

ADAPTAÇÃO ELETRÔNICA DE UM LEITOR MECÂNICO DE COTO,
INVESTIGAÇÃO E DESENVOLVIMENTO DE INTERFACE CAD

Mestrando: Ivan Max Freire de Lacerda

Orientador: Prof. Dr. Ângelo Roncalli de Oliveira Guerra

Natal/RN – Fevereiro/2009

Livros Grátis

<http://www.livrosgratis.com.br>

Milhares de livros grátis para download.

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO NORTE

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA - DEM

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECÂNICA -
PPGEM

“ADAPTAÇÃO ELETRÔNICA DE UM LEITOR MECÂNICO DE COTO,
INVESTIGAÇÃO E DESENVOLVIMENTO DE INTERFACE CAD”

IVAN MAX FREIRE DE LACERDA

**Esta dissertação foi julgada adequada para a obtenção do título de
MESTRE EM ENGENHARIA MECÂNICA**

Sendo aprovada na sua forma final.

BANCA EXAMINADORA:

Prof. Dr. Ângelo Roncalli de Oliveira Guerra
Orientador

Prof. Dr. Carlos Magno de Lima
Examinador interno

Prof. Dr. William Fernandes de Queiroz
Examinador externo

FICHA CATALOGRÁFICA

Divisão de Serviços Técnicos

Catálogo da Publicação na Fonte. UFRN / Biblioteca Central Zila Mamede

Lacerda, Ivan Max Freire de.

Adaptação eletrônica de um leitor mecânico de coto, investigação e desenvolvimento de interface CAD / Ivan Max Freire de Lacerda. – Natal, RN, 2009.

67 f.

Orientador: Ângelo Roncalli de Oliveira Guerra.

Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Centro de Tecnologia. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica.

1. Mecânica computacional – Dissertação. 2. Scanner 3D – Dissertação. 3. CAD – Dissertação. 4. Prototipagem – Dissertação. I. Guerra, Ângelo Roncalli de Oliveira. II. Universidade Federal do Rio Grande do Norte. III Título.

RN/UF/BCZM

CDU 681.31(043.3)

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Cartucho de prótese de membro inferior	14
Figura 2 – Usando a fita métrica	15
Figura 3 – Paquímetro artesanal.....	15
Figura 4 – Leitor mecânico de coto	16
Figura 5 – Fluxograma Engenharia Reversa.....	18
Figura 6 – Engenharia Reversa	20
Figura 7 – Scanner 3D com contato.....	21
Figura 8 – Scanner 3D sem contato.....	22
Figura 9 – Objeto fatiado em camadas	25
Figura 10 – STL	26
Figura 11 – FDM.....	28
Figura 12 – Jato de Tinta	28
Figura 13 – MLO	29
Figura 14 – Malha superficial de triângulos.....	31
Figura 15 – Vértices e vetor normal	32
Figura 16 – Planetário.....	37
Figura 17 – Braços do planetário	38
Figura 18 – Roleta contornando o coto	38
Figura 19 – Disco gráfico	39
Figura 20 – Mouse com esfera	42
Figura 21 – Mouse Óptico.....	43
Figura 22 – Touchpad.....	44
Figura 23 – Trackball	44
Figura 24 – Pen Tablet	45

Figura 25 – Trilhas condutoras e caneta tocando um ponto da base	46
Figura 26 – Movimentação do Mouse	48
Figura 27 – Caneta do Pen Tablet	49
Figura 28 – Luva da caneta	49
Figura 29 – Braço de TECHNYL	50
Figura 30 – Corte do gabinete do Pen Tablet	51
Figura 31 – Fluxograma da interface	52
Figura 32 – Coordenadas na resolução 800X600	53
Figura 33 – Plano cartesiano sobre a resolução 800X600	54
Figura 34 – Sistema de coordenadas 3D	55
Figura 35 – Posicionamento do braço marcador no manequim	57
Figura 36 – Medições das seções do coto do manequim.....	58
Figura 37 – Coto plotado no OrtoCAD	59
Figura 38 – Círculos vazios.....	60
Figura 39 – Diagrama de Voronoi	61
Figura 40 – Escolha do ponto inicial e definição do primeiro lado do triângulo...	62
Figura 41 – Reta perpendicular.....	63
Figura 42 – Definição do segundo lado do triângulo	63
Figura 43 – Definição do ponto central do círculo	64
Figura 44 – Circunferência traçada passando pelos três pontos do triângulo	64

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Estrutura de dados do arquivo STL binário	34
Tabela 2 – Avaliação por pontos.....	47
Tabela 3 – Formato do arquivo LEM.....	56

DEDICATÓRIA

Ao meu filho Pedrinho e minha esposa Tásia, duas preciosidades na minha vida.

Ao meu pai Prof. José Lacerda Alves Felipe e minha mãe Profa. Antônia Frassinette Freire Felipe por terem transmitido o gene da sala de aula neste seu filho e pelos exemplos de vida.

Ao Professor Ângelo Roncalli de Oliveira Guerra que é a tradução viva da palavra orientador.

Ao meu DEUS fiel e misericordioso.

AGRADECIMENTOS

A Luzinário Gomes da Silva e a Edson Jorge Alcântara Pereira pelas contribuições inestimáveis.

Ao Programa de Pós-graduação em Engenharia Mecânica da UFRN pela iniciativa em adotar projetos multidisciplinares.

RESUMO

Devido aos avanços no processo de fabricação de próteses ortopédicas, a necessidade de uma melhor qualidade técnica na leitura da forma (i.e., com menos incertezas) da parte residual dos amputados tornou-se um desafio. Para superar esses problemas é necessário ser capaz de obter informações precisas da geometria do membro e, conseqüentemente, melhorar os processos de fabricação de próteses e cartuchos transfemorais e transtibiais. O ponto-chave para esta tarefa é personalizar essas leituras tentando ser o mais fiel possível ao verdadeiro perfil de cada paciente. Dentro deste contexto, duas versões (α e β) de um protótipo de um scanner 3D mecânico para ler forma residual de membros com base em técnicas de engenharia reversa foram concebidas. Protótipo β é uma versão melhorada do protótipo α , apesar de ainda trabalhar em modo analógico. Ambos os protótipos são capazes de produzir uma representação CAD do membro através de apropriada planilha gráfica e foram concebidos para funcionar exclusivamente através de meios mecânicos. Os primeiros resultados foram encorajadores, uma vez que foram capazes de conseguir uma grande redução em relação ao grau de incerteza das medições quando comparadas com as dos métodos tradicionais, que são muito imprecisas e desatualizadas. Por exemplo, não é incomum ver estes métodos arcaicos sendo usados utilizando fitas métricas caseiras para medir a forma da perna do paciente. Embora o protótipo β tenha melhorado as leituras, ainda é necessário alguém para introduzir os pontos plotados (i.e., aqueles marcados na planilha em formato de disco gráfico) para um software acadêmico CAD chamado OrtoCAD. Esta tarefa é realizada por digitação manual, que é morosa e tem confiabilidade limitada. Além disso, o número de coordenadas obtidas a partir do sistema puramente mecânico é limitado às subdivisões do disco gráfico (ele grava um ponto a cada 10 graus com uma resolução de um milímetro). Estes inconvenientes foram resolvidos na concepção da segunda versão do protótipo β , na qual foi desenvolvida uma adaptação eletrônica, tornando-o capaz de realizar uma leitura automática (i.e., sem intervenção humana no modo digital). Um software de interface (i.e., driver), foi desenvolvido para facilitar a transferência de dados. Resultados muito melhores foram obtidos significando menor grau de incerteza (ele registra um ponto a cada 2 graus com uma resolução de 1/10 mm). Além disso, foi proposto um algoritmo para converter a geometria CAD, utilizada pelo OrtoCAD, para um formato adequado e que permita a utilização de equipamento de prototipagem rápida destinado a uma futura automação do processo de fabricação dos cartuchos de próteses.

ABSTRACT

Due to advances in the manufacturing process of orthopedic prostheses, the need for better quality shape reading techniques (i.e. with less uncertainty) of the residual limb of amputees became a challenge. To overcome these problems means to be able in obtaining accurate geometry information of the limb and, consequently, better manufacturing processes of both transfemoral and transtibial prosthetic sockets. The key point for this task is to customize these readings trying to be as faithful as possible to the real profile of each patient. Within this context, firstly two prototype versions (α and β) of a 3D mechanical scanner for reading residual limbs shape based on reverse engineering techniques were designed. Prototype β is an improved version of prototype α , despite remaining working in analogical mode. Both prototypes are capable of producing a CAD representation of the limb via appropriated graphical sheets and were conceived to work purely by mechanical means. The first results were encouraging as they were able to achieve a great decrease concerning the degree of uncertainty of measurements when compared to traditional methods that are very inaccurate and outdated. For instance, it's not unusual to see these archaic methods in action by making use of ordinary home kind measure-tapes for exploring the limb's shape. Although prototype β improved the readings, it still required someone to input the plotted points (i.e. those marked in disk shape graphical sheets) to an academic CAD software called OrtoCAD. This task is performed by manual typing which is time consuming and carries very limited reliability. Furthermore, the number of coordinates obtained from the purely mechanical system is limited to sub-divisions of the graphical sheet (it records a point every 10 degrees with a resolution of one millimeter). These drawbacks were overcome by designing the second release of prototype β in which it was developed an electronic variation of the reading table components now capable of performing an automatic reading (i.e. no human intervention in digital mode). An interface software (i.e. drive) was built to facilitate data transfer. Much better results were obtained meaning less degree of uncertainty (it records a point every 2 degrees with a resolution of 1/10 mm). Additionally, it was proposed an algorithm to convert the CAD geometry, used by OrtoCAD, to an appropriate format and enabling the use of rapid prototyping equipment aiming future automation of the manufacturing process of prosthetic sockets.

Sumário

Lista de figuras

Lista de Tabelas

Resumo

Abstract

Dedicatória

Agradecimentos

1. Introdução	13
1.1.Importância do trabalho	13
1.2.Objetivo Geral	16
1.3.Objetivos específicos.....	16
1.4.Metodologia.....	16
1.5.Estrutura da Dissertação	17
2. Revisão Bibliográfica.....	19
2.1.Engenharia Reversa (ER)	20
2.1.1. Digitalização	21
2.1.2. Criação do Modelo CAD.....	21
2.1.3. Aplicações da ER.....	22
2.2.Eletrônica aplicada a obtenção de coordenadas de objetos 3D	22
2.3.Prototipagem Rápida (Rapid Prototyping - RP)	24
2.3.1. Introdução	24
2.3.2. Principais tecnologias de RP	24
2.3.3. O arquivo STL	30
2.3.3.1.Representação ASCII	31
2.3.3.2.Representação Binária	33
2.3.4. Aplicações da RP.....	34
3. Scanner 3D de Leitura Mecânica	35
3.1.Funcionamento do Scanner	35
4. Adaptação Eletrônica: resultados e discussões.....	40
4.1.Dispositivos Apontadores.....	40
4.1.1. Mouse com esfera	40
4.1.2. Mouse Óptico	41
4.1.3. TouchPad	42

4.1.4. Trackball.....	43
4.1.5. Pen Tablet.....	44
4.1.6. Escolha do Circuito mais Adequado	45
4.1.7. Adequação do Pen Tablet.....	48
4.2.Desenvolvimento de Software de Interface com Scanner	50
4.3.Recepção das coordenadas X e Y	51
4.4.Obtenção da Terceira coordenada.....	53
4.5.Geração do arquivo LEM	54
4.6.Testando a adaptação eletrônica e interface com o computador	56
5. Prototipagem Rápida de Próteses: resultados e discussões	59
5.1.Diagrama de Voronoi	60
5.2.Geração da Malha de Delaunay	61
6. Conclusões e Sugestões de Trabalhos Futuros.....	64
6.1.Conclusões	64
6.2.Sugestões.....	64
7. Referências Bibliográficas	66
8. Apêndice 1 – Exemplo de arquivo LEM.....	68

1. Introdução

1.1. Importância do trabalho

O processo de fabricação de próteses de membros inferiores (pernas) exige a confecção de um cartucho (figura 1) com encaixe adequado e personalizado. Ele é produzido de acordo com as dimensões do coto do paciente, que é a porção da perna preservada após uma amputação (LACERDA, 2008).



Figura 1: Cartucho de Prótese de membro inferior

Em cada paciente uma série de medidas do coto é realizada para se produzir o encaixe adequado. Estas medidas são feitas de forma manual com uso de fita métrica (figura 2) e paquímetro artesanal (figura 3) (PEREIRA, 2007). Com a fita o protético (técnico responsável pela confecção da prótese) mede os comprimentos da circunferência do coto em vários pontos separados por alguns centímetros e a altura do coto em relação ao joelho e ao pé do paciente. Já com o paquímetro ele mede o diâmetro das circunferências medidas anteriormente. Além disto, moldes de gesso são confeccionados a partir do coto do paciente e depois ajustados com base nestas medições.

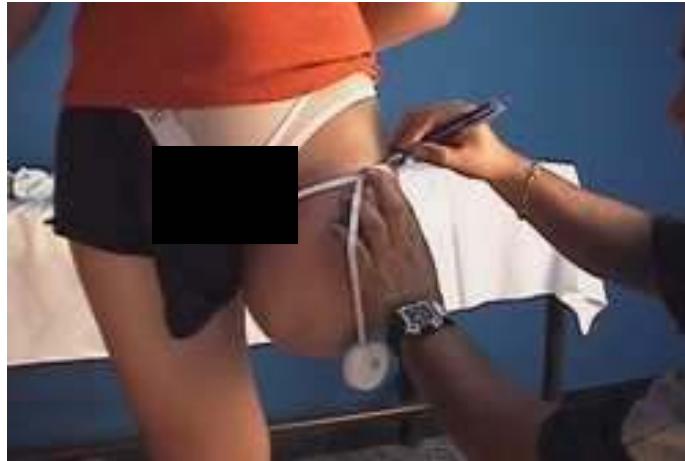


Figura 2: Usando a fita métrica



Figura 3: Paquímetro artesanal

Este processo de produção de próteses apresenta diversos problemas. Ele é extremamente dependente da habilidade do protético, pois este último é quem faz as medições e ajustes dos moldes de forma manual. As medidas extraídas do coto são medidas de comprimento e altura que são insuficientes para representar uma forma tridimensional como o coto. Existem várias etapas de produção inerentes a este processo de confecção de prótese que o tornam mais demorado. A possibilidade de retornos do paciente para ajustes da prótese é grande em vista do elevado grau de incerteza das medições realizadas e das formas que o membro assume quando manipulado durante o processo de moldagem no gesso em função das deformações sofridas.

Para diminuir esta incerteza foi desenvolvido por alunos do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica da UFRN, orientados pelo Prof. Ângelo Roncalli, um Leitor Mecânico de Coto (figura 4) (LACERDA, 2008) que obtêm coordenadas tridimensionais diretamente do coto do paciente. Estas coordenadas são repassadas a um programa CAD (Computer Aided Design), também desenvolvido por orientandos do Prof. Roncalli e denominado de OrtoCAD (SILVA, 2007), através de digitação das mesmas. Depois disto é possível visualizar neste programa um modelo 3D do coto.



Figura 4: Leitor Mecânico de Coto

Apesar do Leitor Mecânico e do OrtoCAD trazerem avanços significativos no processo de produção de próteses de perna existem dois problemas para serem resolvidos. A passagem das coordenadas obtidas pelo leitor para o OrtoCAD é feita através de digitação. Além de demorado, dependendo da quantidade de coordenadas obtidas, este procedimento não é confiável pois facilmente uma coordenada pode ser digitada incorretamente. Além disto, com os dados 3D pode-se desenvolver uma interface com equipamento de prototipagem rápida visando a confecção de um molde do cartucho eliminando fases intermediárias do processo de fabricação (confecção dos moldes negativo e positivo, bem como do cartucho de prova).

1.2. Objetivo Geral

Automatizar o processo de obtenção das coordenadas 3D do coto e desenvolver um algoritmo para possibilitar a interface do programa OrtoCAD com equipamento de prototipagem rápida para geração do molde do cartucho.

1.3. Objetivos específicos

Colaborar na concepção do leitor mecânico juntamente com o grupo multidisciplinar da base de pesquisa de Mecânica Computacional, objetivando a adaptação eletrônica.

Modificar o dispositivo leitor mecânico do coto para que a leitura das medidas seja feita por dispositivo eletrônico que se comunique diretamente com um computador.

Desenvolver uma Interface CAD que recepcione os dados enviados pelo dispositivo leitor e repasse-os ao OrtoCAD.

Propor algoritmo para o programa da interface do OrtoCAD com equipamento de prototipagem rápida.

1.4. Metodologia

Toda a concepção do leitor mecânico e sua adaptação eletrônica (i.e. eletromecânico) foi baseada na utilização da metodologia de Engenharia Reversa. Ou seja, ao se digitalizar um objeto real (o coto do paciente) consegue-se um objeto virtual (modelo CAD 3D). Deste objeto virtual, após simulações e ajustes para atender requisitos de engenharia, prossegue-se para produção de um objeto real (molde desenvolvido no equipamento de prototipagem rápida). Na figura 5 vê-se um fluxograma deste processo. Maiores detalhes a respeito da metodologia de Engenharia Reversa serão descritos no capítulo II.

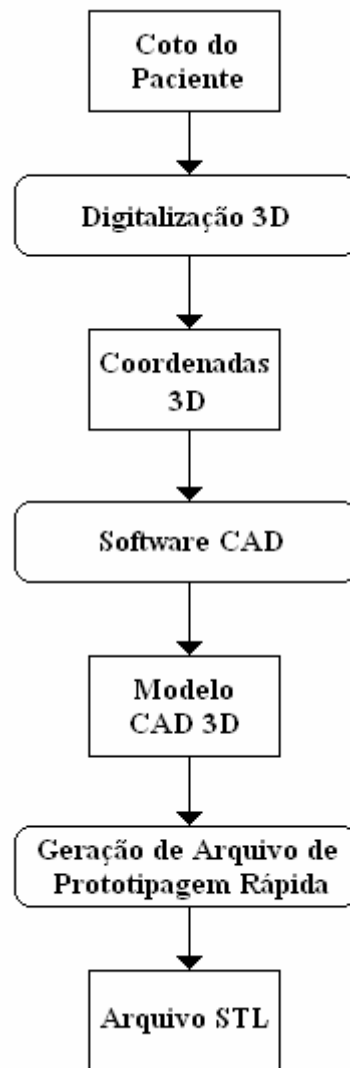


Figura 5: Fluxograma Engenharia Reversa

1.5. Estrutura da Dissertação

A presente dissertação de mestrado possui seis capítulos. No capítulo de introdução (capítulo 1) justifica-se o presente trabalho mostrando a sua importância e lista-se os objetivos gerais e específicos dele. A metodologia empregada também é apresentada neste capítulo.

O capítulo 2 é voltado à revisão bibliográfica. A Engenharia Reversa, a eletrônica voltada a obtenção de coordenadas 3D e a Prototipagem Rápida, conhecimentos necessários ao desenvolvimento desta dissertação são tratados nele.

No capítulo 3 descreve-se o funcionamento do Scanner 3D de Leitura Mecânica para Auxílio na Confecção de Próteses Ortopédicas ressaltando as melhorias que podem ser feitas e que são objeto deste trabalho.

Os capítulos 4 e 5 mostram os resultados deste trabalho. No capítulo 4 mostra-se a eletrônica que foi embarcada no Scanner, descrito no capítulo 3, visando resolver alguns problemas operacionais e discuti-se os resultados obtidos. Já no 5 discuti-se um algoritmo de conversão do arquivo do ORTOCAD em arquivo de prototipagem rápida que possibilitará que ele se comunique com equipamento de prototipagem rápida visando à confecção de molde do coto do paciente.

O capítulo 6 é voltado à conclusão da dissertação e sugestão de trabalhos futuros.

2. Revisão Bibliográfica

2.1. Engenharia Reversa (ER)

A palavra reversa denota bem o que acontece na ER pois faz-se o caminho contrário da engenharia convencional. O método tradicional de fabricação de um produto começa com o desenho geométrico dele e termina com a manufatura de um modelo físico real. Na ER o processo é o inverso, parte-se de um objeto real e obtem-se sua geometria. E a partir dela pode-se estudar e fazer modificações e manufaturar cópias deste objeto (figura 6). A ER é, portanto, limitada a objetos, peças ou produtos que já existem.

