	242.27	171.18
101.21	242.37	171.21
104.42	242.37	163.39
136.53	242.24	161.04
141.45	240.36	161.39
144.70	235.50	160.17
148.28	230.79	160.03
142.98	221.54	157.78
142.64	220.69	171.83
142.32	197.56	171.22
142.37	175.75	170.61
142.10	174.85	150.14
142.54	168.39	147.97
146.01	162.15	153.82
145.93	160.28	160.54
144.29	158.17	161.22
141.15	156.05	161.35
139.56	147.08	160.63
131.84	141.30	161.49
125.02	141.17	161.03
117.09	148.60	160.63
115.82	155.31	161.31
102.67	156.05	162.09

178.27	140.67	154.03	100.68	157.23	177.56
178.90	136.35	142.58	93.41	157.92	177.34
178.92	146.22	141.41	90.10	156.80	161.92
179.33	152.26	141.02	56.43	157.73	162.11
178.97	156.98	136.56	49.97	161.90	160.62
179.57	158.29	131.89	54.24	160.57	149.89
179.29	159.00	126.82	51.60	166.95	148.89
177.03	160.48	122.91	49.31	168.36	157.42
173.81	163.12	118.13	50.34	173.36	173.31
175.53	164.33	112.43	51.41	231.47	177.40
174.54	166.25	108.17	50.39	232.47	163.27
174.34	167.22	101.62	52.72	239.02	162.57
176.47	169.45	95.33	52.35	238.02	176.33
387.52	64.09	-25.18	54.68	236.60	189.98
182.14	192.13	80.30	59.80	239.98	189.77
188.49	198.30	88.24	63.93	240.40	189.59
186.79	207.40	89.46	134.17	241.24	188.61
185.79	212.93	86.32	151.25	245.81	180.94
185.33	212.00	80.15	154.84	244.07	180.45
186.24	208.95	74.93	145.90	234.36	188.54
185.83	200.97	69.58	146.57	229.24	188.98
182.72	196.53	68.66	145.43	171.97	188.01
191.83	198.75	65.10	146.01	167.55	187.65
189.93	197.82	36.25	144.98	162.16	186.08
190.76	197.35	33.62	142.07	158.96	186.77
189.39	194.54	29.31	139.39	157.06	187.06
189.16	187.02	27.27	139.14	152.72	186.97
186.42	95.44	33.77	135.40	144.80	187.07
187.91	90.57	36.69	118.78	150.53	188.36
187.18	87.08	41.76	118.31	157.38	188.51
179.23	94.48	32.47	60.00	159.54	188.55
180.86	88.48	35.32	54.56	161.05	188.57
179.63	84.31	41.24	51.50	162.88	186.33
184.40	83.32	53.34	51.08	167.10	187.28
177.31	87.69	72.08	59.09	176.78	188.45
176.51	82.15	75.22	64.33	175.97	187.61
175.27	78.08	79.86	67.35	172.82	188.35
172.82	78.36	88.11	67.80	169.87	188.85
169.85	80.88	95.46	127.63	167.76	187.66
170.40	82.03	97.23	130.74	172.35	188.35
175.27	85.44	98.26	134.08	175.21	188.22
186.62	96.34	96.02	136.49	176.57	188.83
187.40	84.30	96.29	136.18	220.81	188.33
190.69	81.10	89.50	132.43	223.45	188.93
189.60	80.55	83.89	129.74	226.60	188.91
189.17	82.87	79.06	127.26	230.28	187.58
187.77	89.64	77.33	68.50	231.20	190.64
187.43	95.77	79.00	66.38	225.84	190.35
182.78	94.82	76.95	63.62	223.33	188.60
183.80	91.58	46.74	60.10	223.12	188.98
184.89	92.01	43.54	48.83	221.13	145.06
176.30	97.00	73.30	54.21	215.08	153.43
180.72	95.12	43.01	54.52	204.57	157.89
186.19	92.84	34.96	54.60	192.00	157.25
176.99	139.04	40.03	54.68	183.98	152.68
173.90	165.57	41.07	50.82	179.14	143.68
173.15	187.36	40.12	50.56	177.76	130.81
173.43	191.07	40.62	49.82	183.42	117.08
171.80	194.00	40.89	37.42	192.60	114.07
172.23	194.27	42.08	35.20	200.22	112.71
174.73	193.34	43.07	20.12	218.03	115.14
170.36	194.00	68.38	34.53	216.77	119.48
172.21	172.58	68.19	35.10	221.49	126.74
173.87	124.77	71.10	35.61	220.11	126.83
172.36	130.11	86.21	36.44	221.16	133.84
176.37	136.78	76.67	35.22	218.38	144.78
177.81	141.31	74.52	34.83	214.67	149.52
171.58	155.47	81.24	34.68	205.70	154.05
172.57	160.46	82.35	35.46	195.39	153.89
174.46	192.30	79.88	35.28	185.95	149.27
166.13	183.26	112.26	34.55	182.08	141.97
167.17	185.52	104.85	35.06	180.11	130.81
166.03	196.59	105.35	35.01	185.64	120.84
165.57	199.29	111.02	34.63	193.13	116.55
166.81	195.68	117.85	34.53	199.68	115.15
167.02	186.27	117.34	35.54	207.48	115.82
165.75	225.57	102.61	35.65	214.75	120.10
165.55	232.34	109.88	34.83	226.93	123.98
165.23	228.71	117.65	29.38	232.00	121.92
165.90	220.30	116.81	27.73	225.95	110.86
165.46	217.15	112.55	35.92	221.91	115.46
165.47	219.92	105.61	35.00	212.73	108.62
161.95	274.18	123.11	27.09	214.68	103.67
163.53	275.04	129.34	26.74	200.30	100.90
161.43	283.09	128.75	35.04	199.90	106.28
165.76	282.25	122.20	23.69	187.78	107.54
166.67	290.36	121.09	34.90	191.46	107.69
162.14	291.29	128.86	33.97	184.82	119.77
162.87	279.76	121.88	35.95	178.23	120.05
163.68	264.27	122.24	31.00	160.69	120.40
165.23	259.26	117.93	46.25	161.38	121.35
172.23	255.43	104.58	35.41	148.02	125.81
167.36	261.06	100.62	56.33	152.53	130.28
168.52	277.42	95.35	52.30	160.52	135.19
174.14	280.27	102.66	63.64	155.35	136.05
172.06	290.21	102.61	54.31	161.84	149.54
172.24	290.79	96.79	64.90	155.98	151.56
173.54	281.54	96.92	61.10	120.73	155.11