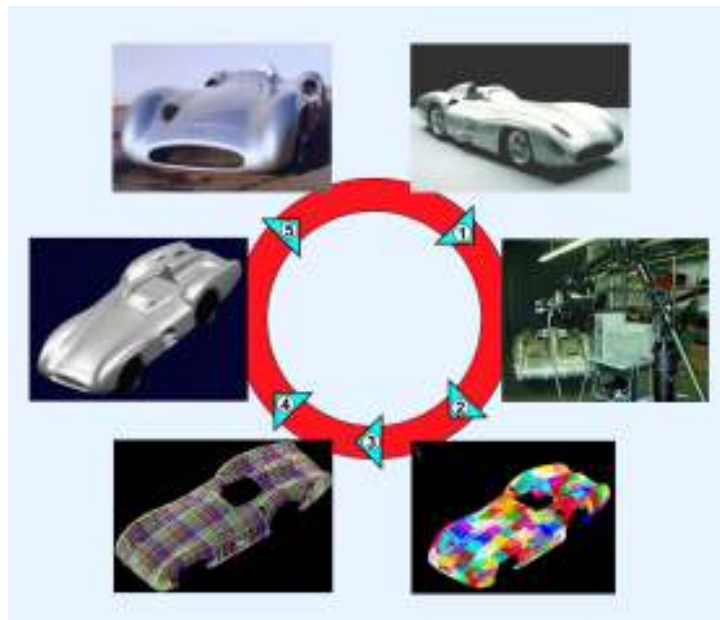


Figura 6: Engenharia Reversa (ReverseEngineering_Silberpfeil_notext.png)

Segundo Puntambekar et al (1994) pode-se dividir a Engenharia Reversa em duas etapas: a digitalização do objeto real e a criação do modelo CAD a partir dos dados digitalizados.

2.1.1. Digitalização

Para a primeira etapa precisa-se de um dispositivo digitalizador (Scanner). Os equipamentos digitalizadores 2D já são comuns e podem ser encontrados conectados a computadores na maioria das residências e escritórios. Eles têm a função de digitalização de

imagens planas. Todavia na ER precisa-se de um Scanner que tenha condição de fazer a digitalização de objetos tridimensionais. Os scanners 3D podem também obter uma imagem tridimensional para fins de visualização, mas para a ER precisa-se de um digitalizador que obtenha as coordenadas tridimensionais de um objeto.

Os Scanners 3D podem efetuar a digitalização através de contato direto com a superfície do objeto ou sem contato. Basicamente os equipamentos que utilizam o método com contato possuem um ponteiro que contorna a superfície enquanto são registradas as coordenadas de sua movimentação (figura 7).



Figura 7: Scanner 3D com contato

Já no método sem contato utiliza-se luz para determinação da geometria do objeto. Neste método a reflexão da luz emitida sobre o objeto é usada para determinação das coordenadas (figura 8).



Figura 8: Scanner 3D sem contato

Geralmente usa-se os equipamentos que digitalizam através de contato para digitalização de objetos com superfície mais rígida e os sem contato para superfícies flexíveis. Todavia, outros fatores podem determinar qual tecnologia de digitalização 3D será usada para determinada aplicação. O custo da fabricação de um equipamento para uma finalidade específica, como a digitalização do coto de um paciente amputado, é outro fator que deve ser levado em conta visando pacientes de baixo poder aquisitivo atendidos pelo Sistema Único de Saúde (SUS).

Atualmente no mercado os equipamentos que usam tecnologias sem contato mais destacados são os baseados em Laser e os baseados em câmeras digitais CCD (Charge-Coupled Device) .

2.1.2. Criação do Modelo CAD

Feita a digitalização obtém-se uma “nuvem” de pontos que é repassada a um programa CAD que após ser trabalhada, permite a geração de um modelo geométrico do objeto que foi digitalizado. Ela consiste de uma relação das coordenadas 3D de cada ponto obtido através do Scanner. Quanto maior for o objeto e quanto menor for o grau de incerteza das medidas, maior será a quantidade de pontos desta nuvem.

Com o modelo geométrico ou CAD pronto pode-se executar diversas manipulações e análises. Dentre as manipulações pode-se fazer modificações na geometria original de uma

peça visando melhorias ou adaptações a novas aplicações. Nas análises pode-se fazer, por exemplo, estudos baseados em Elementos Finitos para estimar os efeitos de uma tensão sobre uma peça bem como sua rigidez.

2.1.3. Aplicações da ER

Basicamente a ER pode ser usada para documentação ou cópia de objetos reais, criação de um novo objeto partindo de um já existente e melhorias ou correção de peças ou qualquer outro artefato.

Na documentação de um objeto real o interesse é a obtenção da geometria dele para registro possibilitando uma posterior análise. Em alguns casos não existe nenhum dado geométrico sobre o desenho, ou porque nunca houve uma preocupação em fazer isto ou simplesmente porque o objeto não é fruto de manufatura, ou seja, é natural. Esculturas e peças antigas se encaixam no primeiro caso e membros do corpo humano no segundo.

Pode-se ir além da documentação e criar cópias do modelo real que foi digitalizado. A integração da ER com técnicas de Prototipagem Rápida permite a produção de cópias 3D a partir de coordenadas obtidas de um Scanner e processadas por programa tipo CAD.

2.2. Eletrônica aplicada a obtenção de coordenadas de objetos 3D

Conforme mencionado anteriormente, os equipamentos que digitalizam objetos do mundo real visando à obtenção de suas coordenadas podem utilizar o método com contato ou sem contato. No método com contato um dispositivo movimenta-se sobre a superfície do objeto medindo os seus pontos. Ele pode ser um braço articulado movimentado manualmente ou pela ação de motores elétricos. Já quando não existe contato usa-se componentes ópticos que emitem luz sobre o objeto. Para obter as coordenadas neste método usa-se a reflexão da luz sobre a superfície do objeto.

Independente do método escolhido, desenvolver um equipamento para obtenção de coordenadas de um objeto real, no plano bidimensional (2D) ou tridimensional (3D), envolve a escolha dos componentes eletrônicos que integrarão o circuito responsável pelas medições e processamento dos pontos do objeto.

Geralmente os componentes de medição são do tipo óptico. Fotodiodos, fototransistores, sensores CMOS (Complementary Metal–Oxide–Semiconductor) e sensores CCD (Charge- Coupled Device) são usados para captar a luz emitida diretamente ou indiretamente sobre o objeto. Na forma direta a reflexão da luz sobre o objeto é usada para determinar as suas coordenadas. Na forma indireta um braço articulado contorna o objeto ao mesmo tempo que movimenta um conjunto óptico que determina os seus pontos. A luz emitida pode ser a natural do ambiente ou pode ser gerada por LEDs (Light Emitter Diode ou Diodo Emissor de Luz) ou Lasers.

Os fotodiodos e fototransistores funcionam basicamente como uma chave óptica. Na ausência de luz sobre sua superfície sensível a luminosidade eles não deixam passar corrente elétrica através deles. Já na presença de luz eles passam à condição de condutores elétricos. Estes componentes eram usados nos primeiros dispositivos apontadores (Mouse) dos computadores. Apesar da limitação de somente detectar a presença ou ausência de luz eles conseguiam representar bem coordenadas 2D.

Os sensores CMOS e CCD são utilizados em câmeras de WEB (WEBCAM), Scanners 2D e outros dispositivos para captar a luz refletida sobre objetos e transformá-la em pulsos elétricos. Circuitos adicionais convertem estes pulsos em dados digitais. A luz refletida carrega informações sobre as características do objeto que permitem a sua digitalização. Basicamente, um dispositivo de captura de imagens possui um circuito integrado com uma matriz de sensores. Cada sensor é um fotodetector responsável por obter um ponto da imagem (pixel ou picture element). Esta obtenção é uma conversão de um fóton (partícula de luz) em um elétron. Este elétron é posteriormente quantificado gerando um sinal elétrico com determinada amplitude (voltagem). A diferença básica entre sensores CMOS e CCD é como estas conversões são feitas e onde elas ocorrem.

Para obter coordenadas, através do uso destes dispositivos, usa-se geralmente a comparação das imagens obtidas. Ou seja, compara-se a imagem obtida em um dado instante com a obtida num instante posterior. Como resultado desta comparação determina-se as coordenadas da movimentação do dispositivo que está obtendo as imagens.

2.3. Prototipagem Rápida (Rapid Prototyping - RP)

2.3.1. Introdução

Os principais processos de fabricação mecânica atuam sobre determinados materiais promovendo fusão e moldagem, remoção, conformação ou adição de material (Volpato, 2007). A RP é classificada como um processo de adição de material em sucessivas camadas planas. O que vai diferenciá-la de outros processos de adição é a sua facilidade de comunicação com sistemas computadorizados visando à automação da manufatura. Esta comunicação é possível porque são usadas as informações de geometria de sistemas CAD (Computer Aided Design) para definir as camadas do objeto a ser fabricado (figura 9).

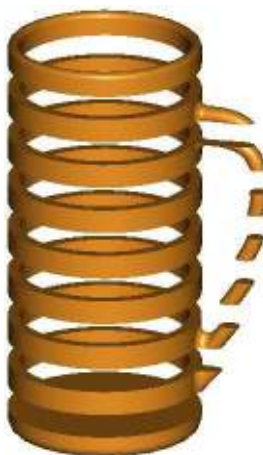


Figura 9: Objeto fatiado em camadas

2.3.2. Principais tecnologias de RP

As diferentes tecnologias de RP podem ser classificadas de acordo com o estado inicial do material que será adicionado para formar as camadas. Desta forma têm-se as tecnologias baseados em material no estado líquido, no sólido e em pó.

Nos processos baseados em líquido usa-se uma resina que é um fotopolímero sensível a fontes UV. Ela é depositada em seu estado líquido e depois sofre um processo de polimerização através do uso de Laser UV ou de cura com o uso de uma fonte de luz UV.

A técnica que usa o Laser é bastante utilizada e é conhecida como Estereolitografia ou STL (StereoLithography). Nela a resina é depositada em uma bandeja que é movida para baixo à medida que o Laser atua formando uma camada do objeto. Um sistema de varredura possibilita que o feixe do Laser atue sobre todos os pontos que formarão uma camada 2D. Como o objeto vai se formando imerso na resina líquida pode haver necessidade de suportes para evitar deslocamentos de partes que ainda não estão unidas ou que ainda não tem a sustentação necessária. Estes suportes são acrescentados à geometria do objeto por programas que analisam a sua forma e definem a necessidade de sustentação de determinadas partes. Depois de terminada a polimerização dentro da bandeja o objeto é retirado. Neste ponto, na técnica SL, apesar do objeto já ter a sua forma final ele precisa passar por uma limpeza para retirada de restos de resina e os suportes precisam ser removidos. Por último, o objeto é levado a um forno UV para adquirir resistência mecânica.

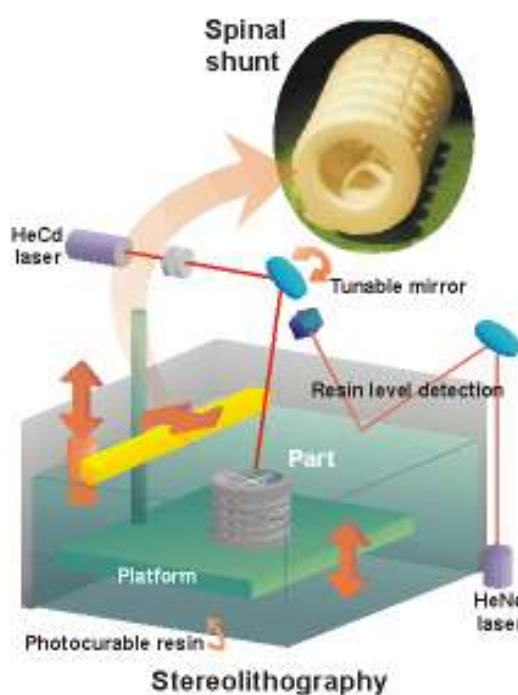


Figura 10: STL

As tecnologias de RP que usam luz UV para cura de resina líquida são chamadas de impressão a jato de tinta, pois seu sistema de deposição é semelhante a das impressoras usadas com computadores. Uma cabeça de impressão expelle gotículas de resina sobre uma base e imediatamente depois uma fonte de luz UV incide sobre a resina promovendo sua cura. A cabeça se movimenta no sentido dos eixos X e Y construindo cada camada sobre uma base. Esta base movimenta-se no sentido do eixo Z permitindo que uma nova camada seja impressa

pela cabeça. Assim como na tecnologia STL, neste processo é necessário a definição e produção de suportes para sustentação de partes. A diferença é que o material do suporte é diferente do usado na construção do objeto. Isto é feito para facilitar a posterior retirada dele. Outra diferença do processo de impressão por jato de tinta é a não necessidade de cura posterior da peça para adquirir resistência mecânica.

Quando o material está no estado sólido existem duas formas de tratá-lo. Existem os métodos que fundem o material e depois fazem a sua deposição e os que promovem a laminação de folhas e fazem cortes nelas. Nos primeiros o material está inicialmente no estado sólido, mas depois ele passa ao estado líquido para ser processado. Então, muito do que foi explanado nas tecnologias que trabalham com resinas líquidas se aplicam a estes métodos. Nas tecnologias que fundem o material sólido antes de sua deposição existem a FDM (Fused Deposition Modeling ou Modelagem por Fusão e Deposição) e as de impressão a jato de tinta. Já nos outros métodos folhas são unidas com o uso de adesivo num processo chamado laminação. A cada folha colada são feitos cortes da seção bidimensional do objeto sendo modelado.

Na FDM o material sólido é tracionado até uma cabeça de extrusão na qual um conjunto de resistências vai aquecê-lo para ele passar ao estado líquido. Um bico extrusor cuida de depositar o material sobre uma plataforma movimentando-se nos eixos X e Y. Quando o material líquido entra em contato com a superfície da camada anterior ele se solidifica e adere a ela formando uma nova camada. A plataforma movimenta-se para baixo no sentido do eixo Z à medida que cada camada é modelada permitindo que uma próxima seja construída. Também é necessária a construção de suportes para sustentação de partes do objeto. Os equipamentos FDM utilizam para este propósito um bico extrusor específico para deposição de material do suporte. Este material possui composição diferente do material usado para construção do objeto visando facilitar sua remoção.

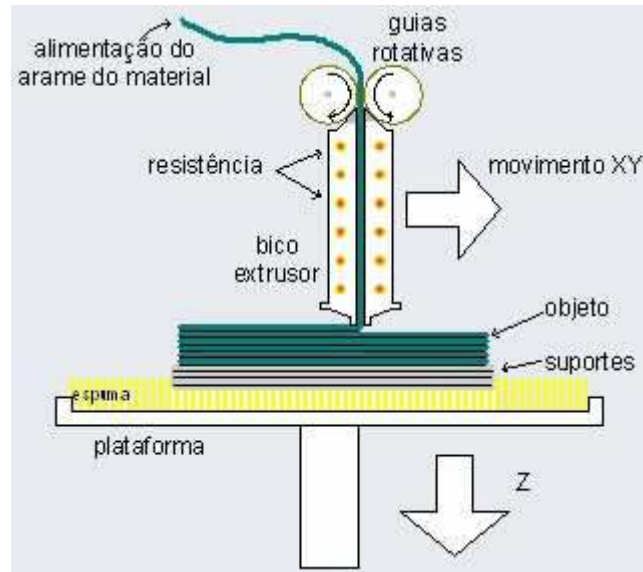


Figura 11: FDM

Nas tecnologias de impressão a jato de tinta com material inicialmente em estado sólido existem muitas semelhanças com a tecnologia FDM. O material também é aquecido para passar ao estado líquido e ser manipulado e também é depositado sobre uma plataforma onde se solidifica e adere à camada anteriormente modelada. A diferença é que o material líquido é depositado na forma de minúsculas gotas e podem ser usados vários jatos para acelerar a modelagem. Assim como na tecnologia FDM pode-se ter bicos que expõem gotas de material específico para construção de suportes.

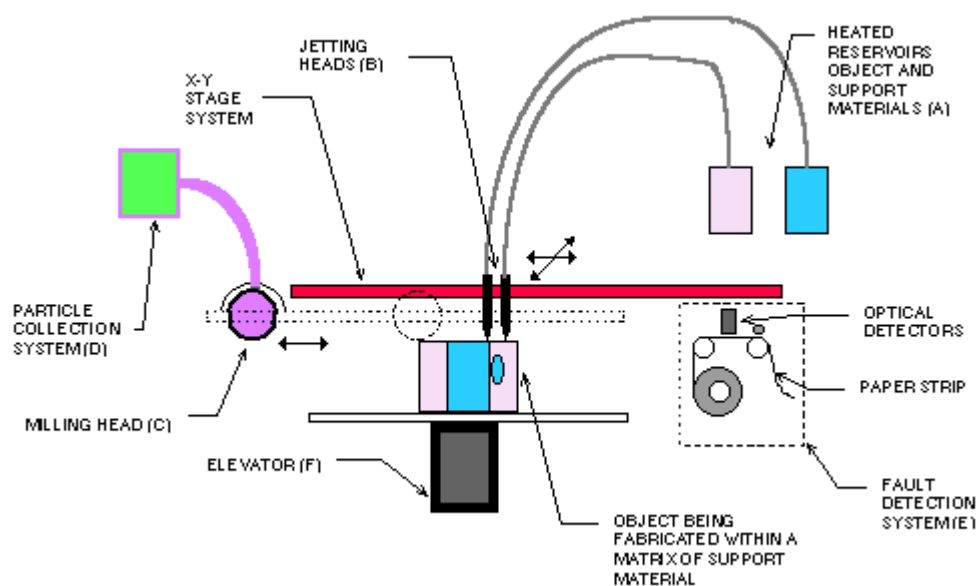


Figura 12: Jato de Tinta

Nas tecnologias que usam laminação de materiais para modelagem de objetos têm-se a Manufatura Laminar de Objetos (MLO) e a Tecnologia com Lâminas de Papel (TLP). Na MLO o material usado é uma folha que pode ser confeccionada com papel, plástico, cerâmica, tecido ou metal. No seu lado inferior a folha possui um adesivo termosensível. Ela é tracionada por um rolo alimentador e um rolo recolhedor. A primeira camada é tracionada e um feixe de Laser corta o perfil geométrico do objeto sobre a folha. Uma nova camada é tracionada e um rolo aquece a folha fazendo o adesivo atuar unindo a nova camada a anterior. Novamente o Laser atua promovendo o corte do perfil do objeto na nova camada. O restante da folha que não pertence ao objeto é picotado pelo Laser para facilitar sua retirada. Este mesmo material picotado serve como suporte das partes do modelo que não estão conectadas. Uma vez que todas as camadas tenham sido laminadas e cortadas o material picotado é removido e o objeto está pronto.

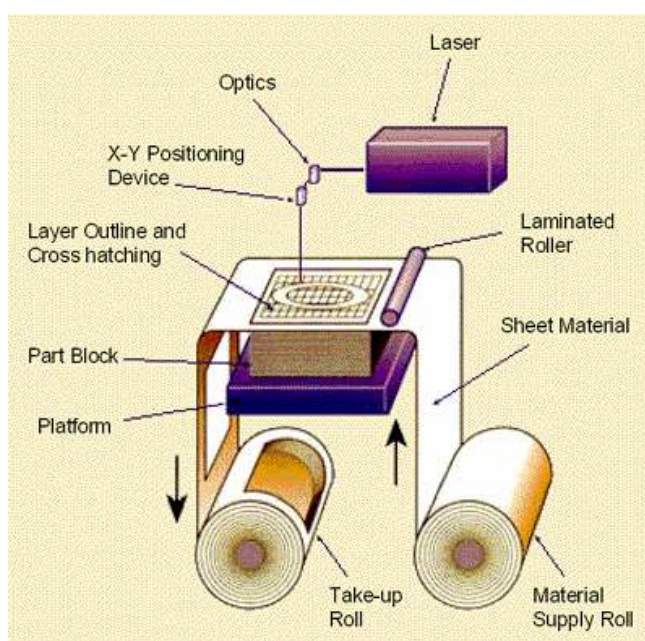


Figura 13: MLO

Na TLP existem duas diferenças básicas em relação ao MLO. Para recortar as folhas não é usado Laser e sim um sistema mecânico semelhante aos dos equipamentos tipo Plotter. E o adesivo usado para laminar as folhas é impresso nela somente na área da superfície bidimensional da camada do objeto. Na MLO o adesivo vinha junto com toda a folha. E a união das folhas era feita em toda a sua superfície. O adesivo também é ativado por calor.

Neste processo o material que restou em volta do objeto é picotado pelo mesmo mecanismo de corte e funciona como suporte para partes da peça desconectadas.

Nos sistemas de RP baseados em material na forma de pó existe uma classificação básica que os diferencia. Existem os métodos que utilizam Laser para agregar o material e produzir o objeto e os que utilizam um aglutinante. Nas tecnologias com Laser têm-se a Sinterização Seletiva a Laser (SLS), Sinterização a Laser (EOSINT) e Fabricação da Forma Final a Laser (LENS). Já nas que usam material aglutinante existem diversas soluções baseadas em impressão tipo jato de tinta.