165.98	279.92	97.88	60.02	117.11	148.88
167.92	263.17	95.14	57.56	110.86	149.69
169.31	255.14	86.93	60.79	108.10	142.52
173.45	229.23	82.08	60.09	102.24	148.79
175.11	220.89	78.18	60.37	99.84	155.42
169.39	233.42	78.75	60.40	101.23	160.21
173.08	252.87	76.49	60.34	99.14	167.94
176.07	253.43	67.71	45.70	48.30	170.18
173.27	259.57	67.55	44.07	48.76	163.77
171.62	256.54	64.54	50.27	52.17	145.94
175.08	256.07	53.61	47.19	52.33	135.30
176.24	259.83	48.58	42.23	47.95	118.96
173.04	276.11	47.49	32.80	30.10	130.23
182.92	279.27	47.75	45.71	22.71	133.09
181.99	287.06	47.79	57.27	28.35	135.30
188.99	286.80	53.63	57.91	34.50	144.76
187.19	287.99	61.16	51.97	44.61	145.22
184.77	287.91	66.24	25.39	40.24	141.48
200.61	288.71	68.14	25.11	32.59	135.05
200.33	267.14	69.52	25.15	32.41	126.04
201.08	259.48	73.80	25.18	39.84	121.06
200.95	257.41	79.92	26.89	50.06	120.07
201.45	257.45	85.81	25.77	54.14	125.59
200.88	259.65	92.50	25.83	54.38	131.73
200.88	264.95	96.47	25.58	52.06	139.12
200.15	271.88	97.57	25.95	44.06	142.36
199.84	280.65	97.94	50.60	40.06	170.35
200.71	290.32	95.38	55.51	35.29	171.75
200.27	276.14	87.95	58.20	33.64	171.57
200.65	270.50	90.07	61.36	33.46	172.28
200.66	268.64	88.19	95.55	32.71	176.16
200.75	265.29	85.45	122.28	33.61	174.45
201.20	264.66	80.00	125.72	33.01	171.56
201.43	268.72	75.37	129.66	32.92	166.86
199.27	273.80	77.54	132.21	32.84	163.43
200.19	277.36	83.88	173.02	10.67	176.20
200.67	276.29	87.45	146.76	33.01	162.99
172.47	274.42	32.04	146.51	27.60	162.17
172.96	273.14	15.10	147.82	23.31	162.27
170.99	257.86	15.11	148.51	19.20	162.67
171.93	252.23	8.23	148.46	21.98	157.73
170.50	252.45	-1.93	163.07	23.00	153.79
169.03	258.90	-5.48	156.74	28.50	149.89
169.94	274.20	-9.14	157.39	41.99	148.06
176.56	278.33	-7.96	148.40	42.05	151.66
176.62	285.04	-6.94	140.13	39.58	160.34
184.17	284.98	-3.14	132.68	34.70	162.72
187.29	285.57	3.62	134.04	26.02	162.49
183.23	286.69	10.58	173.72	9.72	177.38
178.68	285.09	12.91	143.37	10.61	178.48
177.40	278.12	13.68	120.39	11.43	179.90
175.29	284.18	-13.21	94.96	12.25	182.02
175.03	277.23	-15.20	58.32	12.73	177.56
168.49	273.28	-17.52	137.12	35.53	186.05
166.37	270.05	-19.83	139.19	37.39	186.16
174.29	269.98	-22.53	142.94	40.06	186.41
174.59	270.22	-34.84	145.15	44.10	186.13
173.65	270.02	-37.26	144.93	110.41	186.31
257.43	231.90	-87.30	143.05	114.99	186.53
331.23	197.39	-126.88	140.20	117.77	186.63
171.93	283.09	-50.77	136.91	119.06	186.74
172.39	275.97	-51.23	58.08	119.97	186.57
165.94	271.94	-50.36	54.03	117.66	187.22
162.08	272.97	-41.53	51.83	115.43	187.02
157.28	265.87	-36.47	50.83	112.59	187.90
168.16	249.53	-37.03	50.48	44.11	187.34
200.86	251.65	-33.27	50.67	39.05	186.81
199.83	252.63	-21.94	53.70	36.91	187.39
199.98	269.85	-23.58	59.12	36.36	187.21
201.35	268.61	-33.09	60.09	55.48	187.15
172.42	253.37	40.34	64.59	53.37	187.35
171.19	240.85	41.85	67.53	49.86	187.30
164.81	234.66	38.58	69.84	46.76	187.26
166.31	231.15	29.88	123.26	45.30	187.56
165.46	232.54	22.64	126.98	49.56	187.99
166.44	234.84	19.75	129.90	52.87	187.62
168.65	238.12	17.34	133.38	55.47	188.80
176.95	240.75	17.57	134.50	96.45	188.91
180.21	247.51	16.48	130.46	98.48	189.09
171.22	250.39	16.27	127.19	101.49	188.50
171.64	255.54	20.22	124.91	107.00	188.43
172.53	259.31	26.01	70.66	108.08	188.06
174.79	257.21	35.43	67.44	104.29	188.07
197.50	255.88	30.06	64.86	100.64	188.05
197.76	249.76	19.69	59.47	98.71	187.83
197.32	243.36	19.47	59.26	58.24	176.45
197.97	238.55	21.32	62.91	55.33	175.55
198.49	237.34	25.15	66.39	52.31	175.50
197.85	236.21	30.55	71.48	45.63	178.49
197.13	240.25	35.44	109.06	51.62	169.31
197.82	244.17	38.48	110.26	54.73	167.90
197.55	251.57	36.46	114.14	59.63	168.12
197.30	256.52	32.18	133.73	95.80	175.24
198.03	255.59	25.18	130.63	97.84	175.18
197.32	252.98	20.80	126.30	101.10	174.59
198.03	248.71	18.42	123.70	105.91	174.81
169.49	238.89	14.65	72.24	107.38	174.57
164.32	169.19	19.21	70.04	103.47	174.18

168.93	161.39	14.91
165.30	158.37	-9.30
163.69	158.05	-31.58
162.71	159.57	-38.50
164.49	165.33	-41.06
164.97	197.98	-42.88
166.38	242.23	-44.20
165.08	246.87	-41.57
166.19	250.15	-37.20
173.00	242.02	-40.52
173.38	245.38	-36.79
177.23	246.92	8.37
177.08	239.69	9.96
179.15	170.54	13.66
178.77	164.15	10.38
173.29	161.11	-31.89
172.00	162.78	-36.08
171.97	165.95	-37.39
172.57	282.93	-51.22
171.10	276.96	-51.08
165.87	271.89	-50.10
165.71	257.33	-51.05
165.69	251.26	-53.32
163.99	261.18	-63.11
161.20	264.66	-75.83
161.45	248.46	-63.98
161.74	251.12	-67.48
161.00	255.14	-70.40
160.71	271.22	-70.31
167.40	276.30	-70.40
166.76	282.14	-70.69
169.18	283.82	-70.78
164.96	282.99	-80.87
160.59	283.29	-89.14
154.80	282.71	-97.53
141.56	280.75	-107.06
138.90	280.97	-115.61
116.88	281.05	-123.25
113.74	273.02	-124.50
108.36	274.73	-125.16
107.60	280.51	-124.69
104.60	275.86	-118.60
103.68	281.00	-119.13
87.00	274.27	-118.34
85.84	280.08	-118.31
85.40	273.86	-125.12
84.15	279.52	-125.76
76.42	272.28	-127.61
75.46	279.61	-128.29
58.37	280.79	-121.14
33.09	280.64	-121.37
10.15	279.28	-121.43
2.35	279.79	-113.96
-11.52	279.84	-108.24
-26.82	280.85	-102.27
-37.80	278.81	-101.43
-43.50	279.09	-98.03
-46.02	279.24	-93.98
-45.39	279.81	-84.33
-50.00	280.22	-76.01
-54.27	280.63	-68.40
-58.21	280.77	-60.14
-60.72	281.53	-51.97
-66.41	281.66	-48.60
-69.16	281.28	-42.02
-67.25	281.92	-36.94
-61.68	282.08	-31.10
-60.15	282.32	-24.44
-58.92	282.52	-17.85
-56.47	283.55	-10.25
-53.58	283.75	-2.69
-50.16	283.76	4.75
-52.46	284.19	9.91
-49.25	283.88	18.83
-42.74	285.61	19.94
-35.76	284.38	21.41
-30.36	285.17	26.51
-22.95	285.31	31.13
-14.72	285.58	35.12
-8.21	285.38	38.69
-6.85	286.87	45.39
-4.20	286.28	49.48
0.50	286.26	52.38
2.49	286.41	61.15
3.20	287.24	74.25
5.08	287.45	82.11
5.85	288.28	91.38
0.29	288.95	98.21
0.16	288.87	104.34
6.05	289.12	111.00
28.95	290.43	141.99
29.71	291.03	150.28
31.19	291.73	154.09
23.13	285.24	152.37
23.79	285.47	149.71
4.72	298.21	139.70
7.22	284.68	133.58
4.58	281.49	117.96