Na SLS um Laser é usado para sinterizar o material em pó previamente espalhado e nivelado sobre uma plataforma. Ele atua sobre o pó formando uma camada do objeto de acordo com a geometria 2D dele. Depois, a plataforma desce no sentido do eixo Z permitindo que nova camada seja construída. O pó não processado que permanece na plataforma funciona como suporte para partes do objeto que precisem de sustentação. Ao final da sinterização de todas as camadas o pó não usado pode ser removido usando escovas, compressores e aspiradores.

A tecnologia de sinterização a Laser EOSINT é muito semelhante à SLS. Somente o sistema de espalhar e nivelar o pó são diferentes e são fabricados equipamentos específicos para cada tipo de pó utilizado.

Já a tecnologia LENS apresenta diferenças significativas, apesar de também usar o Laser para agregar o pó. Ela utiliza um Laser de alta potência para fundir metais em pó formando as camadas de um objeto 3D. Os metais disponíveis para serem usados por esta tecnologia são aço inox, titânio, aço ferramenta H13 e ligas. Uma cabeça de deposição é responsável por depositar o pó sobre uma plataforma através de bicos. Ao mesmo tempo um feixe de Laser atua sobre o pó promovendo a sua fusão. A cabeça movimenta-se nas direções dos eixos X-Y-Z possibilitando a fabricação de objetos sem necessidade de suporte para partes desconectadas.

Nas tecnologias que usam um aglutinante para endurecer o pó existem soluções de dois fabricantes. A impressão tridimensional (3DP) da Z Corporation e a impressão tridimensional (3DP) Prometal da Ex One Corporation. As duas são muito parecidas. Em

ambas o pó é espalhado sobre uma plataforma e uma cabeça de impressão, semelhante a das impressoras jato de tinta, imprime o líquido aglutinante formando uma camada 2D do objeto. Na solução Prometal o líquido aglutinante é fotopolimérico e necessita de uma lâmpada ultravioleta para promover sua cura.

2.3.3. O arquivo STL

O arquivo STL, desenvolvido pela 3D Systems, é atualmente adotado como formato padrão dos dados de comunicação entre programas CAD e equipamentos de prototipagem rápida. Ele descreve uma representação triangular da geometria tridimensional da superfície de um objeto. Vários triângulos irregulares formam uma malha sobre toda a superfície do objeto (figura 14).

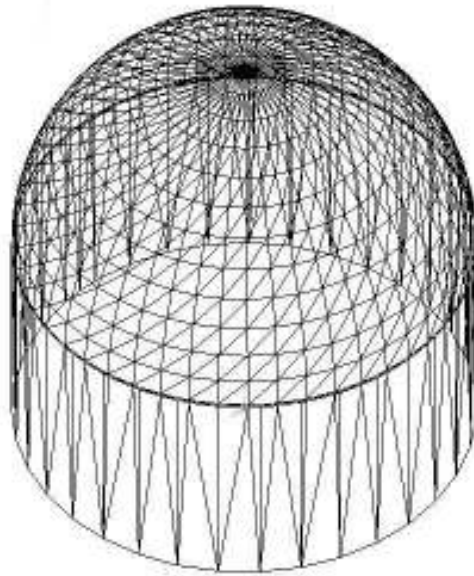


Figura 14: malha superficial de triângulos

Quanto menor o tamanho do triângulo melhor será a definição do objeto. Porém, o tamanho do arquivo será maior, implicando em maior tempo de processamento. Cada triângulo é descrito pelas coordenadas cartesianas tridimensionais dos seus vértices e por um vetor normal unitário segundo a regra da mão direita. Tanto os vértices quanto o vetor normal são especificados por três coordenadas (x,y,z) (figura 15).

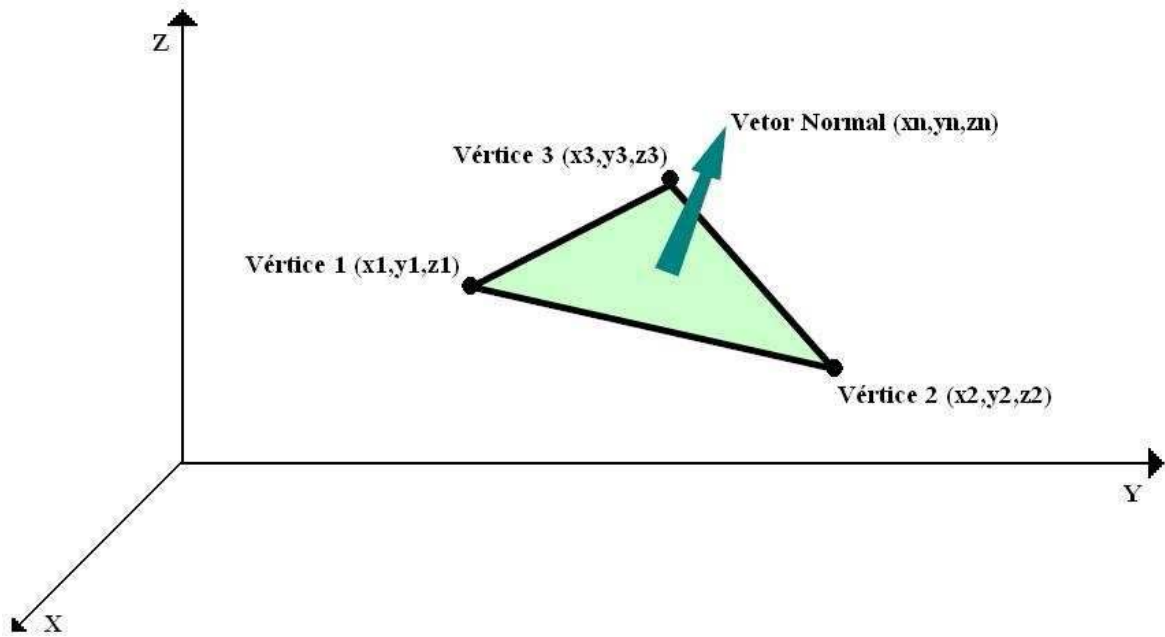


Figura 15: vértices e vetor normal

O arquivo STL pode ser representado no formato ASCII (American Standard Code for Information Interchange) ou no formato binário. A representação ASCII apresenta vantagens para ser processada e manipulada pois qualquer programa editor de textos pode ler este formato. Além disto, conhecendo a sintaxe das palavras-chave do arquivo pode-se facilmente fazer modificações nele. Porém, quanto mais complexa for a geometria 3D do objeto maior será o arquivo. E o tamanho do arquivo tem relação direta com o tempo de processamento dele no momento da manufatura do objeto pelo equipamento de prototipagem. Ou seja, quanto maior o arquivo maior será o tempo de processamento dele. E neste quesito o formato binário leva vantagem.

O formato binário tem um tamanho de arquivo menor que o ASCII para representar os mesmos dados geométricos de um objeto. A desvantagem deste formato é que ele não apresenta a mesma facilidade de manipulação do ASCII.

2.3.3.1. Representação ASCII

No formato ASCII cada triângulo, ou face, é descrito usando as seguintes instruções:

```
facet normal xn yn zn
  outer loop
    vertex x1 y1 z1
```



```

        vertex x2 y2 z2
        vertex x3 y3 z3
    endloop
endfacet

```

As instruções “facet” e “endfacet” marcam o início e o fim da descrição de um triângulo ou face. A instrução “normal xn yn zn” determina as coordenadas do vetor normal e as três instruções “vertex x y z”, delimitadas pelas instruções “outer loop” e “endloop”, determinam as coordenadas dos três vértices do triângulo. Todas estas coordenadas são números em ponto flutuante.

Iniciando e terminando a definição do objeto são usadas as instruções “solid nome_do_objeto” e “endsolid”. Na sequência um exemplo de um arquivo STL que define parte da superfície de uma esfera.

```

solid testsphere
  facet normal -0.13 -0.13 -0.98
    outer loop
      vertex 1.50000 1.50000 0.00000
      vertex 1.50000 1.11177 0.05111
      vertex 1.11177 1.50000 0.05111
    endloop
  endfacet
  facet normal 0.13 0.13 -0.98
    outer loop
      vertex 1.50000 1.50000 0.00000
      vertex 1.50000 1.88823 0.05111
      vertex 1.88823 1.50000 0.05111
    endloop
  endfacet
  facet normal -0.13 0.13 -0.98
    outer loop
      vertex 1.11177 1.50000 0.05111
      vertex 1.50000 1.88823 0.05111
      vertex 1.50000 1.50000 0.00000
    endloop
  endfacet
  facet normal 0.13 -0.13 -0.98
    outer loop
      vertex 1.88823 1.50000 0.05111
      vertex 1.50000 1.11177 0.05111
      vertex 1.50000 1.50000 0.00000
    endloop
  endfacet
  facet normal -0.38 -0.15 -0.91
    outer loop
      vertex 1.11177 1.50000 0.05111
      vertex 1.06982 1.02165 0.14496
      vertex 0.75000 1.50000 0.20096
    endloop

```

```

endfacet
facet normal -0.12 -0.38 -0.92
  outer loop
    vertex 1.50000 0.75000 0.20096
    vertex 1.06982 1.02165 0.14496
    vertex 1.50000 1.11177 0.05111
  endloop
endfacet
facet normal -0.12 0.38 -0.92
  outer loop
    vertex 1.50000 1.88823 0.05111
    vertex 1.06982 1.97835 0.14496
    vertex 1.50000 2.25000 0.20096
  endloop
endfacet
endsolid

```

Percebe-se claramente que o arquivo cresce rapidamente pois para cada triângulo um conjunto de instruções é usado para delimitar e identificar as coordenadas. Por causa disto esta representação é usada mais para depuração do arquivo e para portabilidade entre diferentes sistemas computacionais. Para comunicação com o equipamento de prototipagem rápida é preferível usar a representação binária.

2.3.3.2. Representação Binária

Um arquivo binário STL possui um cabeçalho de 80 bytes. Após o cabeçalho um número inteiro sem sinal de 4 bytes indica a quantidade de triângulos representados no arquivo. Depois disto, para cada triângulo, 12 números em ponto flutuante de simples precisão (4 bytes) representam as três coordenadas de cada um dos três vértices e as três coordenadas do vetor normal. A tabela 1 mostra como é a estrutura de dados do arquivo STL binário.

Tabela 1: estrutura de dados do arquivo STL binário

Campo	Tipo de Dado	Tamanho
Cabeçalho (Header)	ASCII	80 bytes
Número de triângulos	Inteiro longo sem sinal (unsigned long int)	4 bytes
Coordenada x do vértice 1	Ponto flutuante (float)	4 bytes
Coordenada y do vértice 1	Ponto flutuante (float)	4 bytes

Coordenada z do vértice 1	Ponto flutuante (float)	4 bytes
Coordenada x do vértice 2	Ponto flutuante (float)	4 bytes
Coordenada y do vértice 2	Ponto flutuante (float)	4 bytes
Coordenada z do vértice 2	Ponto flutuante (float)	4 bytes
Coordenada x do vértice 3	Ponto flutuante (float)	4 bytes
Coordenada y do vértice 3	Ponto flutuante (float)	4 bytes
Coordenada z do vértice 3	Ponto flutuante (float)	4 bytes
Coordenada x do normal	Ponto flutuante (float)	4 bytes
Coordenada y do normal	Ponto flutuante (float)	4 bytes
Coordenada z do normal	Ponto flutuante (float)	4 bytes

Esta representação ocupa menos espaço que a ASCII pois não existe a necessidade de instruções que delimitem e identifiquem as coordenadas. Isto diminui sensivelmente o tamanho do arquivo. Na prática esta é a representação mais usada para gerar o protótipo pois é a que demanda menos tempo de processamento.

2.3.4. Aplicações da RP

São várias as aplicações da RP mas pode-se dividi-las em dois grandes grupos. As aplicações conceituais e as funcionais. Nas conceituais o interesse em produzir um protótipo visava à visualização de um modelo sólido do objeto. Projetistas podem desta forma ver em três dimensões reais a peça ou produto por eles projetada e propor modificações. Precisão geométrica e resistência do material não são preocupações importantes neste tipo de aplicação.

Nas aplicações funcionais o objetivo é a produção de um protótipo que efetivamente será usado. Por exemplo, o protótipo de uma peça de um motor será colocado para funcionar neste motor. Neste caso a precisão das dimensões da peça e a sua resistência têm que ser adequadas ao trabalho. Tanto aplicações funcionais quanto as conceituais são aplicadas em várias áreas de conhecimento. Na Engenharia Biomédica a RP é usada no projeto e fabricação de próteses e implantes. Na engenharia é usada tanto para a fabricação de peças e ferramentas quanto para a apresentação de modelos.

3. Scanner 3D de Leitura Mecânica para Auxílio na Confecção de Próteses Ortopédicas

Com o crescente desenvolvimento tecnológico da fabricação de próteses ortopédicas, cresceu também a necessidade de leituras com maior grau de acuracidade do membro amputado na confecção de próteses personalizadas ao perfil do paciente. Diante deste contexto, o autor, juntamente com o grupo multidisciplinar da base de pesquisa de Mecânica Computacional, trabalhou na concepção de um scanner 3D de leitura mecânica para digitalização CAD de membros inferiores e/ou coto que auxilia na confecção de próteses transfemural e transtibial baseado em engenharia reversa. O foco é a concepção e implementação de um sistema de percepção 3D com base num sensor 2D mecânico. Como principais critérios para elaboração do scanner 3D foram selecionados o conforto do paciente no equipamento, no momento da leitura, e a utilização de materiais de baixo custo para a construção e que tivesse disponibilidade no mercado local. Sendo assim, o scanner obteve resultados de acuracidade maior do que os padrões de leitura atualmente empregados (fita métrica comum, paquímetro de madeira, etc.) e, paralelamente, foi criado um software de visualização (OrtoCAD) dos resultados onde se pode analisar o cartucho para fabricação da prótese a partir dos dados enviados pelo scanner.

3.1. Funcionamento do Scanner

O Scanner é um leitor mecânico para medir as seções transversais do coto de amputados para confecção de próteses femural e transtibial. Atualmente, em quase sua totalidade, o processo de fabricação de próteses de perna, existente, caracteriza-se pela sua natureza estritamente artesanal onde as medidas obtidas para confecção da prótese são feitas com a utilização de fita métrica, dedos e paquímetro de madeira proporcionado dessa forma um alto grau de incerteza dimensional e fabril ao produto final (PEREIRA, 2007). Esse fato traz diversos transtornos imediatos e futuros ao amputado porque dificulta a adaptação e a reabilitação nem sempre acontece dependendo dos fatores que levaram à amputação.

Com o intuito de solucionar tais inconvenientes, desenvolveu-se o presente equipamento, através do qual a sequência de medições superficiais obtidas em torno do coto é enviada em forma de dados, através de digitação, para o sistema de CAD para análises de

FEM, proporcionando, dessa forma, um melhor grau de precisão e acuracidade tendo em vista a necessidade de um produto que ofereça conforto e segurança ao amputado. O equipamento leitor é constituído, essencialmente, por um sistema mecânico no qual um mecanismo “apalpador seguidor”, dotado dos movimentos de rotação e de translação em relação ao eixo do referido coto, o que possibilita a obtenção de uma grande variação do numero total de medições (QUEIROZ, 2008). Este mecanismo, denominado Planetário, pode ser visto na figura 16.



Figura 16: planetário

No Planetário existem dois braços (figura 17) que se movimentam de forma sincronizada. No braço superior existe um rolete que contorna o coto do paciente (figura 18) ao mesmo tempo em que o braço inferior, através de um dispositivo marcador, registra as coordenadas de cada seção do coto em um disco gráfico (figura 19).



Figura 17: braços do planetário



Figura 18: rolete contornando coto

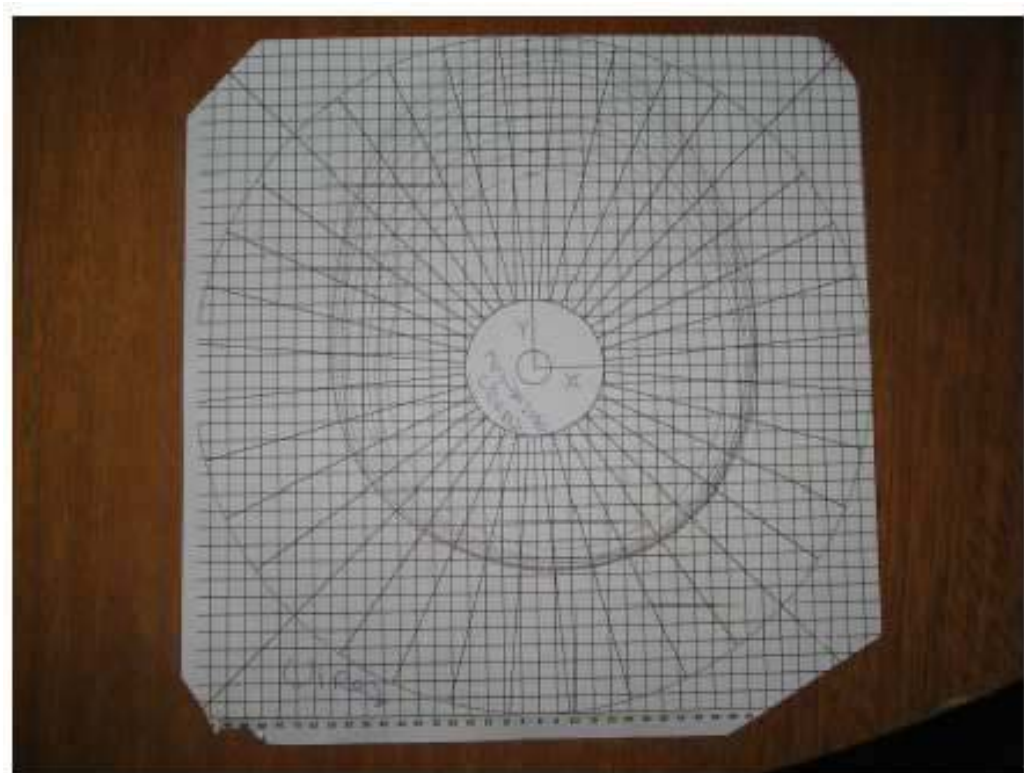


Figura 19: disco gráfico

No disco existem retículos que representam um sistema cartesiano bidimensional. Identificando o ponto no qual passa a marcação feita pelo planetário é especificada as suas coordenadas X e Y. Especificada as coordenadas elas são repassadas através de digitação ao programa OrtoCAD.

O Scanner 3D de Leitura Mecânica concebido, projetado e construído sob a orientação do prof. Roncalli traz avanços significativos no processo de produção de próteses para pernas. As medidas do coto feitas através dele apresentam menor grau de incerteza quando comparadas ao processo tradicional puramente artesanal. O processo deixa de depender da habilidade do protético para ser um trabalho de engenharia contemplando novas tecnologias. Pode-se afirmar também que o uso da Engenharia Reversa traduz a individualidade de cada paciente pois permite personalizar a sua prótese. Porém, existem melhorias que podem ser desenvolvidas e são justamente um dos objetivos desta dissertação de mestrado. Conforme descrito, a passagem das coordenadas obtidas pelo Scanner para o programa CAD é feita através de digitação. Além de demorado, dependendo da quantidade de coordenadas obtidas, este procedimento não é confiável, pois facilmente uma coordenada pode ser digitada incorretamente. Em vista disto concebeu-se e desenvolveu-se uma interface de comunicação

entre o Scanner e um computador. Desta forma as coordenadas obtidas são transmitidas diretamente ao programa CAD sem a necessidade de digitação.

4. Adaptação Eletrônica: resultados e discussões

O desafio de embarcar eletrônica em um equipamento pensado, projetado e fabricado para funcionar mecanicamente geralmente costuma ser complexo. Em muitos casos a solução é a elaboração e a fabricação de um novo equipamento. Porém, nesse caso, devido a prévia participação do autor na concepção do leitor puramente mecânico (ainda sem a adaptação eletrônica) não houve necessidade de reprojetar. Estudando o funcionamento do planetário, responsável por contornar a perna do paciente e registrar as coordenadas desta movimentação, percebe-se que o funcionamento dele era semelhante ao dos sistemas apontadores (Mouse, Touchpad, Trackball, Pen Tablet) usados nos computadores (ALECRIM, 2008).

Basicamente estes dispositivos registram e comunicam ao computador as coordenadas bidimensionais (2D) de sua movimentação sobre uma superfície plana. Ou seja, o mesmo princípio de funcionamento do planetário. Muda somente o processo do registro das coordenadas. Enquanto no planetário mecânico um lápis registra em um disco gráfico as coordenadas que posteriormente são repassadas ao computador através de digitação, nos sistemas apontadores elas são transmitidas diretamente ao computador.