65.60	99.59	173.98
62.60	98.29	173.89
55.98	120.20	161.58
76.60	127.56	158.80
82.30	112.77	178.18
99.39	120.06	176.76
102.80	120.76	162.95
138.93	119.68	163.86
144.99	111.00	178.69
143.74	41.80	177.20
152.36	37.35	175.64
154.62	27.56	176.92
175.69	24.04	177.40
170.22	79.18	115.13
169.28	91.48	120.01
166.14	98.36	131.85
164.64	100.41	140.17
162.37	101.84	151.78
159.39	102.63	158.74
155.01	103.67	162.89
139.47	104.21	165.71
140.07	105.03	170.78
138.85	77.06	170.58
138.73	77.43	163.34
137.81	49.05	170.60
139.65	48.68	166.56
157.92	49.52	158.98
165.24	51.34	152.09
168.14	53.22	138.58
169.87	59.11	123.83

6.88	287.78	117.87
5.13	289.05	113.20
0.42	283.33	108.35
-1.98	275.96	107.15
11.60	253.26	102.38
15.01	254.27	92.90
15.94	254.28	105.70
10.99	252.90	96.52
11.56	258.72	93.04
14.22	261.78	90.41
13.52	275.42	88.53
13.15	274.71	85.51
5.11	272.39	83.07
-26.70	268.93	72.48
-27.21	269.80	62.60
-27.18	252.28	65.49
9.43	252.69	66.06
8.41	250.48	67.80
9.46	250.09	69.72
12.06	248.74	74.34
-27.73	253.97	74.10
-8.10	263.34	52.72
6.64	276.43	58.23
5.40	276.53	54.09
7.51	259.18	52.83
8.41	254.64	51.88
6.85	252.78	46.16
6.32	252.97	39.02
0.34	259.66	32.23
-3.90	274.58	33.90
-9.23	279.67	40.66
-24.62	279.07	31.31
-35.70	277.96	21.36
-24.57	276.04	23.81
-21.71	261.99	22.82
-42.13	260.89	20.22
-53.11	264.71	16.59
-53.31	263.66	8.37
-44.18	260.07	1.67
-45.10	273.71	0.75
-51.39	279.18	4.57
-58.08	276.66	-9.25
-50.10	274.27	-11.40
-48.56	260.50	-11.75
-45.43	254.73	-17.34
-47.53	254.24	-31.87
-53.36	260.05	-29.26
-55.01	272.88	-29.06
-64.29	275.43	-31.80
-71.35	273.26	-42.26
-70.78	273.86	-37.44
-69.17	274.74	-46.97
-61.46	274.33	-51.76
-54.19	271.53	-49.99
-50.56	257.54	-49.96
-48.77	252.69	-48.71
-41.87	252.81	-63.43
-45.86	256.38	-64.10
-48.49	269.80	-65.22
-41.38	269.39	-77.82
-39.75	257.06	-78.46
-31.61	252.38	-76.87
-42.37	255.32	-84.65
-46.88	257.01	-94.54
-39.92	256.31	-99.58
-26.89	257.10	-99.22
-28.30	271.98	-100.60
-14.34	271.91	-108.38
-13.25	268.23	-101.39
-13.20	256.81	-100.21
3.50	257.62	-104.45
2.84	269.50	-105.43
1.13	272.83	-112.85
7.78	274.57	-120.56
10.73	260.00	-120.57
33.42	257.08	-121.03
57.87	259.73	-121.44
75.06	258.74	-126.65
84.00	269.31	-127.49
97.34	271.23	-127.33
108.01	263.96	-126.34
112.79	256.42	-125.99
112.47	249.26	-126.20
109.81	242.28	-126.18
103.98	236.49	-125.25
94.03	233.79	-126.36
84.67	234.74	-126.01
77.62	240.61	-125.97
75.28	248.74	-126.94
163.36	199.68	-54.53
161.55	200.15	-63.14
159.26	200.20	-69.85
154.72	198.34	-76.71
148.54	198.15	-84.78
139.99	197.45	-92.48
132.98	196.77	-97.28
120.50	195.62	-102.74
104.73	196.18	-105.39

94.27	195.83	-105.62
78.67	198.58	-106.18
68.95	198.28	-104.37
58.81	198.55	-100.47
49.77	197.94	-95.31
41.58	198.97	-88.44
35.34	199.36	-80.13
27.48	199.33	-66.32
27.52	163.71	-53.30
34.22	159.24	-66.79
36.88	161.92	-76.35
40.73	157.71	-73.55
46.42	156.93	-78.13
41.79	163.05	-83.39
49.85	163.04	-90.75
53.21	156.13	-82.71
63.28	154.80	-85.27
58.30	161.88	-95.62
67.61	162.94	-99.57
73.68	154.92	-87.54
80.50	156.17	-94.43
77.59	162.66	-102.35
96.14	165.16	-103.16
96.69	157.17	-95.93
106.33	165.52	-102.55
106.10	156.72	-96.34
115.31	156.26	-86.96
119.52	164.38	-99.58
132.35	166.10	-95.32
128.48	155.70	-83.39
135.42	156.74	-80.45
139.35	166.04	-89.51
147.04	168.14	-81.46
156.68	166.88	-67.75
152.05	160.01	-71.09
154.00	166.62	-75.36
157.24	167.22	-68.29
156.09	163.80	-64.17
159.93	164.38	-59.78
162.65	164.60	-51.27
21.80	126.52	-10.89
23.13	113.85	-12.56
23.52	105.45	-7.94
32.28	105.02	9.79
32.30	104.70	25.74
34.69	112.23	38.41
13.58	111.60	28.90
13.43	122.65	28.04
14.48	131.37	19.93
9.14	131.52	3.56
17.49	132.57	-5.22
20.14	124.32	-13.29
7.40	112.62	-9.37
7.43	104.37	-6.85
7.77	97.79	1.27
7.23	97.98	12.85
6.29	103.78	22.11
5.03	113.03	25.60
5.38	120.71	24.40
4.78	128.62	18.29
5.48	133.18	10.35
4.64	131.68	-0.19
4.77	123.70	-9.12
4.91	112.98	-10.29
25.17	164.93	-14.44
21.94	160.26	-9.03
18.08	159.64	9.71
21.22	163.96	13.89
27.39	167.92	17.72
25.14	195.12	17.52
24.14	215.52	17.67
22.20	230.47	19.19
15.22	236.24	16.04
12.82	243.69	12.48
-15.73	251.01	16.17
-15.89	255.29	23.80
-16.05	250.28	35.52
-15.47	244.70	38.49
-14.94	239.35	36.31
-13.90	234.97	33.33
-14.44	233.47	28.86
-14.30	232.35	24.90
-14.36	234.09	20.83
-14.20	237.55	17.27
-14.96	243.31	15.03
8.29	249.02	34.64
8.52	242.45	36.00
10.97	235.15	34.50
10.25	224.11	42.80
11.40	207.27	43.81
10.24	194.26	43.91
13.21	159.84	46.68
12.52	220.39	64.03
12.70	203.63	62.91
13.13	192.58	63.24
14.92	158.44	67.25
-8.52	-0.31	99.24
-11.13	3.64	89.99