4.1. Dispositivos Apontadores

Partindo deste estudo preliminar decidiu-se por investigar qual dispositivo apontador usado nos computadores melhor se adaptaria ao Scanner mecânico. Relacionaram-se os seguintes dispositivos para estudo: Mouse com esfera, Mouse óptico, Touchpad, Trackball e Pen Tablet.

4.1.1. Mouse com esfera (figura 20)

Ao movimentar o Mouse uma esfera localizada na parte inferior dele também se movimenta no mesmo sentido. O deslocamento da esfera é acompanhado por dois roletes que atuam no eixo X e Y. Ou seja, cada rolete indica a direção, no sentido do eixo X e do eixo Y, do movimento da esfera. A movimentação dos roletes é captada por um conjunto óptico constituído por um diodo fotoemissor e um transistor foto-receptor. O movimento do rolete é acompanhado por uma roldana com pequenos orifícios que fica entre o fotoemissor e o foto-

receptor. Estes orifícios estão dispostos de tal maneira que ora eles impedem, ora permitem a passagem da luz gerada pelo fotoemissor. Desta forma, é captado tanto o movimento do rolete quanto o sentido. Este movimento captado é repassado na forma de sinais elétricos a um circuito integrado que os transformam em coordenadas X e Y que são repassadas ao computador.

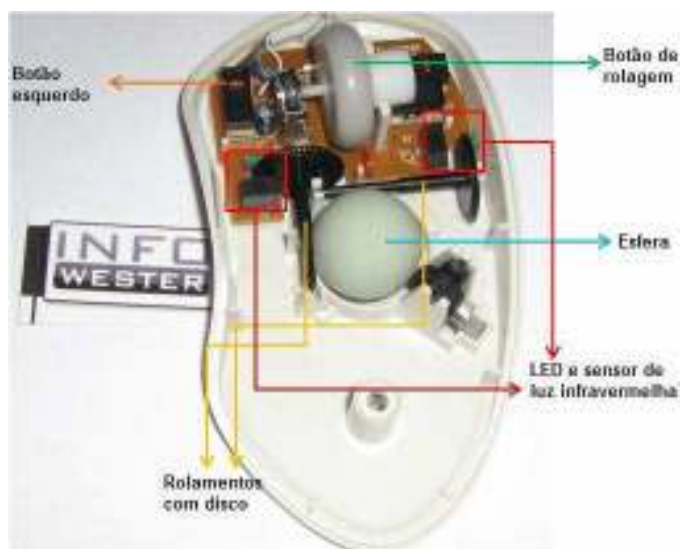


Figura 20: mouse com esfera

Este tipo de dispositivo foi largamente usado mas atualmente já foi substituído pelo Mouse Óptico. Um dos principais problemas que ele apresenta é o acúmulo, dentro do Mouse, de poeira e resíduos recolhidos pela esfera quando ela se movimentava. Estes resíduos comprometiam o funcionamento do Mouse, chegando muitas vezes a torná-lo inoperante. Exigindo então a atuação de um técnico para fazer a retirada dos resíduos e limpeza das partes internas.

4.1.2. Mouse Óptico

O Mouse Óptico (figura 21) é considerado uma evolução do tipo com esfera. Como já foi citado, o modelo com esfera acumulava muitos resíduos que exigiam uma manutenção periódica. No tipo Óptico a esfera é substituída por um sistema óptico constituído basicamente de um LED (Ligth Emitter Diode) e um sensor tipo CMOS ou CCD. O LED emite um feixe de luz que reflete na superfície na qual o Mouse está se movimentando. O feixe refletido é captado pelo sensor que forma uma imagem da superfície. Esta imagem é

repassada a um circuito integrado do tipo DSP (Digital Signal Processor ou Processador Digital de Sinais) que analisa a imagem comparando-a com imagens anteriormente captadas. Com esta análise o DSP consegue definir as coordenadas bidimensionais da movimentação do Mouse e transmite-as ao computador.

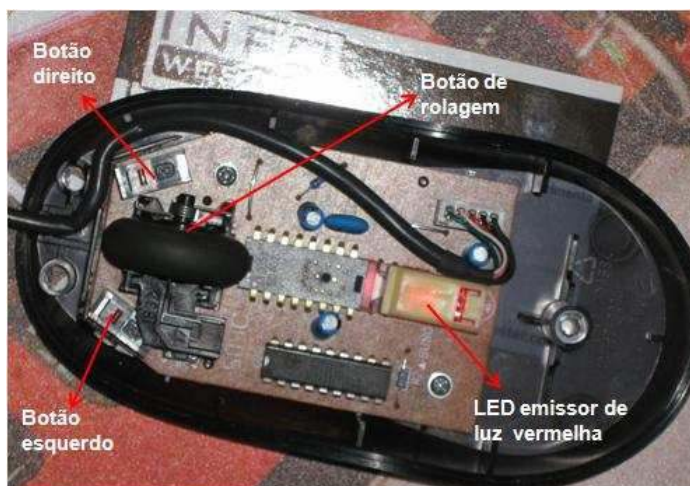


Figura 21: mouse óptico

Como não existe uma peça mecânica móvel (esfera) o tipo óptico não apresenta o problema do acúmulo de resíduos tornando-o mais confiável e durável que os modelos com esfera.

4.1.3. TouchPad

O dispositivo TouchPad (figura 22) se popularizou nos computadores portáteis tipo Notebook mas existem modelos para uso em qualquer tipo de computador. Ele possui uma superfície sensível ao toque. Ela é constituída de uma matriz de condutores que recebe constantemente um sinal de alta frequência. Ao pressionar com o dedo esta superfície alteram-se as características capacitivas do ponto tocado. Ou seja, o dedo funciona como um aterramento mudando as propriedades elétricas do ponto tocado. Esta mudança é percebida por um circuito integrado que transforma isto em coordenadas bidimensionais da movimentação do dedo sobre a superfície. Depois estas coordenadas são repassadas ao computador.



Figura 22: touchpad

4.1.4. Trackball

O Trackball (figura 23) tem o mesmo princípio de funcionamento do Mouse de esfera. A diferença é que manipula-se diretamente a esfera com o dedo. Para isto a esfera fica na parte superior do dispositivo e não embaixo. Ou seja, não movimenta-se o dispositivo mas somente a esfera.



Figura 23: trackball

4.1.5. Pen Tablet

O Pen Tablet (figura 24), também chamado de Mesa Digitalizadora, possui uma base sensível ao toque de uma caneta especial. As coordenadas bidimensionais da movimentação da ponta da caneta sobre esta base são repassadas ao computador que as processa e as utiliza de acordo com a aplicação corrente. Em uma aplicação de desenho, por exemplo, estas coordenadas serão usadas para plotar retas, curvas e formas livres. Em alguns modelos de Pen Tablet a caneta precisa de alimentação elétrica que é gerada por baterias apropriadas. A comunicação com o computador é feita pela base através de cabo conectado a porta USB.



Figura 24: Pen Tablet

A base do Pen Tablet é composta de várias trilhas condutoras dispostas conforme a figura 25. Onde as trilhas se cruzam existe uma fina camada isolante. Quando a ponta da caneta toca na base a pressão exercida faz com que as trilhas se toquem. Elas então passam a conduzir uma corrente elétrica. Como somente duas trilhas estão conduzindo, uma coordenada única da posição na qual a ponta da caneta tocou é estabelecida. Em alguns modelos de Pen Tablet um campo magnético criado pela caneta é detectado por somente duas trilhas. Isto possibilita que a coordenada única seja definida mesmo que a ponta não toque a base do Tablet.

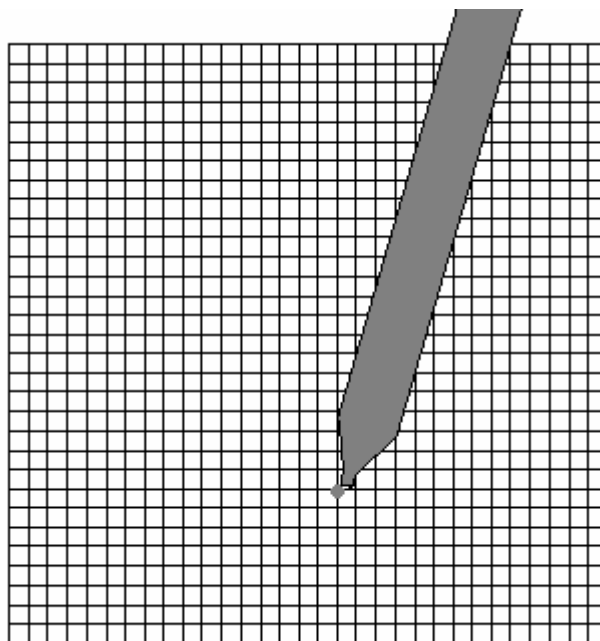


Figura 25: trilhas condutoras e caneta tocando um ponto da base

4.1.6. Escolha do Circuito mais Adequado

Conhecendo o funcionamento dos dispositivos apontadores fez-se uma análise objetivando à escolha do circuito mais adequado visando a adaptação eletrônica do Scanner mecânico. Como método de escolha adotou-se a Avaliação por Pontos (Niemann, 2002). Neste método listam-se várias particularidades das soluções e comparam-se elas através da atribuição de pontuação numérica a cada uma. A pontuação pode variar de 1 até 4, sendo 4 o ideal e 1 o pior resultado. A grande vantagem deste método é que analisa-se tanto a solução toda como suas particularidades separadamente. Com isto fica mais fácil identificar quais os pontos positivos e negativos de cada solução e o que pode ser melhorado em cada uma delas.

As particularidades usadas para comparação são as seguintes:

- Disponibilidade – facilidade de encontrar o dispositivo para aquisição no mercado;
- Confiabilidade – registro das coordenadas de movimentação corretamente;
- Adequabilidade ao planetário – possibilidade de implantação do dispositivo no planetário sem necessidade de mudanças de projeto;
- Custo – custo de aquisição do dispositivo;
- Necessidade de manutenção – tempo médio de exigência de manutenção.

O resultado da avaliação está na tabela 2.

Tabela 2: avaliação por pontos

Característica	Mouse Óptico	Trackball	Touchpad	Mouse com Esfera	Pen Tablet	Ideal
Disponibilidade	4	1	2	3	3	4
Confiabilidade	4	1	1	1	4	4
Adequabilidade ao planetário	1	1	1	1	4	4
Custo (K)	3	2	1	4	3	4
Necessidade de Manutenção	4	2	4	1	4	4
Soma (Z)	16	7	9	10	18	20 (Zi)
Valor Técnico ($X=Z/Z_i$)	0,80	0,35	0,45	0,50	0,90	1

Os modelos com esfera (Mouse e Trackball) apresentam problemas distintos que dificultariam a sua adoção. O Mouse apresenta o inconveniente do acúmulo de resíduos que exigiria manutenções periódicas e comprometimento do funcionamento do Scanner. Já o Trackball por apresentar a esfera voltada para cima exigiria um novo projeto do planetário e novos estudos para determinar se ele conseguiria registrar as coordenadas corretamente. O Touchpad seria uma opção interessante mas exige que o objeto que pressiona sua superfície funcione como um aterramento. Com o dedo consegue-se ter este efeito mas para atingir isto com outro material acrescentaria-se uma complexidade desnecessária ao mecanismo do planetário. O Mouse Óptico surge então como uma opção interessante pois não apresenta o inconveniente da esfera e tem fácil disponibilidade de modelos sem fio. Os com fio gerariam um problema pois como o apontador movimenta-se ao redor da perna o fio daria voltas ao redor dela. Com isto o fio ficaria enrolado na perna podendo emperrar o mecanismo de movimentação do planetário.

O Mouse Óptico sem fio surgiu como uma solução para este problema. Entretanto, durante nosso estudo notou-se que o movimento de rotação dos Mouse Ópticos e dos com Esfera fazia o eixo de coordenadas mover-se também. Desta forma, visualmente tem-se a

impressão que o Mouse está registrando as coordenadas de rotação em torno da perna do paciente. Todavia, na realidade ele registra uma curva tendendo ao infinito.

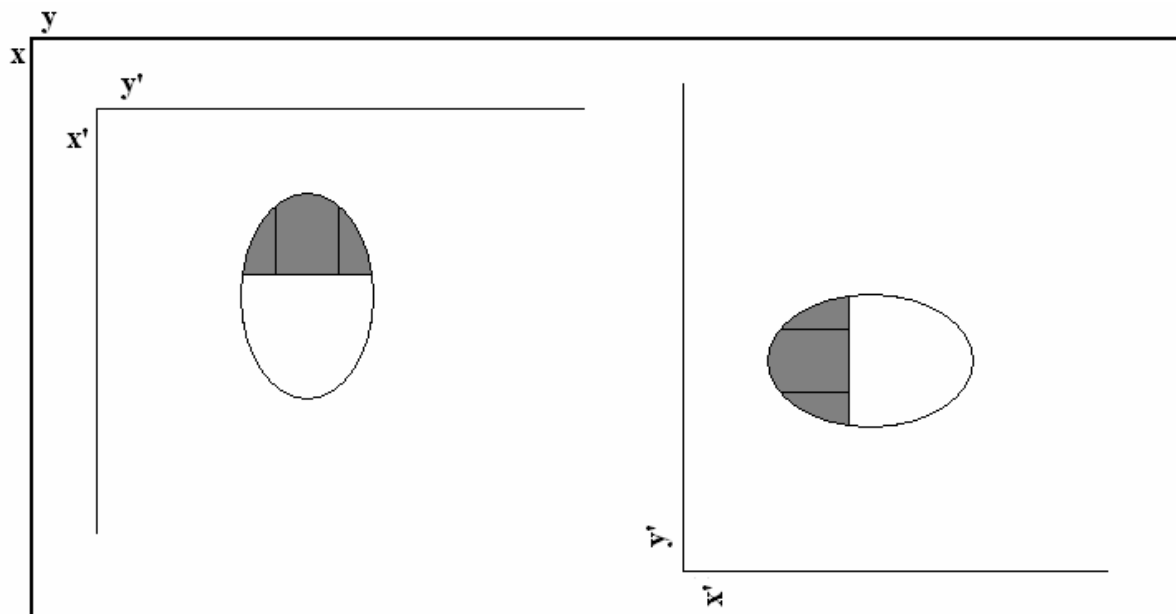


Figura 26: Movimentação do Mouse

Na figura 26 está ilustrada a dificuldade supracitada. Os eixos x e y são da base onde o Mouse se movimenta. Já os eixos x' e y' são os do Mouse. Pela figura nota-se que quando o Mouse move-se à esquerda ficando perpendicular a posição anterior, os eixos x' e y' acompanham esta movimentação.

Por assim procederem no registro de suas coordenadas de movimentação, os Mouses com Esfera e os Ópticos mostraram uma relevante inadequabilidade ao sistema original do planetário. Visto que o mesmo é baseado no movimento de rotação em torno da perna para registro correto das coordenadas do perímetro dela. Fez-se ainda um estudo, acrescentando pequenas rodas a base do Mouse, visando garantir que ele conseguiria contornar a perna permanecendo sempre paralelo ao eixo y da base do planetário. Esta solução mostrou-se complexa e sem garantias de conseguir manter o Mouse contornando a perna sem inclinar-se.

Então baseado na tabela de avaliação por pontos a escolha recaiu sobre o Pen Tablet. A caneta dele substitui naturalmente e com facilidade o apontador do planetário. A adaptação torna-se simples, pois todo o mecanismo de movimentação é mantido. Somente o lápis que

marca o disco gráfico é substituído pela caneta do Pen Tablet. Onde antes o lápis marcava no disco gráfico, agora a caneta movimenta-se sobre a base do Pen Tablet (figura 27).



Figura 27: caneta do Pen Tablet

Para adaptar a caneta ao braço do planetário foi projetada uma luva (figura 28) semelhante a já usada pelo lápis. Desta forma, a simples troca de luva permite que ora o planetário funcione no sistema anterior com um lápis marcando as coordenadas no disco gráfico, ora no novo sistema com Pen Tablet.



Figura 28: luva da caneta

4.1.7. Adequação do Pen Tablet ao Planetário

Durante os testes do novo sistema percebeu-se que quando a caneta estava acoplada ao braço do planetário ela não registrava as coordenadas de sua movimentação. Porém, ao colocá-la fora do braço ela passava a registrar. Estudando o problema chegou-se a conclusão que o braço feito de alumínio, que é um condutor elétrico, formava uma blindagem eletrostática no seu orifício de encaixe da caneta. Isto ocorre porque quando um condutor elétrico está em equilíbrio eletrostático, ou seja, não está ocorrendo movimento ordenado de cargas elétricas, o campo elétrico no seu interior é nulo (OLIVEIRA, 2003). Desta forma se existir uma concavidade neste condutor ela funcionará como uma blindagem impedindo a entrada ou saída de sinais elétricos induzidos. Desta forma, a caneta não conseguia atuar sobre a base do Pen Tablet. Este princípio foi comprovado por Faraday quando criou uma gaiola metálica e nela entrou com um eletroscópio. A superfície da gaiola foi eletrizada e Faraday não sofreu nenhum choque elétrico e nenhuma força elétrica conseguiu atuar sobre o eletroscópio. Assim uma tela metálica envolvendo uma certa região do espaço recebeu a denominação de Gaiola de Faraday (MARTINS, 2009).

Para resolver este problema um novo braço foi projetado usando TECHNYL® (RHODIA PRODUTOS TECHNYL, 2009) material que apresenta as características de resistência necessárias para atuar como braço marcador do planetário e não é condutor elétrico. O novo braço (figura 29) foi projetado de forma a substituir facilmente o de alumínio. Assim, luvas e encaixes usados anteriormente foram mantidos. Esta alteração indica a alta modularidade do projeto do planetário, na qual a substituição de um componente não implica no reprojetado dos outros.



Figura 29: braço de TECHNYL®

Outra adaptação necessária foi reduzir o tamanho da base do Pen Tablet. O modelo adotado foi um disponível comercialmente produzido pela Genius denominado WizardPen 4x3. O 4x3 do nome do modelo indica justamente as dimensões da área sensível da base em polegadas. Na colocação do Pen Tablet no planetário percebeu-se que o gabinete do mesmo era maior que a base do disco. Como o sistema do planetário rotaciona em volta deste disco era necessário diminuir o tamanho do gabinete para evitar que ele impedisse ou atrapalhasse este movimento. Usando uma micro-retífica equipada com um disco de corte (figura 30) o gabinete foi reduzido possibilitando sua colocação no planetário sem impedir o giro do mesmo.



Figura 30: corte do gabinete do Pen Tablet

4.2. Desenvolvimento de Software de Interface com Scanner

Foi desenvolvido um Software com função de fazer uma interface entre o Scanner e o OrtoCAD. As funções dele são a recepção das coordenadas X e Y, cálculo da coordenada Z e geração do arquivo LEM. A figura 31 mostra um fluxograma da interface.