-7.52	3.45	83.75
-10.30	3.39	69.54
-10.79	2.82	59.66
-13.66	2.61	54.76
-12.70	0.97	48.65
-9.99	1.25	44.68
-6.27	-0.65	24.96
-6.56	0.78	14.01
-4.28	-0.38	-1.96
-6.19	0.40	-8.28
-3.96	-0.46	-15.98
-2.84	-1.59	-18.88
1.14	-1.48	-41.55
9.34	-2.54	-66.98
9.44	-2.40	-73.07
12.58	-2.64	-76.98
17.68	-3.17	-78.97
29.14	-2.28	-91.95
40.55	-2.68	-98.63
61.32	-2.98	-106.30
65.27	-2.37	-109.29
85.23	-2.54	-109.85
110.64	-2.34	-109.31
132.24	-1.35	-107.81
136.68	-0.99	-105.19
150.50	-0.43	-99.75
161.74	-0.54	-92.96
163.10	0.43	-83.72
161.97	5.31	-85.21
172.80	4.83	-75.37
172.23	1.16	-73.26
180.60	0.42	-73.76
187.02	0.76	-67.43
186.91	1.04	-62.57
193.32	2.37	-42.51
196.57	3.21	-14.18
200.51	3.77	-6.81
198.24	4.25	1.17
197.77	3.27	15.88
201.54	2.53	30.16
202.78	6.97	49.58
193.49	16.76	30.82
223.72	20.94	31.34
225.41	20.61	20.75
224.24	37.76	20.24
223.96	39.22	29.61
180.37	24.54	32.56
177.88	39.56	31.07
176.34	38.88	17.10
177.54	25.76	15.85
190.69	21.21	16.51
194.40	16.11	18.42
196.10	12.89	0.86
190.37	13.55	4.98
189.04	20.07	2.80
199.08	21.58	-6.55
197.87	20.60	-14.91
185.88	19.70	-17.97
190.21	12.08	-18.40
196.19	10.53	-16.98
192.35	10.96	-42.25
187.07	11.26	-42.48
187.20	16.69	-48.49
175.08	21.06	-48.21
168.69	21.12	-57.84
180.38	17.24	-59.59
185.75	8.64	-61.07
188.67	7.89	-64.19
182.69	6.50	-76.68
183.74	13.57	-77.82
174.37	5.59	-83.80
173.82	13.08	-86.78
166.65	4.61	-95.49
160.34	6.87	-95.97
150.00	6.02	-99.73
142.85	4.67	-102.82
136.91	5.14	-105.61
139.53	8.28	-98.28
138.14	13.99	-97.87
152.73	13.40	-95.56
166.65	12.90	-94.59
175.80	12.74	-87.02
183.62	14.94	-76.27
166.67	15.40	-78.62
161.16	14.96	-86.51
151.20	14.72	-91.86
138.90	16.01	-98.86
136.25	15.26	-108.68
132.75	15.79	-110.80
90.20	11.04	-117.93
73.11	10.31	-117.02
61.32	15.53	-108.71
57.90	15.32	-100.48
58.74	6.82	-101.02
59.97	4.65	-107.04
41.52	4.35	-99.74
43.54	5.90	-95.25
44.99	15.81	-94.46

34.08	16.12	-87.48
32.72	6.52	-88.77
29.55	6.10	-92.27
17.44	5.15	-81.19
24.50	6.60	-80.92
25.67	16.79	-80.73
11.36	17.47	-78.22
7.91	17.70	-71.63
12.26	16.89	-61.76
9.98	8.19	-62.03
7.76	4.89	-66.01
1.06	5.99	-43.96
6.46	8.29	-42.57
7.41	17.71	-43.15
2.72	18.49	-20.22
2.55	9.69	-20.57
-3.05	5.84	-19.80
-6.62	6.98	-10.09
-5.80	19.55	-7.92
0.60	9.80	0.31
0.82	19.01	-1.16
-0.71	15.70	14.65
-31.19	16.82	16.38
-31.75	15.83	25.64
-2.43	14.00	28.95
-2.83	20.39	29.36
11.76	23.19	29.64
13.40	37.60	28.22
-32.67	33.48	25.66
-30.97	32.26	17.25
15.20	37.07	16.41
14.77	22.62	14.67
-1.19	19.75	13.88
-10.99	8.59	43.69
-5.09	11.33	42.24
-4.81	20.96	42.35
-13.86	20.50	50.35
-12.53	20.74	57.31
-5.05	21.08	61.61
-5.50	12.33	61.61
-11.36	10.05	60.93
-9.22	10.34	76.35
-1.07	12.90	73.84
7.78	13.59	94.16
1.60	10.61	96.76
5.61	11.64	104.72
10.50	15.52	101.69
11.04	24.02	101.09
7.61	23.76	93.72
-1.16	21.95	71.18
-3.33	21.32	57.17
19.00	24.12	90.72
10.30	24.53	68.85
9.45	24.32	49.78
15.89	20.72	-2.34
22.41	19.66	-39.56
20.35	20.65	-41.32
24.33	20.01	-51.95
27.23	19.31	-59.76
33.27	20.15	-68.04
43.54	20.17	-77.68
53.70	19.75	-84.72
64.28	20.12	-87.36
76.16	19.46	-89.42
82.71	18.68	-98.77
97.56	19.25	-99.41
113.71	19.22	-95.43
120.80	20.46	-88.29
132.74	19.97	-85.13
142.75	20.81	-80.89
151.68	21.69	-75.10
160.73	21.37	-66.27
168.11	21.53	-55.42
171.81	22.40	-43.78

B. ESPECIFICAÇÃO DO FORMATO ACIS 2.1 (.SAT)

Chapter 1.

Introduction

ACIS is an object-oriented geometric modeling toolkit designed for use as a geometry engine within 3D modeling applications. Written in C++, ACIS provides an open architecture framework for wireframe, surface, and solid modeling from a common, unified data structure. Linear and quadric geometry is represented analytically, and nonuniform rational B-splines (NURBS) represents free-form geometry. ACIS supports manifold and nonmanifold topology, as well as bounded, semi-bounded, and unbounded geometry.

This *ACIS Save File Format Manual* describes how to interpret the information stored by ACIS about a model in its external files, called *save files*.



Audience

The *ACIS Save File Format Manual* is intended for use by developers of applications that need to read or write ACIS save files.

Organization

This *ACIS Save File Format Manual* relies heavily on material and background information presented in the *ACIS Geometric Modeler Application Guide*.

This *ACIS Save File Format Manual* is divided into the following chapters, and glossary:

- Chapter 1 *Introduction*, contains general information about the manual and documentation conventions.
- Chapter 2 *Understanding the Save File*, describes the purpose of the save file.
- Chapter 3 *Save File Format*, gives detailed information regarding structure and methodology of the save file.
- Chapter 4 *Save Identifiers and Classes*, describes the save file information for the ACIS kernel and standard ACIS husks.

- Chapter 5 *Enumerations*, lists the enumeration types, the valid text values, and the meaning of integer values used in ACIS.
- Chapter 6 *Examples*, traces through two different save file examples to explain how to look up data.
- Chapter 7 *Constant Definitions and #define's*, list information defined in the header files and used in the save file.

Documentation Conventions

Spatial Technology Inc. (Spatial) has developed conventions for its technical manuals and online documentation. These conventions, which are used throughout all *Spatial* technical documentation, are available to ensure that information is presented consistently. The following sections define and illustrate these conventions.

Fonts and Typefaces

Spatial uses a variety of text fonts and typefaces in its documentation to highlight and differentiate information. These fonts are illustrated and explained below.

- Serif** A proportional font is used in typical paragraphs and unspecified types of material. *Italics* text designates the first use of a term or phrase in a document. Where applicable, a definition follows. **Bold** and *italic* typefaces may also be used for emphasis.
- Sans Serif** A proportional font highlights filenames, functions, variables, macros, classes, keywords, and keyboard keys.
- Sans Serif Bold** A **boldface** proportional font indicates literals, such as commands, options, and keywords.
- Typewriter** A monospaced font shows examples and code reproductions. Examples or reproductions are taken directly from a display and are presented as uppercase and lowercase characters that represent text exactly as seen on the display. Types include: C++ code fragments, Scheme examples, and test harness or other commands. This font is also used in syntax definitions.
- Typewriter Bold** A **boldface** monospaced font in a syntax definition shows the minimum portion of a literal, such as a command or keyword, that must be entered.

Class Names

C++ class names are presented in a Sans Serif font. Examples include ENTITY, par_pos, and transf. Although many class names correspond directly to a type of ACIS geometric modeling object, such as ENTITY, EDGE, and curve, the name is generally presented in a Sans Serif font only when referring specifically to the class or a specific instance of the class, rather than to the type of object in general. For example, "An entity is implemented in the class ENTITY, and a curve is implemented in the class curve."

When the text refers to more than one object instantiated from a given class, the exact class name is presented in the Sans Serif font with an "s" (or "es") appended to the end of the name in a Serif font, as in BODYs, VERTEXes, and transf. For example, "The function takes two EDGES as input arguments and returns two curves."

Some C++ classes have uppercase names and some have lowercase names. ACIS contains some pairs of related classes with similar names, differing only in their case. The uppercase class represents an object that is permanent in the model, while the lowercase class represents an object that is temporary in nature and may be used for a variety of purposes, including constructing a corresponding permanent object. For example, a SPHERE is a permanent object in the model that is constructed using a sphere.

Reference Templates

Spatial presents reference material, which includes functions, classes, Scheme extensions, etc., in standard formats called *templates*. Each type of reference material is presented in a template that contains a set of named information fields applicable to the type of material. For example, all functions are documented in a template containing an *Args Given* field listing each of the function's input arguments.

The template name, or heading, is generally the name of the reference item, such as a function or class name. Explanatory templates that define the contents of each field, including the template name, precede the actual reference templates in the manuals and online help. These explanatory templates are named Function-Template, Class-Template, etc.

Finding Information

Certain methods used in this manual help the user search for information.

The table of contents helps the user find the section headers in each chapter of the manual.

The index contains functions, classes, test harness commands, Scheme extensions, chapter and section headers, and subject information. All indexing is in lowercase except where required.

The index references information by:

- concept Each concept is indexed where it is introduced and defined.
- name Classes, methods, functions, commands, extensions, and options are indexed by their names as well as in a group under functional subjects. Reference items such as these may also be indexed by individual substrings within their names. For example, the extension `abl:fixed-width-rad` is indexed by the substrings “abl,” “fixed,” “width,” and “rad,” in addition to its full name and any associated keywords.
- filenames Where relevant, filenames are indexed.
- headers Chapter and section headers appear in the index as well as in the table of contents.
- keywords Keywords have been selected for various items to show grouping. For example, all of the APIs used for creation are associated with the keyword *create*, which is used in indexing.

Modeling Overview

ACIS is a combination solid, surface, and wireframe modeler. A *solid model* defines an object in terms of its size, shape, density, and physical properties (e.g., weight, volume, center of gravity). A *surface model* defines an object by its visible surfaces, including faces. A *wireframe model* defines an object only by its edges and vertices. The ability to determine whether a position is inside, outside, or on the boundary of a volume distinguishes a solid modeler from surface- or wireframe-only modelers. This concept is called *boundary representation (B-rep)* modeling.

Boundary representation, augmented with the remaining information necessary to make the model complete, provides an environment that treats a computer model as if it were the real item. Determinations can be made about the appearance, mass properties, and behavior of the model. *Modeling functionality* refers to the procedures available to construct, manipulate, and interrogate models.

The ACIS model representation consists of various geometries, topologies, and attributes. The model is implemented in C++ using a hierarchy of classes.

Geometry

Geometry refers to the physical items represented by the model, such as points, curves, and surfaces, independent of their spatial, or topological, relationships. Curves may be analytic curves or spline curves, and surfaces may be analytic surfaces or spline surfaces. The ACIS free-form geometry routines are based on NURBS.

In ACIS, the model's geometry is recorded in C++ classes such as **APOINT**, **CURVE**, **PCURVE**, and **SURFACE**, and their derivations, **ELLIPSE**, **STRAIGHT**, **INTCURVE**, **COMPCURV**, **CONE**, **SPHERE**, **PLANE**, **TORUS**, **SPLINE**, and **MESHSURF**. The object space transformations for a model, which define the position and orientation, are recorded in the class **TRANSFORM**.

Topology

Topology refers to the spatial relationships between the various geometric entities in the model. In ACIS, model topology is recorded in the C++ classes **BODY**, **WIRE**, **LUMP**, **SHELL**, **SUBSHELL**, **FACE**, **LOOP**, **COEDGE**, **EDGE**, and **VERTEX**.

Entities

An *entity* is the most basic ACIS object. It is implemented in the C++ class **ENTITY**. All entities have a common set of functionality, such as the ability to save and restore information about themselves to and from a file, copy themselves, and debug themselves. All other geometric and higher level ACIS objects are derived from **ENTITY**.

Attributes

Attributes are used to attach data to entities. ACIS provides the **ATTRIB** class for user and system attributes. This class performs housekeeping operations to maintain attribute lists attached to model entities. Specific attributes are constructed by defining new classes derived from this base attribute class.

Architectural Overview

ACIS is designed using software component technology. *Components* are collections of related pieces of software that are developed by *Spatial* and its partners around the world. A *product* is one or more components that *Spatial* packages and sells as a separate item.

A *husk* is a modular collection of software that implements some distinct modeling or rendering functionality. A husk may be a separate component or it may be embedded in a component. A husk that is part of a component is called an *embedded husk*, or an *internal husk*. *Spatial* also offers several *optional husks* that may be purchased as separate products and added on to ACIS for additional functionality.

A product corresponds to how the software is packaged and sold, but a component corresponds to how the system is architected and maps to an installed top level file system directory. While components could be packaged differently to form a new product without affecting the system architecture, changes in the pieces that comprise a component could change the architecture.

The **ACIS Geometric Modeler** product consists of a *kernel*, which is the core of the geometric modeler; a variety of embedded husks; and 3DT, which is a collection of husks that offers commonly-needed functionality to ACIS-based applications. It also includes the Rendering Base Husk (Rbase), which is a rendering interface to ACIS that is common across all renderers. The ACIS Test Harness, which is an application used to demonstrate ACIS functionality, is also provided with the product. Figure 1-1 illustrates the grouping of these individual pieces into components of the product, along with the name of the corresponding top level directories.

Since the modeling kernel is separated from the other components and husks, developers can substitute their own functionality when needed without changing the kernel.