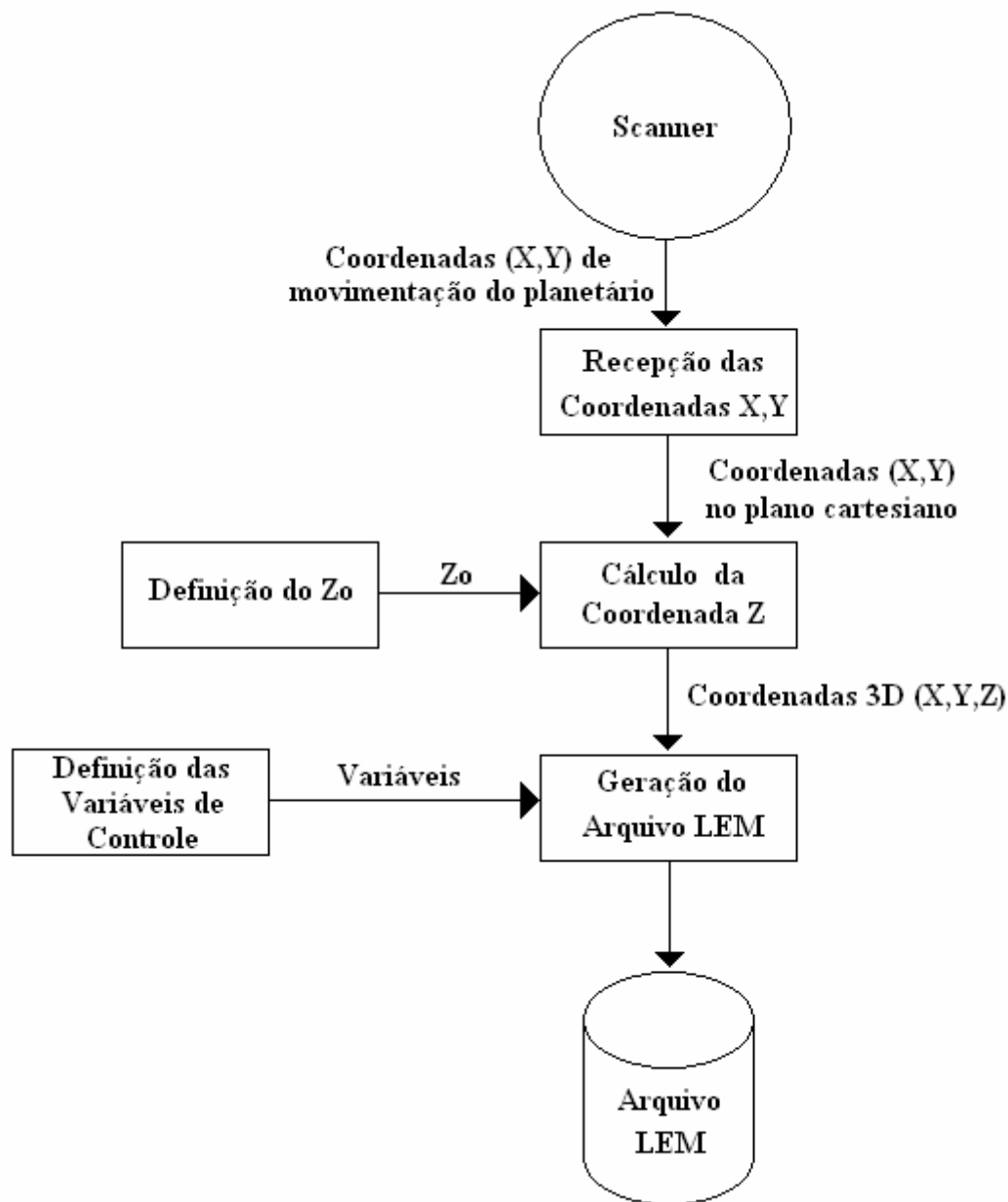


Figura 31: fluxograma da interface

4.3. Recepção das Coordenadas X e Y

Os dispositivos apontadores usados nos computadores, como já dito, registram as coordenadas de sua movimentação sobre um plano. Dependendo da resolução da tela este plano pode ter: 640 pontos horizontais e 480 verticais (640X480), 800 pontos horizontais e 600 verticais (800X600), 1240 horizontais e 780 verticais (1240X780), etc. Todos estes pontos estão dispostos em um só quadrante sendo a coordenada (0,0) a mais superior e a mais

à esquerda deste plano. A figura 32 mostra a distribuição e localização dos pontos na resolução 800X600.

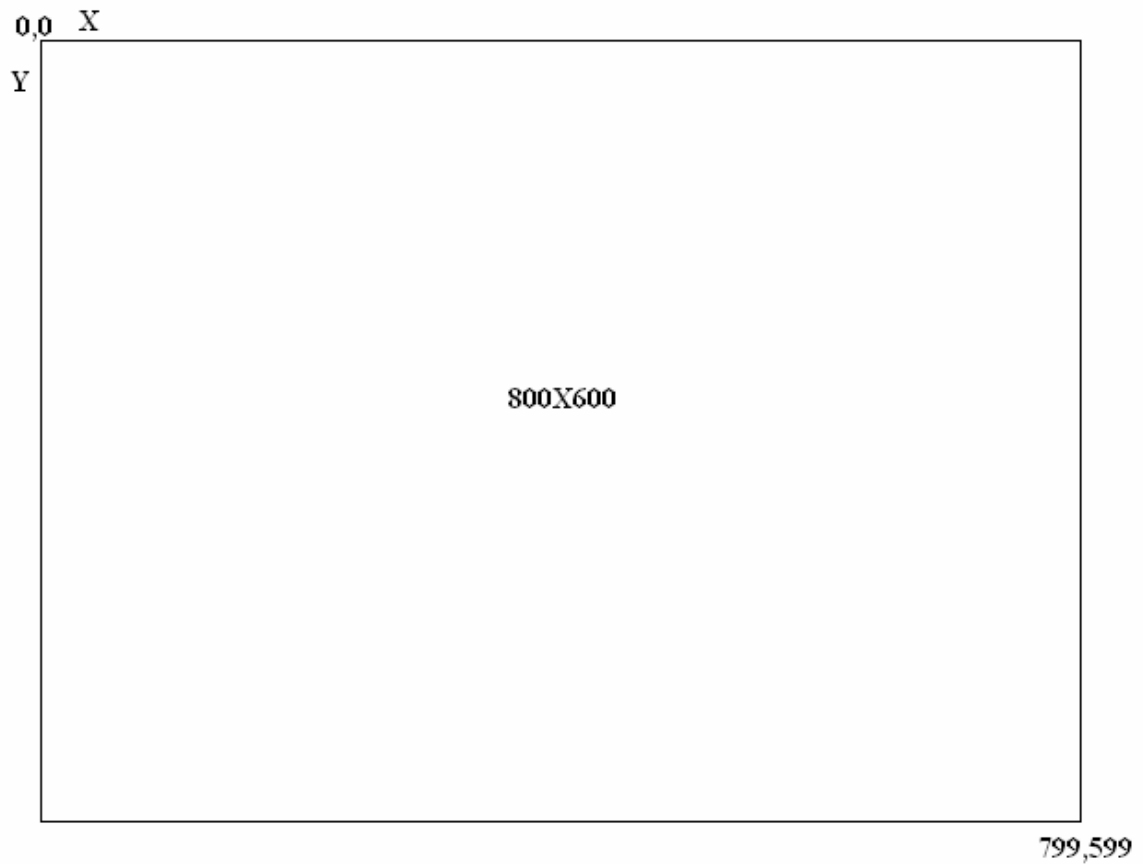


Figura 32: coordenadas na resolução 800X600

Em visto do exposto nota-se a necessidade de converter o sistema de coordenadas da tela do computador para o sistema cartesiano com seus quatro quadrantes e a possibilidade de valores negativos para X e Y. A figura 33 mostra o plano cartesiano sobre o plano da tela. Vê-se que o centro da tela passa ser o ponto de origem (0,0).

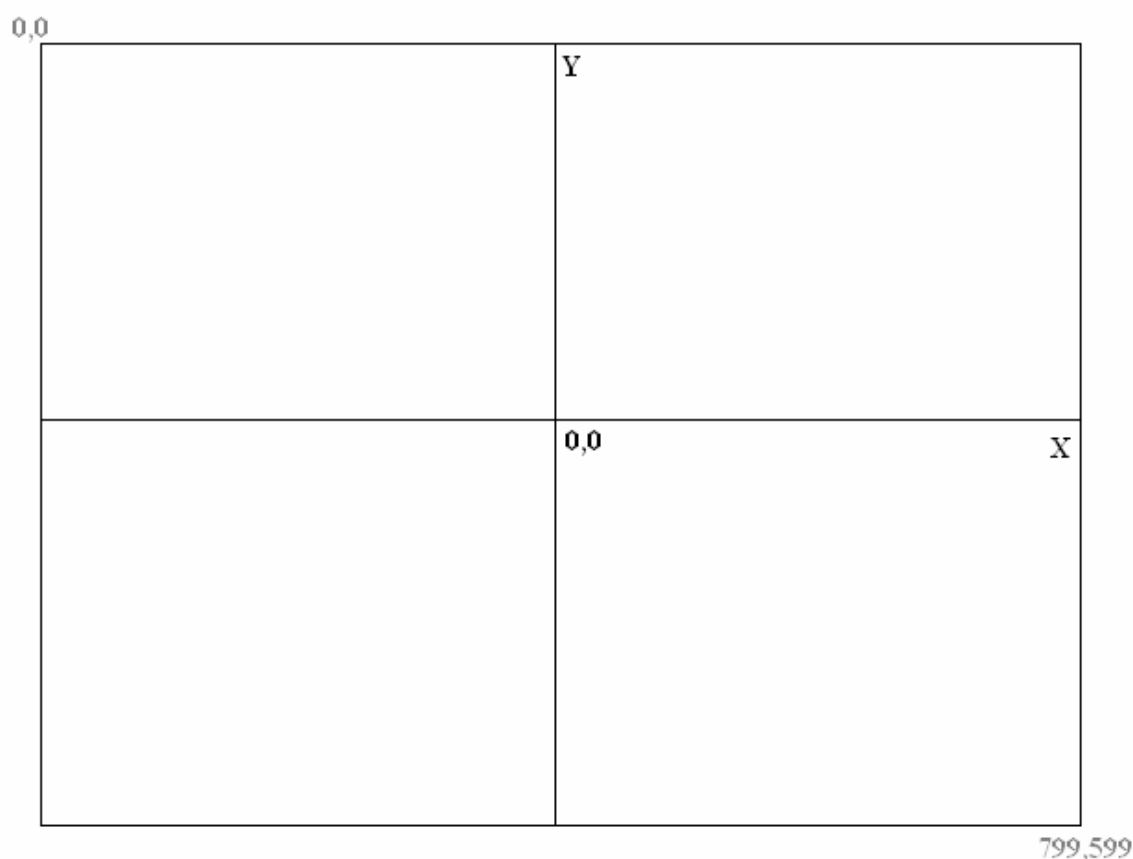


Figura 33: plano cartesiano sobre a resolução 800X600

Para fazer esta conversão o software de interface na recepção das coordenadas, repassadas pelo dispositivo apontador acoplado ao planetário do Scanner, detecta a resolução de tela usada pelo computador. A partir desta detecção são definidos valores de decremento para serem aplicados as coordenadas recebidas visando convertê-las ao sistema cartesiano. Os valores usados na resolução 800X600, por exemplo, são 400 para as coordenadas do eixo X e 300 para o eixo Y.

4.4. Obtenção da Terceira coordenada (Cálculo da coordenada Z)

Outra questão a ser resolvida é a obtenção da terceira coordenada. Tanto no Scanner mecânico como na adaptação eletrônica obtém-se as coordenadas bidimensionais (X e Y) do perímetro de uma seção do coto ou perna do paciente. Para obter-se a terceira coordenada (Z) visando à formação de uma imagem tridimensional, precisa-se saber a distância (altura) entre uma seção medida e a imediatamente superior a ela. Com este dado pode-se calcular a

coordenada Z através de uma simples operação de incremento. Considerando a base do planetário como $Z_0=a$ (figura 34) obtêm-se os valores de Z das outras seções fazendo uma simples operação de soma. Desta forma Z_1 é obtida através da soma Z_0+h na qual h é a distância entre duas seções adjacentes.

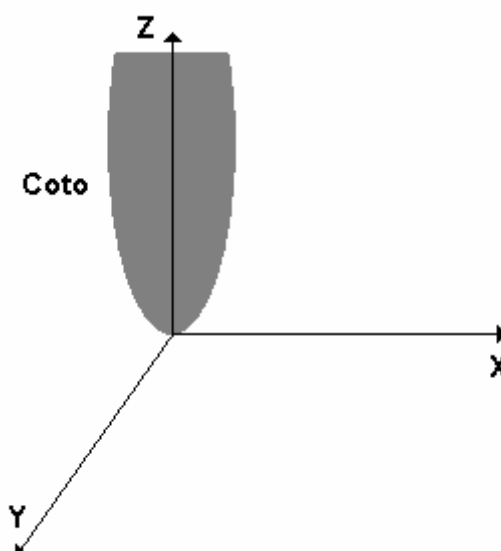


Figura 34: sistema de coordenadas 3D

Para processar as coordenadas bidimensionais enviadas pelo circuito eletrônico do Mouse adaptado ao Scanner e obter as coordenadas do eixo Z, foi desenvolvida uma interface computacional. O programa intercepta os dados enviados pelo circuito do Mouse ao computador e extrai as coordenadas X e Y de sua movimentação. Em seguida ele gera a coordenada Z. A coordenada tridimensional é automaticamente processada para visualização gráfica na tela do computador e então gravada diretamente em um arquivo LEM (Leitor Eletromecânico), formato criado para ser usado pelo ORTOCAD. O resultado é uma nuvem de pontos definindo a superfície do coto. Desta forma, o Scanner passa a se comunicar diretamente com o programa ORTOCAD sem precisar da digitação das coordenadas das seções da perna ou coto do paciente.

4.5. Geração do Arquivo LEM

O arquivo LEM (arquivo do leitor eletromecânico), como já citado, é o arquivo que recebe as coordenadas lidas pelo Scanner eletromecânico. Ele foi criado pelo nosso grupo de

pesquisa e é através dele que o programa OrtoCAD se comunica com o equipamento leitor. Basicamente ele é um arquivo texto que pode ser lido ou manipulado por qualquer programa editor de textos que reconheça a codificação de caracteres ASCII (American Standard Code for Information Interchange), como o Bloco de Notas (Microsoft Office Online, 2009).

Para facilitar a recuperação dos dados armazenados, um arquivo LEM possui uma formatação que define as posições das informações no seu interior. Além disto, rótulos também são usados para identificá-las. Para compreender isto vamos usar como exemplo o arquivo abaixo:

```

                                ARQUIVO_DO_LEITOR_ELETROMECHANICO

NS      ND      xi      yi      zi      Espessura      Id_Mat      E      Poisson
2       10      0       0       0       4              1          1500    0,3

Id      Seção    x       y       z
0       1       0.0    1.97    1.0
1       1       0.12   1.29    1.0
2       1       0.47   0.68    1.0
3       1       1.00   0.24    1.0
4       1       1.65   0.0     1.0
5       1       2.35   0.0     1.0
6       1       3.00   0.24    1.0
7       1       3.53   0.68    1.0
8       1       3.88   1.29    1.0
9       1       4.00   1.97    1.0
10      2       3.88   2.65    2.0
11      2       3.53   3.26    2.0
12      2       3.00   3.70    2.0
13      2       2.35   3.94    2.0
14      2       1.65   3.94    2.0
15      2       1.00   3.70    2.0
16      2       0.47   3.26    2.0
17      2       0.12   2.65    2.0
18      2       0.51   1.97    2.0
19      2       0.60   1.46    2.0

```

O arquivo possui um cabeçalho com parâmetros numéricos a respeito do objeto 3D representado. Estes parâmetros estão identificados pelos rótulos: NS, ND, xi, yi, zi, Espessura, Id_Mat, E e Poisson. A tabela mostra o significado de cada um deles.

Tabela 3: formato do arquivo LEM

Rótulo	Significado
NS	Número de seções
ND	Número de divisões
xi, yi e zi	Coordenadas iniciais de referência
Espessura	Espessura da parede do cartucho

Id_Mat	Código do material
E	Módulo de elasticidade do material do cartucho da prótese
Poisson	Coefficiente de Poisson do material do cartucho da prótese

Depois do cabeçalho existe uma relação das coordenadas tridimensionais obtidas pelo Scanner. Cada coordenada é rotulada com um identificador (Id) e com o número da seção (Seção), lida do coto, a qual ela pertence.

4.6. Testando a Adaptação Eletrônica e Interface com Computador

Para executar o teste da adaptação eletrônica e da interface usou-se um manequim feminino destes usados em lojas de roupas para exposição. A porção inferior da perna até acima do joelho foi retirada simulando uma amputação na altura do fêmur (figura 35). Como as dimensões da área sensível da base do Pen Tablet são menores que a base do disco gráfico precisou-se definir um deslocamento entre o braço apalpador seguidor e o braço marcador. O braço marcador com a respectiva caneta acoplada fica posicionado mais próximo do centro do disco (figura 35). Este deslocamento tem que ser informado ao software da Interface para ser incrementado nos valores das coordenadas obtidas. Uma solução inicial usada foi medi-lo com um paquímetro. Como o deslocamento é o mesmo para todas as seções do coto ele só precisa ser informado uma vez.



Figura 35: posicionamento do braço marcador no manequim

Para observar visualmente o funcionamento da adaptação foi feito um teste do mecanismo plotando na tela do computador o contorno executado pelo mecanismo. O resultado da medição de várias seções do coto do manequim pode ser visto na figura 36. Na figura as medições estão sobrepostas.

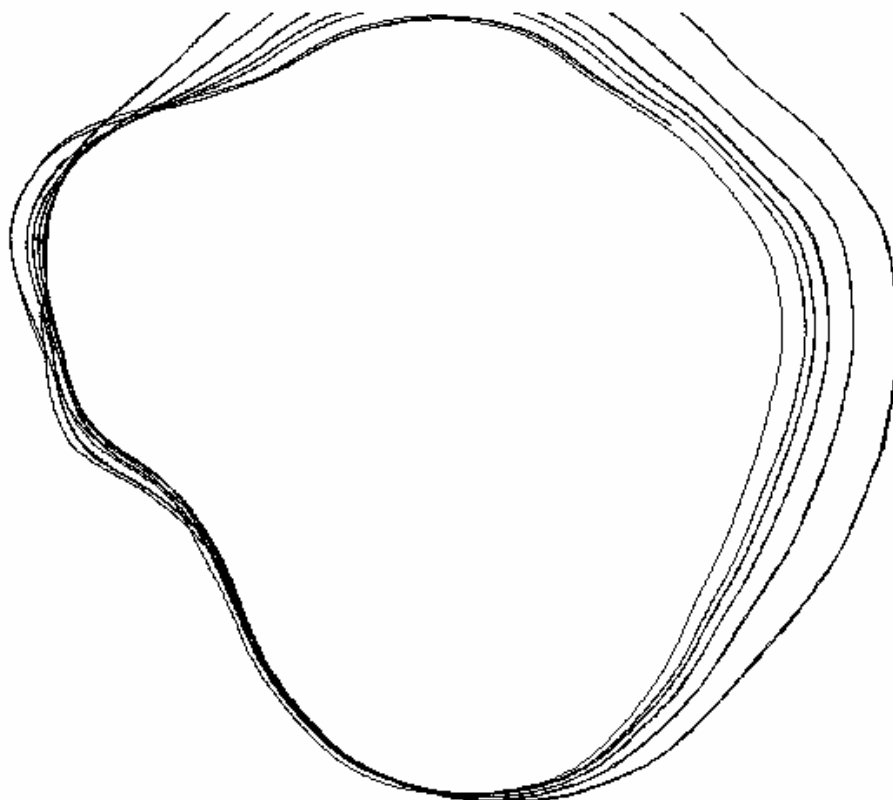


Figura 36: medições das seções do coto do manequim

Após a verificação visual do funcionamento da adaptação fez-se uma captura das coordenadas de cada seção do coto lida e geração do arquivo LEM. O arquivo gerado pode ser visto no apêndice 1 deste texto. Na figura 37 tem o resultado da leitura de um arquivo LEM.

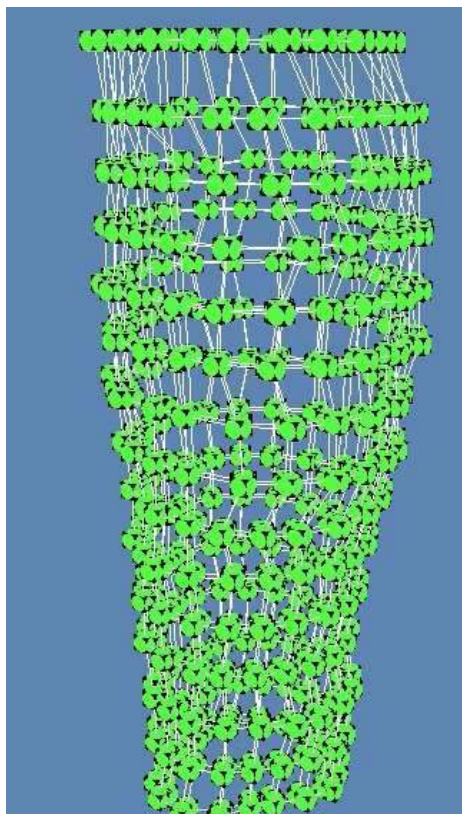


Figura 37: coto plotado no OrtoCAD

4.7. Resolução das medições realizadas

Na versão puramente mecânica do leitor um ponto era obtido a cada 10 graus com uma resolução de um milímetro (QUEIROZ, 2008). Esta resolução era determinada pelo disco gráfico no qual eram registradas as coordenadas de movimentação de uma caneta. No leitor eletromecânico um ponto é registrado a cada 2 graus com resolução de 0,1 mm. A resolução alcançada pelo leitor eletromecânico diminui acentuadamente o grau de incerteza das medidas realizadas. A geometria obtida se aproxima mais da forma real do coto do paciente.

5. Prototipagem Rápida de Próteses: resultados e discussões

A integração de programas CAD com sistemas de prototipagem rápida exige a geração de um arquivo de comunicação. Isto é necessário pois as máquinas de prototipagem rápida não conseguem interpretar os formatos de imagem fornecidos pelos programas CAD. O formato de arquivo comumente usado para este processo é o STL. Como visto anteriormente, este formato, padrão de fato para arquivos de RP, descreve uma representação triangular da geometria bidimensional da superfície de um objeto. Já os programas CAD utilizam formatos diversos para representar a superfície dos objetos. Porém, as coordenadas dos vértices da forma geométrica são as mesmas. Então, o que precisa ser feito, objetivando a conversão de um formato CAD em STL, é a geração de eixos que conectem estes pontos formando triângulos irregulares. Este processo é chamado de triangulação e existem vários métodos desenvolvidos para esta finalidade. Basicamente eles definem regras para conexão de pontos próximos.