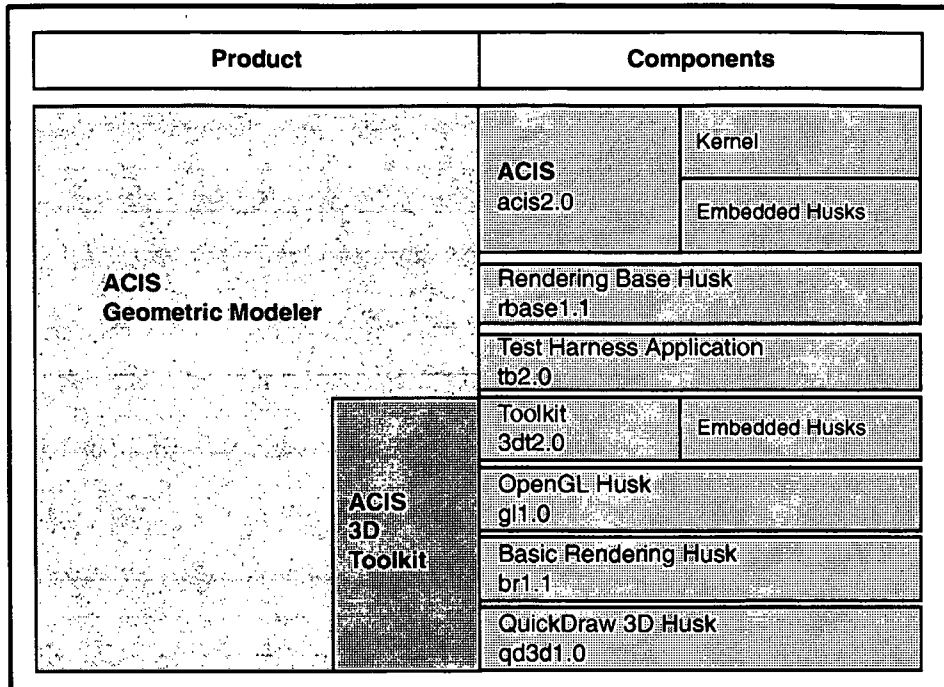


Figure 1-1. Geometric Modeler Components

ACIS Kernel

The **ACIS Kernel** was developed by *Spatial* in conjunction with the world's leading solid modeling experts. The kernel is a geometry engine that provides the functionality common to many modeling applications. Wireframe, surface, and solid models are all represented in the same data structure in the kernel.

The kernel is compact, precise, reliable, fast, and extensible, and is available on all major hardware platforms. It serves as a *geometry bus* that links the core set of functionality to husks and applications because of a common geometric foundation. The geometry bus allows the seamless exchange of geometry data across applications.

The kernel has a procedural interface, as well as an open object interface to the ACIS C++ class structure and a direct function interface. The architecture of the kernel is shown in Figure 1-2.

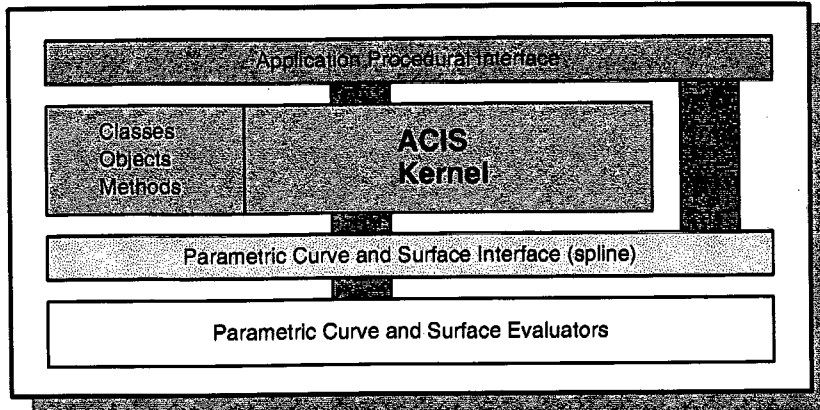


Figure 1-2. ACIS Kernel Architecture

Embedded Husks

ACIS embedded, or internal, husks add a variety of modeling enhancements to the kernel. The embedded husks are:

- Cellular Topology Husk (CT) divides lumps into sets of cells; calculates cell mass properties, area, and boundaries; and groups/ungroups cells.
- Faceter Husk (Faceter) provides surface tessellation of the model for rendering, stereolithography, finite element, and mesh generation.
- Faceted Hidden Line Husk (FHL) provides faceted hidden line calculation for view-dependent operations.
- Generic Attribute Husk (GA) defines a set of generic attributes that allow applications to exchange data that is not supported by the ACIS kernel or husks.
- Persistent Identification Husk (PID) attaches user IDs and date-time stamps (as attributes) that persist across saves and restores of the model.

3D Toolkit

3DT is a collection of husks that supports rapid prototyping and application development. It provides applications the ability to interact easily with ACIS through the use of the Scheme language, to render and view the geometric model as a solid, to manage geometric entities in groups called *parts*, and to create and manipulate a large variety of advanced geometries.

The following husks are embedded in 3DT:

- Geometry Husk (GEO) provides capabilities for advanced curve creation and modification, solid creation, querying, and a working coordinate system separate from the world coordinate system.
- Graphic Interaction Husk (GI) provides display, pick, highlight, grid, view, and rubberband support.
- Part Management Husk (PM) provides basic support for grouping entities into parts.
- Scheme Interpreter Husk (SI) provides a run-time interpreter capability to access Scheme objects, define new Scheme procedures, define new Scheme data types and evaluate Scheme expressions from C++.

The following husks are not embedded in 3DT, but are separate components supplied with 3DT:

- Basic Rendering Husk (BR) provides flat and Gouraud rendering to display the geometric model as a shaded solid.
- OpenGL Rendering Husk (GL) helps produce high quality graphical images with or without hardware support on PC platforms.
- QuickDraw 3D Rendering Husk (QD3D) . . implements software for real-time shading and direct interaction with 3D models in ACIS applications using the QuickDraw 3D renderer on the Macintosh PowerPC platform.

Chapter 2.

Understanding the Save File

ACIS stores geometry information to *save files*. Save files are sometimes referred to as *part save files*. These files have an open format so that external applications, such as those not based on ACIS, can have access to the ACIS geometric model. These applications are then able to read the pure geometric data from or write information to a saved model without negatively impacting the ACIS core routines or other external applications. An example of a non-ACIS based application that needs the geometric model information is one that converts an ACIS model to another model format, or vice versa.

Using the Save File for Other Purposes

With an ACIS file translator or converter in mind, reading and writing are the two primary operations that would be performed on the save file. ACIS tools make these tasks easier, because they already understand the save file format and the underlying classes and structures. If ACIS is not available, the *ACIS Save File Format Manual* provides the basic information needed to accomplish file conversion on your own.

Obviously, reading and writing impose two different approaches as to how you would want to reference the material in this manual. The reading operation requires starting with information (e.g., keywords) in a sequence of a save file, and then tracing in the manual its derived data elements through their parents, determining all data arguments required for each keyword, and then associating these data arguments with the data in that sequence. The writing operation is almost exactly opposite, in that geometric data is probably already available but needs to be somehow transformed into an ACIS-type topology, converted to ACIS data classes given in the manual, associated to ACIS keywords, and then written to the save file in the proper format.

Save File Types

ACIS supports two kinds of save file: *.sat* and *.sab* files. These stand for “save as text” and “save as binary”, respectively. The model data information stored in the two formats is identical.



However, .sat files may be viewed with a simple text editor. White space in the form of spacing between items and carriage returns help readability. A .sab file cannot be viewed with a simple text editor. It is not meant for human readability, but for compactness. A .sab file will not have the white space formatting which “straightens” up the information for human eyes. A .sab file uses different delimiters between elements and binary tags.

Chapter 3.

Description of Save File Format

This chapter covers the actual mechanics of the save file format. It explains the general file structure, how data is encapsulated, and the types of data written.

There are two types of save files denoted by their extension: save as text (.sat) and save as binary (.sab). The data elements of a .sat and a .sab are identical, except that **sab** files store it in a binary form. For the sake of clarity, most of the examples in this manual refer to a .sat file, because these files can be viewed and understood with a simple text editor.

Structure of Save File

A save file consists of a one or two line header record, an end marker for the file, and at least one data record between the header and end marker. If history is turned on and applicable, there may be some history records, as well.

3

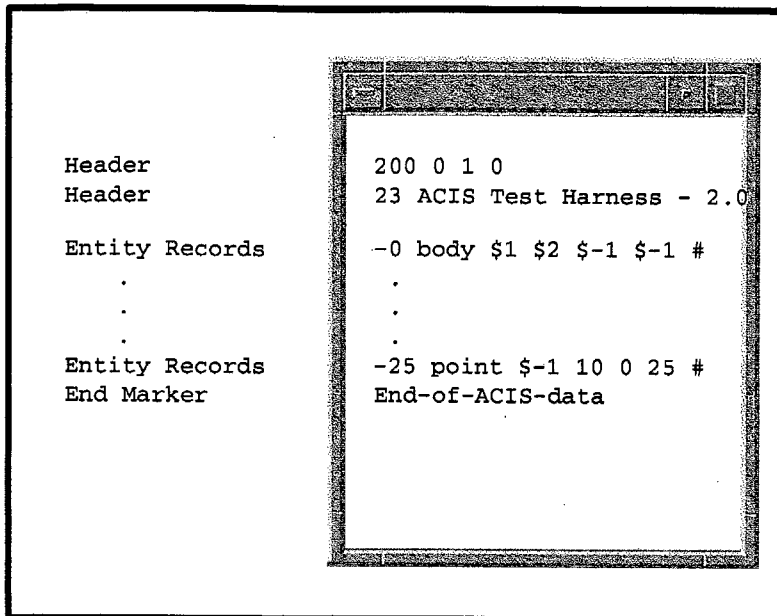


Figure 3-1. ACIS .sat File

Header

The first record of the ACIS part save file is a header, such as:

```
200 0 1 0
```

Integer An encoded version number. In the example, this is "200".

This value is 100 times the major version plus the minor version (e.g., 107 for ACIS version 1.7). For point releases the final value is truncated. Part save data for the .sat files is not affected by a point release (e.g., 105 for ACIS version 1.5.2).

Integer The total number of saved data records, or zero. If zero, then there needs to be an end mark.

Integer A count of the number of entities in the original entity list saved to the part file.

Integer The least significant bit of this number is used to indicate whether or not history has been saved in this save file.

Starting with ACIS 2.0, another record is part of the save file header.

```
23 ACIS Test Harness - 2.0 8 ACIS 2.0 24 Mon Feb 12 13:59:03 1996 25.4
1e-06 1e-10
```

String ID for product which produced file, "23 ACIS Test Harness".

String ACIS version which produced file (may be different from file version), "2.0 8 ACIS 2.0 24".

String Date file produced (in C ctime format), "Mon Feb 12 13:59:03 1996".

Double Number of millimeters represented by each unit in model, "25.4".

Real Value of **resabs** when file produced, "1e-06".

Real Value of **resnor** when file produced, "1e-10".

Entity Record

The header is followed by a sequence of entity records. These records are indexed sequentially starting at 0. Inclusion of the sequence number in the save file is optional. All top level entities must appear before any other entities. Thereafter, the record order is not significant.

```
-0 body $1 $2 $-1 $-1 #
```

```
.
```

```
-25 point $-1 10 0 25 #
```

Pointers between entities are saved as integer index values, with NULL pointers represented by the value -1. ACIS pointer indices are preceded by \$ in the **sat** file, or by a binary Tag 12 in the **sab** file. Refer to a complete breakdown of entity records under the subtitle "Structure of Entity Record" in this chapter.

3

Marker for Begin History Data

When the history save/restore option is turned on, a new section is added to the save file before the **End-of-ACIS-data** marker. This new section comes immediately after the information pertaining to the entities of the active model.

```
Begin-of-ACIS-History-Data
```

The new history section starts with a marker **Begin-of-ACIS-History-Data**. Everything between this section marker and the **End-of-ACIS-History-Section** marker obeys the rules of history save. This is covered in the chapter on classes in the section about history and roll back data.

Marker for End History Data

When the history save/restore option is turned on, a marker `End-of-ACIS-History-Section` immediately follows the history data. Between this marker and the `End-of-ACIS-data` marker may be more entity records. These adhere to the same entity record structure. Refer to a complete breakdown of entity records under the subtitle "*Structure of Entity Record*" in this chapter.

`End-of-ACIS-History-Section`

The purpose for this section of the save file is to list entities which may no longer exist at the active state. However, these entities did exist at some point during the creation of the current model and are necessary for roll back and roll forward operations. Entities that were part of pruned branches are not saved.

End Marker

The last entity record is followed by "`End-of-ACIS-data`" to mark the end of the ACIS save data.

`End-of-ACIS-data`

Structure of Entity Records

Each entity record consists of a sequence number (optional), an entity type identifier, the entity data, and a terminator.

Top level entities (e.g., body entities) are always the first records in the save file. Thereafter, the data records are in no particular order. When using ACIS tools, a call to `api_save_entity_list` with a list of n top level entities always places these entities in the first n records of the save file.

Pointers between data structures are represented by integer indices in the entity records. `NULL` pointers are represented by the integer `-1`. The indices are generated as the entities are being saved. The pointers are reconstructed when the entities are restored.

Optional Sequence Number

The sequencing of the indices in the entity record begins with 0. This sequence number itself can be turned on or off for the entity records in the save file. Even when the sequence number is not written to the file, it is implied by the order of the records in the file. Pointers to other records correspond to these implied sequence numbers.

```
-0 body $1 $2 $-1 $-1 #
.
.
-25 point $-1 10 0 25 #
```

In the example above from a `sat` file, “-0” and “-25” are sequence numbers. In the first line, “\$1 \$2” happen to be pointers to records (not shown) with sequence numbers “-1” and “-2”, respectively.

The optional sequence number represents the index assigned to a record and is intended to improve readability and simplify editing of ACIS save files. The option `sequence_save_files` controls whether ACIS writes sequence numbers to the part save file.

If sequence numbers are turned on, an entity may be deleted by simply removing its record from the save file. Any references to the removed record’s index become `NULL` pointers when the file is restored by ACIS.

With sequence numbers on, records may also be rearrange within the file. However, if sequence numbers are turned off, a record cannot be simply moved or removed from the save file, because this will create invalid index referencing when the file is restored.

A mixture of records with sequence numbers and records without sequence numbers is permitted within the save file. Any record with no sequence number is given an index one greater than the previous entry in the file. Specified sequence numbers can be in any order. However, care must be taken that no sequence number repeat itself, either through manual specification of sequence numbers or the implied incrementing of other, nonspecified, sequence numbers.

Regardless of what sequence numbers they contain, the entities represented by the first records are assumed to be the top-level entities. Top-level entities are part of the ACIS topology. Also, if the total entity count was written in the header and the last record’s sequence number is not one less than that count, a dummy record with a sequence number equal to the count must be added at the end of the file.

3

Entity Encapsulation in a Record

Each record generally encapsulates its information starting from the base `ENTITY` class. Because it is known that the encapsulation (and derivation) starts from `ENTITY`, its identifier is not written. In figure 3-2, this is shown in the middle by the empty double quotation marks, (“”). Therefore, data for `ENTITY` is the first element written.

Starting from inside and going out, the `ENTITY` data is preceded by identifiers and is followed by the data for the identifiers. The identifiers correspond to classes derived directly from `ENTITY`. This type of encapsulation continues for all class derivations until the leaf class is reached.