A triangulação de Delaunay é um destes métodos. A principal característica dele baseia-se no conceito de círculos vazios que é um critério de proximidade oriundo do Diagrama de Voronoi. Basicamente, este critério define que se o círculo formado pelos vértices de um triângulo não contém nenhum outro ponto deste mesmo espaço métrico em seu interior (OLIVEIRA, 2009), então este é um triângulo válido para o método. A figura 38 mostra dois triângulos válidos pois no interior da circunferência que os envolve não existe nenhum outro ponto da nuvem.

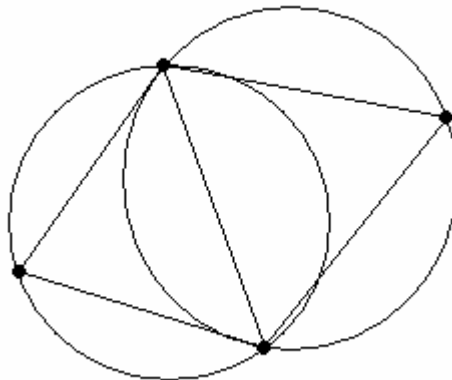


Figura 38: círculos vazios

5.1. Diagrama de Voronoi

A geração da malha de triângulos no método de Delaunay está diretamente relacionada à geração dos polígonos do Diagrama de Voronoi. Nesta geração dado um espaço vetorial V constituído de vários pontos v_i (onde i varia de 1 até n) cada aresta do polígono é formada pela união de dois pontos. A regra para esta união é que os pontos de interesse usados para formar as arestas do polígono têm que ser o mais próximo de um dado ponto do espaço V (ponto focal). Na figura 39 vê-se um diagrama de Voronoi onde os pontos focais dados são v_1 , v_2 , v_3 , v_4 e v_5 . As arestas formadas pela união dos pontos mais próximos dos pontos focais dados formam os polígonos do diagrama.

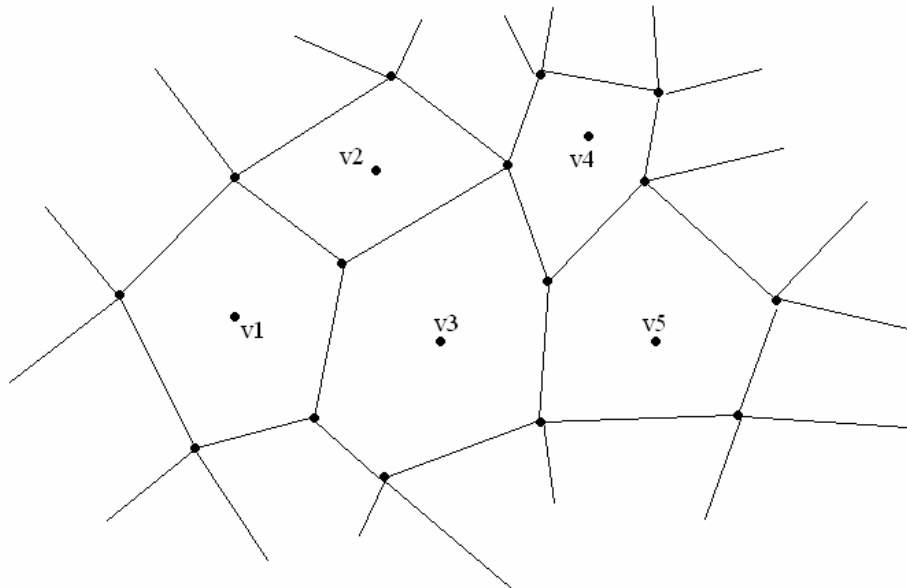


Figura 39: Diagrama de Voronoi

Na triangulação de Delaunay também se divide um espaço vetorial em polígonos, porém todos os polígonos são triângulos irregulares. Neste método não se procura os pontos mais próximos de um dado ponto para formar um polígono, mas os três pontos mais próximos que formam um triângulo. Ou seja, caso mais de três pontos do espaço sejam co-circulares então eles não formam um triângulo válido para o método.

5.2. Geração da Malha de Delaunay

Em uma nuvem de pontos a quantidade de malhas de triângulos que pode ser gerada é praticamente ilimitada. Delaunay mostrou que existe uma única triangulação “que resulta em um conjunto de triângulos o mais próximo possível de triângulos equiláteros” (MAGALHÃES, 2000). Esta característica torna este método mais adequado à resolução de problemas geométricos usando Método dos Elementos Finitos (MAGALHÃES, 2000).

Para geração da malha existem vários algoritmos que implementam o método. Em (KANAGANATHAN, 1991) foi feita uma comparação entre algoritmos de triangulação de Delaunay. No presente trabalho usou-se um algoritmo heurístico buscando uma solução de implementação fácil. A seguir uma descrição do funcionamento do algoritmo a partir de uma nuvem de pontos dada.

Escolhe-se um ponto da nuvem usando como regra começar por um dos cantos da área. Por exemplo, um ponto situado no canto superior esquerdo. Duas circunferências são traçadas tendo como centro o ponto escolhido e o ponto mais próximo dele respectivamente (figura 40). O raio destas circunferências tem que ser maior que a metade do comprimento do segmento de reta (primeiro lado do triângulo) que une os dois pontos.

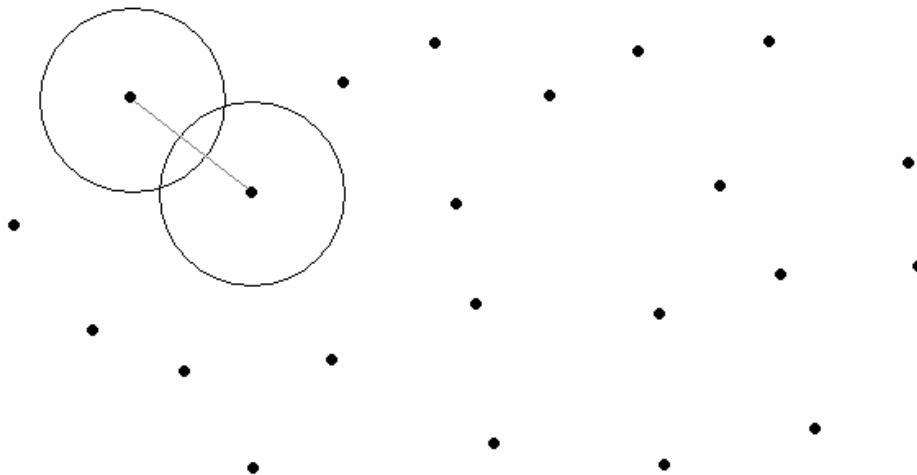


Figura 40: escolha do ponto inicial e definição do primeiro lado do triângulo

Uma reta perpendicular ao segmento de reta que une os dois pontos iniciais é traçada passando justamente no meio dele (figura 41). Ela tem que passar pelos dois pontos de intercepção das duas circunferências.

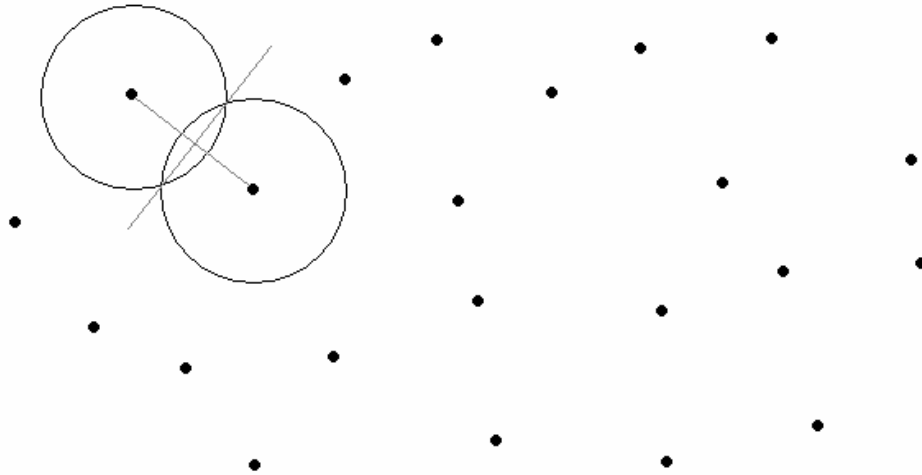


Figura 41: reta perpendicular

Começa o processo novamente traçando uma reta unindo o ponto inicial escolhido e o segundo ponto mais próximo. Novamente duas circunferências são traçadas tendo como centro os dois pontos.

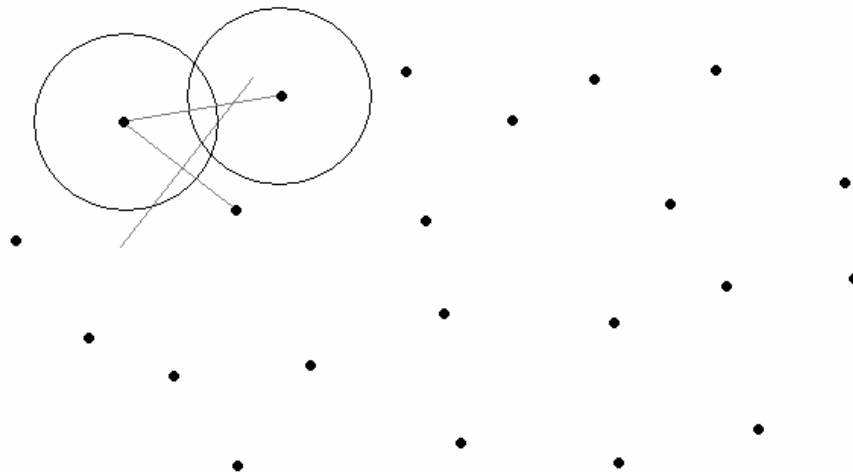


Figura 42: definição do segundo lado do triângulo

Novamente uma reta perpendicular ao novo lado é traçada. Da mesma forma já vista ela tem que passar pelos dois pontos de intercepção das circunferências (figura 43). O ponto

de interseção dela com a reta perpendicular ao outro lado é o centro da circunferência que irá passar pelos três pontos do triângulo.

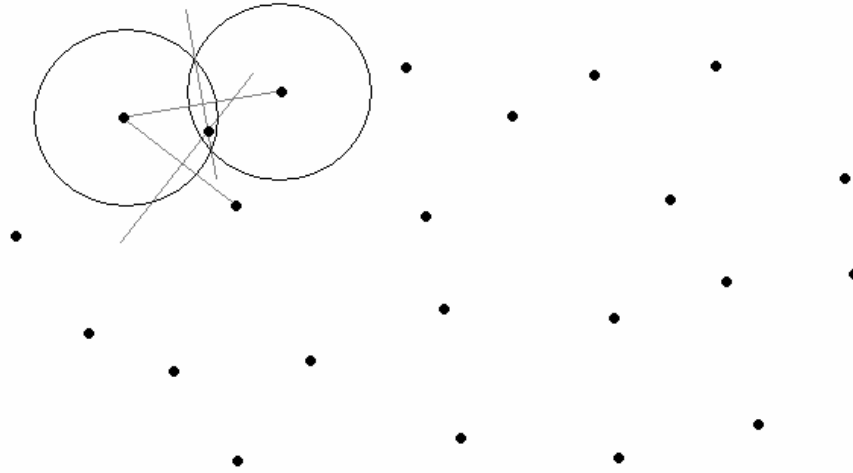


Figura 43: definição do ponto central do círculo

Agora o último lado do triângulo é traçado juntamente com o círculo que passa pelos três pontos do triângulo gerado (figura 44).

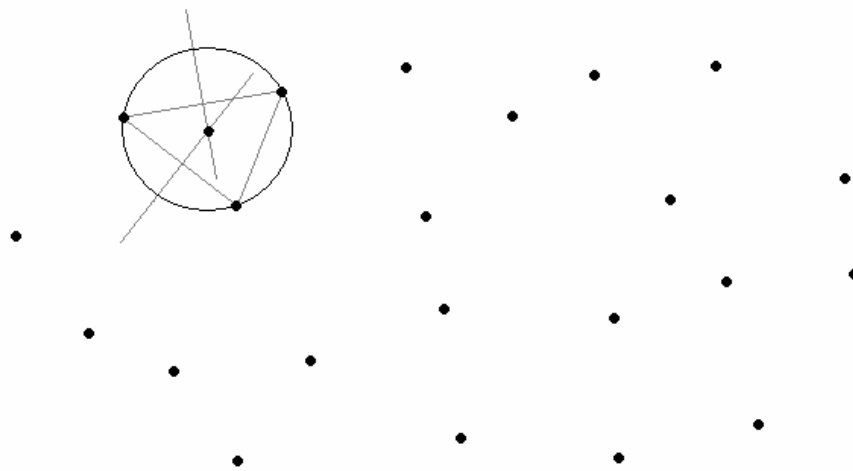


Figura 44: circunferência traçada passando pelos três pontos do triângulo

Se dentro deste círculo não se encontra nenhum outro ponto da nuvem então este é um triângulo válido no método Delaunay. O algoritmo continua executando estas interações até concluir a triangulação de toda a nuvem de pontos.

6. Conclusões e Sugestões de Trabalhos Futuros

6.1. Conclusões

Nesse projeto foi investigada uma solução de adaptação eletrônica de Scanner 3D de Leitura Mecânica para Auxílio na Confeção de Próteses Ortopédicas e interface do mesmo com um computador, além de comunicação do OrtoCAD com equipamento de prototipagem rápida. Como conclusões obtidas a partir dos resultados alcançados têm-se:

- A concepção de um leitor mecânico projetado objetivando a adaptação eletrônica mostrou-se bem sucedida, pois a mudança do sistema puramente mecânico para o eletromecânico é conduzida através da simples substituição da caneta usada e conexão da base do Pen Tablet.
- A adaptação eletrônica implantada no planetário do Scanner funcionou adequadamente capturando as coordenadas das seções do coto.
- O programa de Interface do Scanner com o computador recebeu as coordenadas obtidas pela adaptação eletrônica gerando o arquivo LEM permitindo assim sua leitura pelo OrtoCAD.
- Um algoritmo de triangulação usando o método de Delaunay foi proposto objetivando a conversão do arquivo do OrtoCAD em arquivo STL.

6.2. Sugestões

O autor indica como sugestões de trabalhos futuros que dariam prosseguimento aos estudos feitos no presente trabalho:

- O Pen Tablet usado na adaptação eletrônica é do tipo comercial. Suas dimensões externas e internas precisaram ser adequadas ao tamanho da base do disco gráfico do planetário usando ferramentas e equipamentos de corte. Sugere-se então que

seja projetada e produzida uma base de Pen Tablet adequada às dimensões da base do disco gráfico.

- Implementação e teste do algoritmo de triangulação de Delaunay proposto visando a conversão do formato do OrtoCAD no formato STL, bem como a produção de um molde do cartucho de prótese em equipamento de prototipagem rápida.

7. Referências Bibliográficas

ALECRIM, Emerson. **Mouses: funcionamento, tipos e principais características**. Disponível em: <<http://www.infowester.com/mouse.php>>. Acesso em: agosto de 2008.

CIOQUETA, H.R., Neto, F.P.L. **Idealização, Projeto e Construção de um Braço Digitalizador 3D**. Revista Eletrônica de Iniciação Científica da Sociedade Brasileira de Computação – Ano III, Volume III, Número III, ISSN 1519-8219, 2003.

FERNEDA, A.B. **Integração Metrologia, CAD e CAM: uma contribuição ao estudo de Engenharia Reversa**. Dissertação de Mestrado, Universidade de São Paulo – USP, Escola de Engenharia de São Carlos, São Carlos, Brasil, 1999.

FERREIRA, Jose C., ALVES, Nuno F., BARTOLO, Paulo J.S., CARDOSO, A., LOPES, J. **Rapid manufacturing of medical prostheses from reverse engineering**. Ciência & Tecnologia dos Materiais, Vol. 18, nº 3 / 4, 2006.

LACERDA, Ivan Max Freire de, Queiroz, William Fernandes, Silva, Luzinário Gomes, Pereira, Edson J. Alcântara, Guerra, Ângelo Roncalli Oliveira. **Concepção de Scanner 3D de Leitura Mecânica para Auxílio na Confecção de Próteses Ortopédicas**, V Congresso Nacional de Engenharia Mecânica – CONEM 2008, Salvador, Brasil, 2008.

LIMA, Cristiane Brasil. **Engenharia Reversa e Prototipagem Rápida – Estudos de Caso**. Dissertação de Mestrado, Universidade Estadual de Campinas – Unicamp, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, Campinas, Brasil, 2003.

LITWILLER, Dave. **CCD vs. CMOS: Facts and Fiction**. Disponível em: <http://www.dalsa.com/shared/content/Photonics_Spectra_CCDvsCMOS_Litwiller.pdf>. Acesso em: agosto de 2008.

KANAGANATHAN, S. Goldstein, N. B. **Comparison of Four-point Adding Algorithms for Delaunay-type Three-dimensional Mesh Generators**. IEEE Transaction on Magnetics, v.27, n.3, p.3444-3451, 1991.

MAGALHÃES, guilherme M., PASSARO, Angelo, ABE, Nancy Mieko. **Geração de Malha de Delaunay Orientada a Objetos**. Anais do Worcomp'2000 – Workshop de Computação, pp. 73-79, São José dos Campos, São Paulo, Brasil, 2000.

MARTINS, Luciano Camargo. **Mundo Físico – A Física como você nunca viu**. Disponível em <<http://www.mundofisico.joinville.udesc.br/PreVestibular/2005-1/mod1/node1.html>>. Acesso em Janeiro de 2009.

Microsoft Office Online. **Tabela de Caracteres ASCII**. Disponível em <<http://office.microsoft.com/pt-pt/word/HA011331362070.aspx>>. Acesso em Janeiro de 2009.

NIEMMAN, Gustav. **Elementos de Máquinas – Volume I**, Editora Edgard Blucher, São Paulo, Brasil, 2002.

OLIVEIRA, Henrique José Monteiro. **Modelação Digital de Terrenos**. Disponível em <http://www.estig.ipbeja.pt/~hjmo/MDT/mdt_03.pdf>. Acesso em Janeiro de 2009.

OLIVEIRA, Michelli Silva de, Santos, Wilma Machado Soares. **Ensino da Eletrostática através de aplicações tecnológicas de nosso cotidiano**. Ata do XV Simpósio Nacional de Ensino de Física. Curitiba, Paraná, Brasil, 2003.

PEREIRA, Edson J. Alcântara. **CAD e Engenharia Reversa como ferramentas de auxílio na fabricação de cartuchos para próteses ortopédicas**. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Rio Grande do Norte – UFRN, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, Natal, Brasil, 2007.

PUNTAMBEKAR, N.V., Jablokow, A.G., Sommer III, H. J. **Unified review of 3D model generation for Reverse Engineering**. Computer Integrated Manufacturing Systems, Vol. 7, No. 4, pp. 259-268, 1994.

QUEIROZ, William Fernandes. **Desenvolvimento de Métodos Construtivos e de Novos Materiais Empregados na Confecção de Cartuchos de Próteses de Membros Inferiores**. Tese de Doutorado, Universidade Federal do Rio Grande do Norte – UFRN, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, Natal, Brasil, 2008.

ReverseEngineering_Silberpfeil_notext.png. 2008. Altura: 1949 pixels. Largura: 1679 pixels. 96 dpi. 1,95 MB. Formato PNG. Disponível em: <http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/a/a0/ReverseEngineering_Silberpfeil_notext.png>. Acesso em: outubro de 2008.

RHODIA PRODUTOS TECHNYL. Disponível em <http://www.rhodia-ep.com.br/produtos/produtos_technyl.htm>. Acesso em Janeiro de 2009.

SILVA, Luzinário Gomes, Guerra, Ângelo Roncalli Oliveira, Queiroz, William Fernandes, Pereira, Edson J. Alcântara, Lacerda, Ivan Max Freire de. **ORTOCAD I: uma solução CAD 3D baseada em Engenharia Reversa para auxiliar na fabricação de próteses ortopédicas**, 8º Congresso Iberoamericano de Ingeniería Mecánica - CIMBIM8, Cusco, Peru, 2007.

SOUZA, Mauren Abreu de, Centeno, Tania Mezzadri, Pedrini, Helio. **Integrando reconstrução 3D de imagens tomográficas e prototipagem rápida para a fabricação de modelos médicos**. Revista Brasileira de Engenharia Biomédica, Vol. 19, No 2, pp. 103-115, 2003.

VOLPATO, Neri. **Prototipagem Rápida – Tecnologia e Aplicações**. Editora Edgard Blucher, São Paulo, Brasil, 2006.