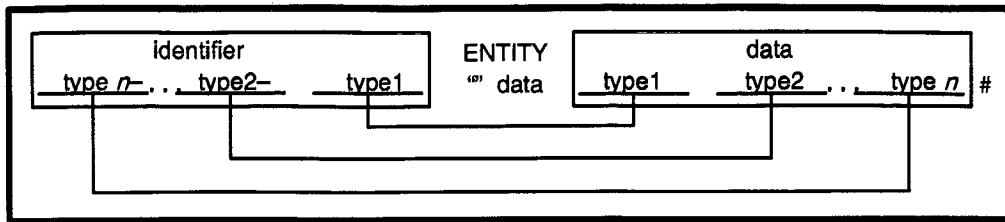


Figure 3-2. Format of Line in Data Record

In figure 3-2 for a *sat* file, the class identifiers are separated from one another with dashes, while their data fields are separated with white space. The white space is typically a space, but may also be a carriage return or new line. Some records are output with carriage returns for readability.

The last element of the record is the terminator character (#).

Save Identifier

The save identifiers are unique strings which denote their classes, and therefore the data associated with them. Chapter NO TAG is sorted alphabetically based on these save identifiers. The derivation for a class from the base ENTITY class can be seen by the save identifiers.

For example, "body" is a save identifier for the BODY class, which is derived from ENTITY. Likewise, the save identifiers "plane-surface" might appear in a save file. These have a class derivation consisting of ENTITY, SURFACE, and PLANE. The save identifiers "colour-tsl-attrib" have the class derivation ENTITY, ATTRIB, ATTRIB_TSL, and ATTRIB_COL.

Unique save identifier strings are required for private attributes that a developer may create. This is achieved by deriving a private base class from ATTRIB and giving it a unique name. Then, developers may use any class name for their private attributes, yet the full identifiers are unique in the save file.

If the save identifiers are not completely recognized by ACIS, a data structure from just the *recognized* class(es) is constructed and restored. The remaining data at the end of the record is remembered so that it is not lost by a later save. For unrecognized classes whose derivation is two or more levels removed from ENTITY, such as classes derived from CURVE, SURFACE, or ATTRIB, the minimum is to create a recognizable data structure so that references to the data structure are correct. For example, if a record from a derived class of ATTRIB is not recognized, an ATTRIB record is created in such a way that the chain of attributes remains connected for the entity owning the unrecognized attribute.

Entity Data

The data for an entity is encapsulated in the order of its derivation from the basic ENTITY, from left to right. This is in the opposite order of the derivation of the identifier. The data for ENTITY is written first, followed by the data for the class directly derived from ENTITY, continuing down to the leaf class. For readability in the **sat** file, each data field is separated by white space: a space, carriage return, or new line.

Terminator

The terminator pound sign (#) marks the end of the entity data in the **sat** file, while Tag 17 marks it in the **sab** file. This allows unknown entities and attributes to be read and the start of the next entity to be located.

Data Elements

The decomposition of class derivations breaks the data elements into control, compound types, and several standard types. This section describes the compound types used by ACIS and the format of data actually written to the save file.

Control

if_cond	Conditional statement that is not written to the save file. Depending on how it evaluates, save data elements indented below the conditional statement are considered for inclusion in the save file.
else	Used as part of the "if" conditional. Not written to the save file.
else if_cond	Used as part of the "if" conditional. Not written to the save file.
repeat	Loop statement that is not written to the save file. Depending on the repeat arguments, save data elements indented below the repeat statement are stored zero, one, or more times in the save file.

Primitive Compound Types

integer	Written as long.
real	Written as double.

boolean	Written as long: if value == 0, then it is (False); if the value != 0, then it is (True).
interval	Low and High bounds are each written as logical("I", "F"), indicating whether interval is bound in that direction. If the interval is bound in a given direction, the logical is followed by the bound in that direction, written as a real.
matrix	Written as three vector, one for each row of the matrix.
transform	Written as <ul style="list-style-type: none"> - a matrix, representing the affine portion of the transformation. - a vector for the translation component, - a real scaling component, and - three boolean, indicating the presence of rotation, reflection, or shear, respectively.
newline	Used to make "save as text" files more readable. Simply adds newline white space.

Primitives for Text File Format (.sat)

Elements in a text file are written using the following format conventions. White space is used to delimit the various items.

char	Written with C printf format "%c".
short	Written with C printf format "%d".
long	Written with C printf format "%ld".
logical	<i>(false_string, true_string, {or any_valid_string})</i> : Appropriate string written with C printf format "%s".
enum <identifier>	The <identifier> specifies which enumeration is active and its valid values. The <identifier> is not written to the file. A valid value only is written to the file. This is a character string or a long value from the enumeration <identifier> written with C printf format "%s". Refer to chapter 5.
float	Written with C printf format "%g".
double	Written with C printf format "%g".
string	Length written as long followed by string written with C printf format "%s".
ident	The save identifier written with C printf format "%s".
subident	The save identifier followed by a dash (-), written with C printf format "%s-".
position	<i>x, y, z</i> coordinates written as real's.
vector	<i>x, y, z</i> components written as real's.

subtype_start	Braces around the subtypes, written as "{ ".
subtype_end	Braces around the subtypes, written as "} ".
terminator	Written as "#".
\$rec_num	Pointer reference to a save file record index. Written as "\$" followed by index number written as a long.
header	(<i>version, total, top, flags</i>): Values written as four long.
sequence	Written as "-" followed by the entity index written as long.

Primitives for Binary File Format (.sab)

Elements in a binary file are generally written as a one byte tag followed by the appropriate data, written with the size and format of the system on which it is written. Binary files are not guaranteed to be portable between platforms due to differences in sizes of data types, byte ordering, and floating point representations.

char	Tag 2, followed by the char value.
short	Tag 3, followed by the short value.
long	Tag 4, followed by the long value.
logical	(<i>false_string, true_string, {or any_valid_string}</i>): Tag 10 for a true value, or tag 11 for a false value.
enum <identifier>	The <identifier> specifies which enumeration is active and its valid values. The <identifier> is not written to the file. A valid value only is written to the file. This is Tag 21 followed by character string or a long value from the enumeration <identifier>. Refer to chapter 5.
float	Tag 5, followed by the float value.
double	Tag 6, followed by the double value.
string	Tag 7, followed by a char length value, followed by the specified number of characters, or Tag 8, followed by a short length value, followed by the specified number of characters, or Tag 9 followed by a long length value, followed by the specified number of characters.
ident	Tag 13, followed by a char length value followed by the specified number of characters.
subident	Tag 14, followed by a char length value followed by the specified number of characters.
position	Tag 19, followed by 3 doubles representing x, y, z coordinates.
vector	Tag 20, followed by 3 doubles representing x, y, z components.
subtype_start	Tag 15.

subtype_end	Tag 16.
terminator	Tag 17.
\$rec_num	Pointer reference to a save file record number index. Written as Tag 12, followed by index cast to a void*.
header	<i>(version, total, top, flags)</i> . The characters "ACIS BinaryFile" followed by the supplied values cast to long.
sequence	Sequence numbers are not written to binary files.

Subtypes and References

Subtypes and references are frequently used within any given save file, because they reduce the amount of information that has to be stored in the file. Moreover, they also allow non-entity objects to be shared. When a particular record uses a subtype object which has already been written, the record simply references it rather than writing the entire set of data out again. These references are written out as "{ ref *n* }". The ref indicates that this particular item has already been written out to the save file. The *n* stands for the subtype reference number from the beginning of the file, starting with zero.

All subtype and reference designations are enclosed between `subtype_start` and `subtype_end` designators, which are curly braces "{ }" in a .sat file and Tag 15 and Tag 16 in a .sab file. Subtypes definitions are numbered in an index table starting with 0. This table is used when writing the file, but is not saved in the file. References made later in the file use the subtype index table numbering.