8. Apêndice 1 – Exemplo de arquivo LEM

LEITOR_ELETROMECANICO

		Coordenada_da_Origem			Espessura	Id_Mat	E	Poisson
NS	ND	Xi	Yi	Zi				
7	18	0.000	0.000	0.000	5	1	2	3
Id	Seção	x	y	z				
1	1	270	-227	500				
2	1	265	-230	500				
3	1	262	-232	500				
4	1	256	-235	500				
5	1	252	-237	500				
6	1	249	-240	500				
7	1	246	-244	500				
8	1	243	-245	500				
9	1	239	-246	500				
10	1	236	-248	500				
11	1	234	-249	500				
12	1	231	-250	500				
13	1	227	-251	500				
14	1	224	-252	500				
15	1	221	-253	500				
16	1	218	-255	500				
17	1	215	-255	500				
18	1	212	-256	500				
19	1	208	-258	500				
20	1	205	-258	500				
21	1	202	-260	500				
22	1	200	-260	500				
23	1	196	-261	500				
24	1	193	-263	500				
25	1	190	-263	500				
26	1	186	-264	500				
27	1	183	-264	500				
28	1	180	-264	500				
29	1	177	-264	500				
30	1	174	-265	500				
31	1	171	-266	500				
32	1	167	-265	500				
33	1	164	-265	500				
34	1	161	-266	500				
35	1	158	-265	500				
36	1	155	-267	500				
37	1	152	-266	500				
38	1	148	-267	500				
39	1	145	-267	500				
40	1	142	-267	500				
41	1	139	-266	500				
42	1	136	-265	500				
43	1	133	-266	500				
44	1	130	-265	500				
45	1	127	-265	500				
46	1	124	-264	500				
47	1	121	-263	500				
48	1	117	-263	500				
49	1	114	-262	500				
50	1	111	-262	500				
51	1	108	-262	500				
52	1	105	-261	500				
53	1	102	-261	500				
54	1	99	-260	500				
55	1	96	-259	500				
56	1	93	-257	500				
57	1	89	-257	500				
58	1	86	-256	500				
59	1	83	-255	500				
60	1	80	-255	500				
61	1	77	-254	500				
62	1	74	-252	500				
63	1	71	-251	500				
64	1	67	-251	500				
65	1	64	-250	500				
66	1	61	-248	500				
67	1	58	-247	500				

68	1	55	-246	500
69	1	52	-244	500
70	1	49	-244	500
71	1	46	-242	500
72	1	42	-241	500
73	1	40	-239	500
74	1	36	-237	500
75	1	33	-236	500
76	1	30	-234	500
77	1	27	-233	500
78	1	24	-232	500
79	1	21	-230	500
80	1	18	-229	500
81	1	15	-228	500
82	1	12	-228	500
83	1	9	-227	500
84	1	6	-225	500
85	1	3	-225	500
86	1	0	-223	500
87	1	-3	-222	500
88	1	-6	-220	500
89	1	-9	-218	500
90	1	-12	-214	500
91	1	-15	-210	500
92	1	-21	-208	500
93	1	-22	-205	500
94	1	-22	-203	500
95	1	-23	-200	500
96	1	-23	-197	500
97	1	-23	-195	500
98	1	-23	-192	500
99	1	-24	-190	500
100	1	-23	-187	500
101	1	-24	-185	500
102	1	-23	-182	500
103	1	-23	-180	500
104	1	-23	-177	500
105	1	-24	-175	500
106	1	-28	-172	500
107	1	-31	-169	500
108	1	-34	-169	500
109	1	-38	-169	500
110	1	-41	-168	500
111	1	-44	-168	500
112	1	-48	-168	500
113	1	-51	-167	500
114	1	-53	-167	500
115	1	-57	-166	500
116	1	-60	-165	500
117	1	-65	-163	500
118	1	-71	-162	500
119	1	-76	-161	500
120	1	-81	-159	500
121	1	-84	-158	500
122	1	-87	-157	500
123	1	-90	-156	500
124	1	-93	-155	500
125	1	-96	-153	500
126	1	-99	-153	500
127	1	-103	-151	500
128	1	-106	-149	500
129	1	-109	-145	500
130	1	-112	-143	500
131	1	-118	-136	500
132	1	-123	-131	500
133	1	-131	-127	500
134	1	-135	-122	500
135	1	-136	-117	500
136	1	-137	-112	500
137	1	-139	-108	500
138	1	-140	-103	500
139	1	-141	-99	500
140	1	-141	-94	500
141	1	-141	-89	500
142	1	-141	-85	500
143	1	-141	-80	500
144	1	-140	-75	500

145	1	-140	-71	500
146	1	-139	-67	500
147	1	-137	-62	500
148	1	-136	-57	500
149	1	-134	-52	500
150	1	-133	-48	500
151	1	-131	-44	500
152	1	-130	-39	500
153	1	-128	-34	500
154	1	-128	-30	500
155	1	-126	-25	500
156	1	-123	-20	500
157	1	-122	-16	500
158	1	-121	-11	500
159	1	-119	-6	500
160	1	-117	-2	500
161	1	-115	3	500
162	1	-113	8	500
163	1	-111	12	500
164	1	-108	17	500
165	1	-104	21	500
166	1	-101	26	500
167	1	-97	31	500
168	1	-92	35	500
169	1	-86	40	500
170	1	-80	45	500
171	1	-75	50	500
172	1	-69	57	500
173	1	-64	61	500
174	1	-59	65	500
175	1	-53	68	500
176	1	-48	72	500
177	1	-43	76	500
178	1	-37	79	500
179	1	-32	83	500
180	1	-26	86	500
181	1	-20	88	500
182	1	-15	92	500
183	1	-9	95	500
184	1	-4	98	500
185	1	2	100	500
186	1	7	104	500
187	1	13	107	500
188	1	19	109	500
189	1	24	112	500
190	1	30	115	500
191	1	35	118	500
192	1	41	121	500
193	1	46	124	500
194	1	52	125	500
195	1	58	129	500
196	1	63	131	500
197	1	68	132	500
198	1	75	136	500
199	1	80	137	500
200	1	87	142	500
201	1	92	145	500
202	1	98	147	500
203	1	103	149	500
204	1	109	152	500
205	1	114	155	500
206	1	120	158	500
207	1	125	160	500
208	1	131	163	500
209	1	137	165	500
210	1	178	177	500
211	1	184	178	500
212	1	189	180	500
213	1	195	180	500
214	1	200	182	500
215	1	206	183	500
216	1	211	183	500
217	1	216	184	500
218	1	222	184	500
219	1	227	184	500
220	1	233	185	500
221	1	239	185	500

222	1	244	185	500
223	1	250	185	500
224	1	256	185	500
225	1	262	184	500
226	1	267	184	500
227	1	271	184	500
228	1	274	184	500
229	1	277	183	500
230	1	280	182	500
231	1	283	182	500
232	1	286	181	500
233	1	289	181	500
234	1	292	180	500
235	1	296	178	500
236	1	299	177	500
237	1	305	175	500
238	1	322	168	500
239	1	327	166	500
240	1	332	165	500
241	1	338	162	500
242	1	342	160	500
243	1	345	159	500
244	1	348	157	500
245	1	352	154	500
246	1	355	153	500
247	1	358	150	500
248	1	361	147	500
249	1	364	145	500
250	1	370	140	500
251	1	375	135	500
252	1	379	131	500
253	1	384	128	500
254	1	389	124	500
255	1	392	119	500
256	1	394	115	500
257	1	405	97	500
258	1	408	92	500
259	1	410	87	500
260	1	411	82	500
261	1	412	77	500
262	1	412	73	500
263	1	414	67	500
264	1	415	62	500
265	1	415	58	500
266	1	415	55	500
267	1	415	52	500
268	1	415	49	500
269	1	415	47	500
270	1	415	44	500
271	1	415	41	500
272	1	415	38	500
273	1	415	34	500
274	1	413	29	500
275	1	413	25	500
276	1	412	19	500
277	1	411	15	500
278	1	410	9	500
279	1	410	5	500
280	1	409	0	500
281	1	407	-5	500
282	1	406	-11	500
283	1	405	-16	500
284	1	404	-21	500
285	1	401	-27	500
286	1	399	-32	500
287	1	398	-36	500
288	1	396	-41	500
289	1	394	-44	500
290	1	393	-49	500
291	1	391	-54	500
292	1	390	-58	500
293	1	390	-62	500
294	1	389	-65	500
295	1	388	-68	500
296	1	387	-71	500
297	1	386	-73	500

298	1	385	-76	500
299	1	384	-79	500
300	1	382	-81	500
301	1	382	-84	500
302	1	380	-87	500
303	1	379	-90	500
304	1	377	-93	500
305	1	376	-97	500
306	1	374	-100	500
307	1	373	-103	500
308	1	371	-106	500
309	1	370	-109	500
310	1	369	-112	500
311	1	367	-115	500
312	1	366	-119	500
313	1	364	-122	500
314	1	362	-125	500
315	1	360	-128	500
316	1	358	-131	500
317	1	357	-135	500
318	1	355	-138	500
319	1	353	-141	500
320	1	352	-144	500
321	1	350	-147	500
322	1	348	-149	500
323	1	346	-152	500
324	1	344	-155	500
325	1	342	-157	500
326	1	339	-160	500
327	1	337	-163	500
328	1	334	-165	500
329	1	330	-169	500
330	1	327	-172	500
331	1	323	-175	500
332	1	321	-178	500
333	1	320	-180	500
334	1	317	-184	500
335	1	313	-187	500
336	1	311	-190	500
337	1	308	-193	500
338	1	307	-195	500
339	1	303	-198	500
340	1	300	-200	500
341	1	297	-203	500
342	1	295	-206	500
343	1	292	-209	500
344	1	289	-211	500
345	1	286	-214	500
346	1	280	-219	500
347	1	277	-222	500
348	1	272	-225	500
349	1	265	-230	500
350	2	410	-11	520
351	2	409	-17	520
352	2	407	-22	520
353	2	405	-27	520
354	2	405	-32	520
355	2	403	-37	520
356	2	401	-42	520
357	2	400	-47	520
358	2	398	-52	520
359	2	396	-58	520
360	2	394	-63	520
361	2	392	-69	520
362	2	391	-73	520
363	2	389	-78	520
364	2	387	-83	520
365	2	385	-88	520
366	2	383	-92	520
367	2	381	-97	520
368	2	378	-101	520
369	2	376	-106	520
370	2	373	-111	520
371	2	370	-116	520
372	2	369	-121	520
373	2	366	-125	520
374	2	364	-130	520

375	2	361	-135	520
376	2	358	-140	520
377	2	354	-145	520
378	2	351	-150	520
379	2	347	-155	520
380	2	343	-159	520
381	2	339	-164	520
382	2	334	-169	520
383	2	329	-173	520
384	2	324	-179	520
385	2	321	-183	520
386	2	316	-188	520
387	2	312	-193	520
388	2	307	-198	520
389	2	302	-202	520
390	2	301	-205	520
391	2	298	-208	520
392	2	295	-211	520
393	2	291	-214	520
394	2	289	-216	520
395	2	285	-219	520
396	2	281	-222	520
397	2	278	-224	520
398	2	275	-227	520
399	2	272	-229	520
400	2	267	-232	520
401	2	262	-235	520
402	2	259	-237	520
403	2	253	-245	520
404	2	247	-247	520
405	2	242	-249	520
406	2	237	-250	520
407	2	232	-253	520
408	2	226	-255	520
409	2	220	-258	520
410	2	214	-260	520
411	2	208	-260	520
412	2	203	-262	520
413	2	197	-263	520
414	2	191	-265	520
415	2	185	-265	520
416	2	180	-266	520
417	2	174	-267	520
418	2	168	-267	520
419	2	163	-267	520
420	2	157	-267	520
421	2	151	-267	520
422	2	146	-267	520
423	2	140	-268	520
424	2	135	-267	520
425	2	129	-266	520
426	2	124	-265	520
427	2	119	-265	520
428	2	113	-263	520
429	2	107	-262	520
430	2	102	-260	520
431	2	97	-260	520
432	2	91	-258	520
433	2	86	-257	520
434	2	80	-255	520
435	2	75	-254	520
436	2	69	-252	520
437	2	64	-249	520
438	2	58	-247	520
439	2	53	-246	520
440	2	47	-244	520
441	2	42	-242	520
442	2	36	-240	520
443	2	31	-237	520
444	2	26	-235	520
445	2	20	-233	520
446	2	15	-232	520
447	2	9	-230	520
448	2	4	-228	520
449	2	-2	-225	520
450	2	-7	-223	520

451	2	-12	-219	520
452	2	-17	-213	520
453	2	-26	-209	520
454	2	-28	-204	520
455	2	-29	-200	520
456	2	-29	-195	520
457	2	-29	-190	520
458	2	-30	-186	520
459	2	-30	-181	520
460	2	-31	-177	520
461	2	-39	-173	520
462	2	-44	-168	520
463	2	-50	-167	520
464	2	-55	-165	520
465	2	-61	-163	520
466	2	-66	-163	520
467	2	-72	-161	520
468	2	-77	-159	520
469	2	-83	-156	520
470	2	-88	-153	520
471	2	-94	-151	520
472	2	-99	-147	520
473	2	-104	-142	520
474	2	-110	-136	520
475	2	-115	-130	520
476	2	-120	-123	520
477	2	-129	-118	520
478	2	-132	-113	520
479	2	-134	-109	520
480	2	-134	-104	520
481	2	-136	-100	520
482	2	-137	-96	520
483	2	-137	-91	520
484	2	-137	-86	520
485	2	-137	-82	520
486	2	-136	-77	520
487	2	-136	-73	520
488	2	-135	-68	520
489	2	-134	-64	520
490	2	-134	-59	520
491	2	-133	-54	520
492	2	-132	-50	520
493	2	-130	-45	520
494	2	-129	-41	520
495	2	-127	-36	520
496	2	-126	-31	520
497	2	-124	-25	520
498	2	-124	-21	520
499	2	-122	-16	520
500	2	-121	-11	520
501	2	-120	-6	520
502	2	-117	-1	520
503	2	-116	4	520
504	2	-115	8	520
505	2	-112	13	520
506	2	-109	17	520
507	2	-105	22	520
508	2	-102	27	520
509	2	-100	32	520
510	2	-95	36	520
511	2	-87	42	520
512	2	-80	47	520
513	2	-70	53	520
514	2	-61	58	520
515	2	-55	63	520
516	2	-45	69	520
517	2	-40	73	520
518	2	-33	78	520
519	2	-24	83	520
520	2	-17	87	520
521	2	-10	93	520
522	2	-4	100	520
523	2	3	104	520
524	2	10	107	520
525	2	15	109	520
526	2	21	112	520

527	2	26	114	520
528	2	32	116	520
529	2	38	119	520
530	2	44	123	520
531	2	50	126	520
532	2	58	130	520
533	2	65	133	520
534	2	73	138	520
535	2	81	141	520
536	2	86	143	520
537	2	93	147	520
538	2	98	149	520
539	2	105	152	520
540	2	111	154	520
541	2	117	157	520
542	2	122	159	520
543	2	129	163	520
544	2	135	164	520
545	2	140	166	520
546	2	146	169	520
547	2	152	171	520
548	2	157	172	520
549	2	164	176	520
550	2	171	177	520
551	2	176	178	520
552	2	183	179	520
553	2	189	180	520
554	2	194	181	520
555	2	201	183	520
556	2	207	183	520
557	2	213	184	520
558	2	219	184	520
559	2	224	184	520
560	2	230	185	520
561	2	236	185	520
562	2	242	186	520
563	2	249	185	520
564	2	254	185	520
565	2	260	185	520
566	2	266	185	520
567	2	272	183	520
568	2	278	182	520
569	2	285	181	520
570	2	291	179	520
571	2	296	177	520
572	2	303	175	520
573	2	309	173	520
574	2	315	171	520
575	2	322	168	520
576	2	328	167	520
577	2	334	164	520
578	2	340	161	520
579	2	345	158	520
580	2	350	155	520
581	2	356	149	520
582	2	362	144	520
583	2	368	139	520
584	2	373	134	520
585	2	379	128	520
586	2	385	120	520
587	2	391	113	520
588	2	396	105	520
589	2	402	100	520
590	2	409	95	520
591	2	410	90	520
592	2	412	85	520
593	2	413	81	520
594	2	415	76	520
595	2	415	72	520
596	2	417	67	520
597	2	417	62	520
598	2	418	56	520
599	2	417	52	520
600	2	417	47	520
601	2	417	42	520
602	2	416	38	520
603	2	417	33	520

604	2	416	28	520
605	2	415	24	520
606	2	416	19	520
607	2	415	14	520
608	2	414	9	520
609	2	414	4	520
610	2	413	-1	520
611	2	412	-6	520
612	2	410	-11	520
613	2	409	-15	520
614	3	-91	-150	540
615	3	-97	-148	540
616	3	-102	-144	540
617	3	-107	-139	540
618	3	-112	-134	540
619	3	-117	-129	540
620	3	-124	-125	540
621	3	-126	-121	540
622	3	-129	-116	540
623	3	-130	-112	540
624	3	-132	-107	540
625	3	-132	-103	540
626	3	-134	-99	540
627	3	-135	-94	540
628	3	-135	-90	540
629	3	-136	-85	540
630	3	-136	-81	540
631	3	-136	-76	540
632	3	-136	-72	540
633	3	-135	-67	540
634	3	-135	-62	540
635	3	-134	-58	540
636	3	-133	-53	540
637	3	-133	-49	540
638	3	-133	-44	540
639	3	-131	-39	540
640	3	-130	-35	540
641	3	-128	-30	540
642	3	-127	-25	540
643	3	-126	-21	540
644	3	-125	-16	540
645	3	-123	-11	540
646	3	-121	-6	540
647	3	-120	-1	540
648	3	-118	4	540
649	3	-116	9	540
650	3	-114	14	540
651	3	-112	18	540
652	3	-110	23	540
653	3	-108	27	540
654	3	-103	32	540
655	3	-100	37	540
656	3	-95	42	540
657	3	-91	46	540
658	3	-86	51	540
659	3	-79	56	540
660	3	-73	60	540
661	3	-66	65	540
662	3	-57	70	540
663	3	-50	74	540
664	3	-41	79	540
665	3	-35	83	540
666	3	-25	88	540
667	3	-20	92	540
668	3	-13	100	540
669	3	-7	103	540
670	3	-2	104	540
671	3	5	108	540
672	3	12	111	540
673	3	18	114	540
674	3	24	117	540
675	3	31	119	540
676	3	36	121	540
677	3	42	124	540
678	3	48	127	540
679	3	55	131	540
680	3	61	132	540

681	3	67	136	540
682	3	73	138	540
683	3	78	141	540
684	3	84	142	540
685	3	91	147	540
686	3	97	150	540
687	3	103	153	540
688	3	108	156	540
689	3	113	158	540
690	3	119	161	540
691	3	125	163	540
692	3	131	166	540
693	3	138	168	540
694	3	145	170	540
695	3	152	173	540
696	3	160	175	540
697	3	168	178	540
698	3	175	180	540
699	3	183	181	540
700	3	190	183	540
701	3	198	184	540
702	3	205	186	540
703	3	212	187	540
704	3	219	187	540
705	3	226	188	540
706	3	234	188	540
707	3	241	188	540
708	3	248	187	540
709	3	255	188	540
710	3	261	187	540
711	3	267	186	540
712	3	274	185	540
713	3	279	184	540
714	3	285	183	540
715	3	291	182	540
716	3	297	181	540
717	3	303	180	540
718	3	309	178	540
719	3	315	176	540
720	3	320	175	540
721	3	325	172	540
722	3	330	170	540
723	3	336	167	540
724	3	343	162	540
725	3	348	159	540
726	3	355	155	540
727	3	361	150	540
728	3	368	146	540
729	3	373	142	540
730	3	379	136	540
731	3	385	128	540
732	3	390	123	540
733	3	396	115	540
734	3	402	108	540
735	3	411	103	540
736	3	414	98	540
737	3	416	92	540
738	3	417	87	540
739	3	419	83	540
740	3	420	77	540
741	3	420	72	540
742	3	421	67	540
743	3	422	62	540
744	3	424	57	540
745	3	424	52	540
746	3	423	47	540
747	3	424	42	540
748	3	423	36	540
749	3	423	31	540
750	3	422	26	540
751	3	422	21	540
752	3	422	16	540
753	3	421	11	540
754	3	421	6	540
755	3	420	1	540
756	3	419	-5	540
757	3	418	-9	540

758	3	417	-14	540
759	3	416	-19	540
760	3	415	-24	540
761	3	414	-30	540
762	3	412	-35	540
763	3	411	-39	540
764	3	410	-44	540
765	3	408	-49	540
766	3	406	-54	540
767	3	405	-59	540
768	3	403	-65	540
769	3	401	-70	540
770	3	399	-75	540
771	3	397	-80	540
772	3	395	-85	540
773	3	393	-90	540
774	3	391	-95	540
775	3	388	-99	540
776	3	386	-103	540
777	3	384	-108	540
778	3	382	-112	540
779	3	381	-115	540
780	3	380	-117	540
781	3	377	-122	540
782	3	375	-126	540
783	3	373	-129	540
784	3	373	-131	540
785	3	371	-134	540
786	3	369	-137	540
787	3	367	-140	540
788	3	366	-142	540
789	3	363	-146	540
790	3	362	-148	540
791	3	360	-152	540
792	3	358	-154	540
793	3	355	-158	540
794	3	354	-160	540
795	3	350	-163	540
796	3	348	-166	540
797	3	346	-169	540
798	3	343	-172	540
799	3	340	-175	540
800	3	338	-178	540
801	3	330	-182	540
802	3	326	-187	540
803	3	321	-191	540
804	3	319	-195	540
805	3	318	-197	540
806	3	315	-200	540
807	3	312	-204	540
808	3	310	-206	540
809	3	307	-208	540
810	3	304	-211	540
811	3	300	-214	540
812	3	297	-217	540
813	3	293	-220	540
814	3	290	-222	540
815	3	285	-225	540
816	3	282	-228	540
817	3	279	-230	540
818	3	275	-233	540
819	3	271	-235	540
820	3	268	-238	540
821	3	263	-240	540
822	3	258	-243	540
823	3	255	-246	540
824	3	251	-250	540
825	3	247	-251	540
826	3	242	-254	540
827	3	238	-255	540
828	3	235	-256	540
829	3	231	-257	540
830	3	228	-259	540
831	3	224	-261	540
832	3	220	-262	540
833	3	217	-262	540
834	3	214	-263	540

835	3	211	-263	540
836	3	207	-265	540
837	3	203	-266	540
838	3	200	-267	540
839	3	197	-267	540
840	3	194	-267	540
841	3	190	-268	540
842	3	187	-269	540
843	3	148	-270	540
844	3	145	-269	540
845	3	141	-270	540
846	3	138	-269	540
847	3	134	-269	540
848	3	131	-268	540
849	3	127	-268	540
850	3	124	-268	540
851	3	121	-267	540
852	3	117	-265	540
853	3	114	-265	540
854	3	111	-264	540
855	3	108	-264	540
856	3	104	-264	540
857	3	101	-264	540
858	3	95	-262	540
859	3	90	-261	540
860	3	85	-259	540
861	3	79	-258	540
862	3	76	-258	540
863	3	71	-256	540
864	3	68	-256	540
865	3	65	-254	540
866	3	62	-253	540
867	3	59	-252	540
868	3	56	-251	540
869	3	53	-250	540
870	3	49	-248	540
871	3	46	-247	540
872	3	43	-246	540
873	3	40	-245	540
874	3	36	-244	540
875	3	33	-243	540
876	3	30	-243	540
877	3	24	-241	540
878	3	20	-240	540
879	3	17	-239	540
880	3	11	-236	540
881	3	6	-235	540
882	3	1	-234	540
883	3	-2	-233	540
884	3	-5	-231	540
885	3	-8	-230	540
886	3	-11	-229	540
887	3	-14	-227	540
888	3	-17	-225	540
889	3	-20	-222	540
890	3	-23	-220	540
891	3	-26	-216	540
892	3	-32	-213	540
893	3	-33	-210	540
894	3	-34	-208	540
895	3	-35	-205	540
896	3	-37	-201	540
897	3	-38	-196	540
898	3	-38	-192	540
899	3	-38	-188	540
900	3	-38	-184	540
901	3	-39	-181	540
902	3	-42	-177	540
903	3	-52	-173	540
904	3	-57	-165	540
905	3	-63	-164	540
906	3	-68	-162	540
907	3	-73	-161	540
908	3	-79	-159	540
909	3	-84	-155	540
910	3	-89	-152	540
911	3	-95	-150	540

912	4	100	-264	560
913	4	94	-263	560
914	4	89	-261	560
915	4	83	-261	560
916	4	77	-259	560
917	4	74	-259	560
918	4	70	-257	560
919	4	67	-257	560
920	4	64	-257	560
921	4	61	-255	560
922	4	58	-255	560
923	4	55	-254	560
924	4	52	-254	560
925	4	49	-253	560
926	4	46	-250	560
927	4	42	-249	560
928	4	39	-248	560
929	4	36	-247	560
930	4	33	-247	560
931	4	30	-247	560
932	4	27	-247	560
933	4	24	-246	560
934	4	21	-245	560
935	4	18	-245	560
936	4	14	-244	560
937	4	8	-242	560
938	4	3	-240	560
939	4	0	-240	560
940	4	-3	-238	560
941	4	-6	-237	560
942	4	-10	-235	560
943	4	-13	-234	560
944	4	-16	-233	560
945	4	-19	-231	560
946	4	-22	-229	560
947	4	-25	-227	560
948	4	-28	-225	560
949	4	-31	-222	560
950	4	-34	-219	560
951	4	-39	-217	560
952	4	-41	-214	560
953	4	-42	-211	560
954	4	-43	-209	560
955	4	-44	-206	560
956	4	-45	-203	560
957	4	-44	-199	560
958	4	-45	-194	560
959	4	-45	-191	560
960	4	-45	-189	560
961	4	-45	-186	560
962	4	-46	-184	560
963	4	-46	-182	560
964	4	-47	-179	560
965	4	-49	-176	560
966	4	-54	-168	560
967	4	-60	-166	560
968	4	-65	-164	560
969	4	-70	-163	560
970	4	-75	-159	560
971	4	-81	-157	560
972	4	-86	-155	560
973	4	-91	-152	560
974	4	-97	-149	560
975	4	-102	-144	560
976	4	-107	-138	560
977	4	-113	-130	560
978	4	-118	-122	560
979	4	-127	-118	560
980	4	-128	-113	560
981	4	-131	-109	560
982	4	-133	-104	560
983	4	-134	-100	560
984	4	-134	-95	560
985	4	-134	-91	560
986	4	-135	-87	560
987	4	-136	-82	560
988	4	-136	-77	560

989	4	-137	-72	560
990	4	-136	-68	560
991	4	-135	-63	560
992	4	-135	-59	560
993	4	-135	-54	560
994	4	-136	-50	560
995	4	-135	-45	560
996	4	-135	-40	560
997	4	-134	-36	560
998	4	-134	-31	560
999	4	-132	-27	560
1000	4	-131	-22	560
1001	4	-130	-18	560
1002	4	-129	-13	560
1003	4	-127	-8	560
1004	4	-127	-4	560
1005	4	-125	1	560
1006	4	-124	5	560
1007	4	-123	10	560
1008	4	-121	15	560
1009	4	-119	20	560
1010	4	-117	24	560
1011	4	-114	29	560
1012	4	-112	34	560
1013	4	-109	38	560
1014	4	-108	42	560
1015	4	-103	47	560
1016	4	-100	51	560
1017	4	-97	56	560
1018	4	-91	60	560
1019	4	-86	65	560
1020	4	-77	70	560
1021	4	-71	75	560
1022	4	-64	79	560
1023	4	-57	84	560
1024	4	-51	92	560
1025	4	-46	95	560
1026	4	-41	98	560
1027	4	-36	100	560
1028	4	-30	103	560
1029	4	-24	105	560
1030	4	-19	107	560
1031	4	-13	109	560
1032	4	-8	112	560
1033	4	-2	113	560
1034	4	3	115	560
1035	4	9	117	560
1036	4	15	120	560
1037	4	20	122	560
1038	4	25	123	560
1039	4	31	127	560
1040	4	37	129	560
1041	4	42	131	560
1042	4	48	134	560
1043	4	54	137	560
1044	4	60	140	560
1045	4	65	141	560
1046	4	71	144	560
1047	4	77	148	560
1048	4	84	150	560
1049	4	90	154	560
1050	4	96	154	560
1051	4	101	158	560
1052	4	108	162	560
1053	4	114	163	560
1054	4	120	166	560
1055	4	127	170	560
1056	4	132	171	560
1057	4	139	174	560
1058	4	146	178	560
1059	4	153	179	560
1060	4	159	180	560
1061	4	164	181	560
1062	4	171	184	560
1063	4	176	185	560
1064	4	184	187	560
1065	4	189	188	560

1066	4	195	188	560
1067	4	201	190	560
1068	4	207	191	560
1069	4	212	191	560
1070	4	219	193	560
1071	4	224	193	560
1072	4	232	193	560
1073	4	238	193	560
1074	4	243	193	560
1075	4	250	192	560
1076	4	255	192	560
1077	4	262	192	560
1078	4	269	191	560
1079	4	274	191	560
1080	4	280	189	560
1081	4	287	188	560
1082	4	294	186	560
1083	4	299	185	560
1084	4	305	183	560
1085	4	310	182	560
1086	4	316	179	560
1087	4	323	177	560
1088	4	330	175	560
1089	4	336	172	560
1090	4	342	169	560
1091	4	348	166	560
1092	4	354	163	560
1093	4	360	160	560
1094	4	365	156	560
1095	4	370	152	560
1096	4	376	145	560
1097	4	381	140	560
1098	4	387	134	560
1099	4	393	127	560
1100	4	399	120	560
1101	4	404	113	560
1102	4	414	109	560
1103	4	416	105	560
1104	4	418	100	560
1105	4	421	95	560
1106	4	423	90	560
1107	4	424	85	560
1108	4	425	80	560
1109	4	426	74	560
1110	4	427	70	560
1111	4	428	65	560
1112	4	428	61	560
1113	4	429	55	560
1114	4	429	50	560
1115	4	429	46	560
1116	4	430	43	560
1117	4	430	40	560
1118	4	430	36	560
1119	4	430	33	560
1120	4	430	30	560
1121	4	430	25	560
1122	4	429	20	560
1123	4	429	16	560
1124	4	428	11	560
1125	4	428	6	560
1126	4	427	1	560
1127	4	426	-5	560
1128	4	426	-9	560
1129	4	425	-13	560
1130	4	425	-17	560
1131	4	423	-21	560
1132	4	422	-26	560
1133	4	421	-31	560
1134	4	419	-36	560
1135	4	419	-41	560
1136	4	416	-45	560
1137	4	416	-50	560
1138	4	415	-55	560
1139	4	412	-65	560
1140	4	411	-70	560
1141	4	409	-74	560
1142	4	406	-80	560

1143	4	405	-85	560
1144	4	402	-89	560
1145	4	400	-93	560
1146	4	398	-98	560
1147	4	396	-102	560
1148	4	395	-106	560
1149	4	391	-112	560
1150	4	388	-117	560
1151	4	385	-121	560
1152	4	383	-126	560
1153	4	382	-129	560
1154	4	380	-132	560
1155	4	378	-135	560
1156	4	376	-137	560
1157	4	374	-141	560
1158	4	373	-143	560
1159	4	371	-146	560
1160	4	370	-149	560
1161	4	368	-152	560
1162	4	366	-154	560
1163	4	364	-157	560
1164	4	362	-159	560
1165	4	360	-162	560
1166	4	358	-165	560
1167	4	355	-168	560
1168	4	352	-171	560
1169	4	349	-174	560
1170	4	348	-177	560
1171	4	345	-180	560
1172	4	342	-183	560
1173	4	339	-186	560
1174	4	336	-189	560
1175	4	332	-192	560
1176	4	325	-197	560
1177	4	320	-201	560
1178	4	319	-204	560
1179	4	316	-207	560
1180	4	313	-210	560
1181	4	310	-213	560
1182	4	308	-216	560
1183	4	306	-218	560
1184	4	302	-221	560
1185	4	297	-223	560
1186	4	295	-226	560
1187	4	291	-228	560
1188	4	287	-231	560
1189	4	284	-234	560
1190	4	279	-236	560
1191	4	274	-239	560
1192	4	270	-241	560
1193	4	265	-244	560
1194	4	260	-247	560
1195	4	255	-250	560
1196	4	249	-253	560
1197	4	243	-256	560
1198	4	240	-260	560
1199	4	237	-261	560
1200	4	233	-263	560
1201	4	229	-263	560
1202	4	226	-264	560
1203	4	223	-265	560
1204	4	220	-267	560
1205	4	216	-268	560
1206	4	213	-268	560
1207	4	210	-269	560
1208	4	206	-269	560
1209	4	203	-270	560
1210	4	199	-271	560
1211	4	196	-271	560
1212	4	192	-272	560
1213	4	188	-272	560
1214	4	185	-273	560
1215	4	181	-273	560
1216	4	178	-273	560
1217	4	173	-273	560
1218	4	168	-273	560
1219	4	164	-273	560

1220	4	160	-273	560
1221	4	156	-273	560
1222	4	153	-272	560
1223	4	150	-272	560
1224	4	147	-272	560
1225	4	143	-272	560
1226	4	140	-271	560
1227	4	137	-271	560
1228	4	134	-270	560
1229	4	131	-270	560
1230	4	128	-270	560
1231	4	124	-270	560
1232	4	121	-269	560
1233	4	118	-268	560
1234	4	115	-268	560
1235	4	112	-267	560
1236	4	109	-267	560
1237	4	106	-266	560
1238	4	103	-266	560
1239	4	100	-266	560
1240	4	71	-259	560
1241	5	11	-247	580
1242	5	5	-246	580
1243	5	1	-245	580
1244	5	-2	-244	580
1245	5	-5	-243	580
1246	5	-9	-242	580
1247	5	-11	-241	580
1248	5	-14	-240	580
1249	5	-17	-238	580
1250	5	-20	-237	580
1251	5	-23	-235	580
1252	5	-26	-234	580
1253	5	-29	-232	580
1254	5	-32	-230	580
1255	5	-35	-227	580
1256	5	-38	-225	580
1257	5	-41	-223	580
1258	5	-44	-220	580
1259	5	-49	-217	580
1260	5	-50	-215	580
1261	5	-52	-213	580
1262	5	-52	-209	580
1263	5	-53	-207	580
1264	5	-53	-202	580
1265	5	-54	-198	580
1266	5	-53	-194	580
1267	5	-53	-191	580
1268	5	-54	-186	580
1269	5	-56	-182	580
1270	5	-60	-177	580
1271	5	-68	-173	580
1272	5	-78	-169	580
1273	5	-87	-164	580
1274	5	-94	-160	580
1275	5	-99	-156	580
1276	5	-106	-151	580
1277	5	-111	-147	580
1278	5	-114	-142	580
1279	5	-118	-138	580
1280	5	-120	-133	580
1281	5	-124	-129	580
1282	5	-126	-124	580
1283	5	-128	-120	580
1284	5	-129	-115	580
1285	5	-132	-111	580
1286	5	-133	-107	580
1287	5	-135	-102	580
1288	5	-135	-98	580
1289	5	-136	-93	580
1290	5	-138	-89	580
1291	5	-138	-85	580
1292	5	-138	-80	580
1293	5	-138	-76	580
1294	5	-140	-71	580
1295	5	-140	-67	580
1296	5	-140	-62	580

1297	5	-139	-58	580
1298	5	-140	-53	580
1299	5	-141	-49	580
1300	5	-140	-45	580
1301	5	-139	-40	580
1302	5	-140	-36	580
1303	5	-139	-31	580
1304	5	-139	-27	580
1305	5	-138	-22	580
1306	5	-138	-18	580
1307	5	-137	-13	580
1308	5	-136	-9	580
1309	5	-135	-4	580
1310	5	-133	1	580
1311	5	-133	5	580
1312	5	-131	10	580
1313	5	-130	15	580
1314	5	-129	19	580
1315	5	-127	24	580
1316	5	-125	29	580
1317	5	-122	33	580
1318	5	-120	37	580
1319	5	-118	42	580
1320	5	-116	46	580
1321	5	-112	51	580
1322	5	-110	55	580
1323	5	-105	60	580
1324	5	-102	65	580
1325	5	-99	69	580
1326	5	-94	74	580
1327	5	-88	78	580
1328	5	-84	83	580
1329	5	-79	87	580
1330	5	-73	93	580
1331	5	-68	96	580
1332	5	-62	99	580
1333	5	-57	101	580
1334	5	-51	104	580
1335	5	-46	106	580
1336	5	-41	108	580
1337	5	-35	110	580
1338	5	-30	113	580
1339	5	-25	115	580
1340	5	-19	117	580
1341	5	-13	118	580
1342	5	-7	120	580
1343	5	-2	121	580
1344	5	4	124	580
1345	5	10	126	580
1346	5	16	128	580
1347	5	22	130	580
1348	5	28	133	580
1349	5	33	135	580
1350	5	39	137	580
1351	5	44	139	580
1352	5	50	141	580
1353	5	56	144	580
1354	5	61	146	580
1355	5	67	148	580
1356	5	73	151	580
1357	5	79	153	580
1358	5	84	156	580
1359	5	90	159	580
1360	5	96	161	580
1361	5	102	165	580
1362	5	108	167	580
1363	5	114	170	580
1364	5	120	172	580
1365	5	126	174	580
1366	5	132	177	580
1367	5	138	179	580
1368	5	145	181	580
1369	5	150	182	580
1370	5	156	184	580
1371	5	163	185	580
1372	5	168	186	580
1373	5	174	189	580

1374	5	180	189	580
1375	5	186	192	580
1376	5	192	193	580
1377	5	198	194	580
1378	5	203	195	580
1379	5	209	197	580
1380	5	215	196	580
1381	5	221	197	580
1382	5	226	197	580
1383	5	232	197	580
1384	5	237	198	580
1385	5	243	198	580
1386	5	248	197	580
1387	5	254	197	580
1388	5	260	196	580
1389	5	265	196	580
1390	5	270	195	580
1391	5	276	195	580
1392	5	282	194	580
1393	5	288	192	580
1394	5	294	190	580
1395	5	300	188	580
1396	5	306	186	580
1397	5	311	185	580
1398	5	317	183	580
1399	5	322	181	580
1400	5	328	179	580
1401	5	333	178	580
1402	5	338	175	580
1403	5	344	171	580
1404	5	350	168	580
1405	5	355	165	580
1406	5	361	162	580
1407	5	366	159	580
1408	5	371	154	580
1409	5	376	149	580
1410	5	382	144	580
1411	5	388	137	580
1412	5	393	134	580
1413	5	398	127	580
1414	5	404	120	580
1415	5	409	114	580
1416	5	414	109	580
1417	5	422	105	580
1418	5	424	100	580
1419	5	425	95	580
1420	5	426	91	580
1421	5	427	86	580
1422	5	429	82	580
1423	5	430	77	580
1424	5	431	72	580
1425	5	432	67	580
1426	5	433	62	580
1427	5	433	57	580
1428	5	433	53	580
1429	5	434	48	580
1430	5	434	44	580
1431	5	435	40	580
1432	5	434	35	580
1433	5	434	30	580
1434	5	434	25	580
1435	5	435	21	580
1436	5	434	15	580
1437	5	433	10	580
1438	5	433	5	580
1439	5	432	1	580
1440	5	433	-4	580
1441	5	430	-9	580
1442	5	431	-12	580
1443	5	430	-17	580
1444	5	430	-20	580
1445	5	429	-23	580
1446	5	430	-25	580
1447	5	429	-28	580
1448	5	428	-30	580
1449	5	427	-35	580
1450	5	426	-39	580

1451	5	425	-44	580
1452	5	423	-49	580
1453	5	423	-54	580
1454	5	421	-58	580
1455	5	419	-63	580
1456	5	418	-67	580
1457	5	416	-72	580
1458	5	416	-76	580
1459	5	414	-81	580
1460	5	412	-85	580
1461	5	410	-90	580
1462	5	408	-94	580
1463	5	405	-99	580
1464	5	402	-103	580
1465	5	400	-108	580
1466	5	398	-112	580
1467	5	397	-117	580
1468	5	393	-121	580
1469	5	391	-126	580
1470	5	389	-130	580
1471	5	386	-134	580
1472	5	385	-136	580
1473	5	383	-140	580
1474	5	382	-143	580
1475	5	381	-145	580
1476	5	378	-148	580
1477	5	377	-150	580
1478	5	375	-153	580
1479	5	373	-156	580
1480	5	371	-159	580
1481	5	369	-161	580
1482	5	367	-164	580
1483	5	365	-167	580
1484	5	362	-170	580
1485	5	360	-172	580
1486	5	357	-175	580
1487	5	356	-178	580
1488	5	353	-180	580
1489	5	350	-183	580
1490	5	348	-186	580
1491	5	346	-188	580
1492	5	343	-191	580
1493	5	340	-193	580
1494	5	338	-196	580
1495	5	335	-199	580
1496	5	334	-201	580
1497	5	330	-205	580
1498	5	327	-208	580
1499	5	322	-211	580
1500	5	319	-214	580
1501	5	316	-216	580
1502	5	312	-219	580
1503	5	309	-221	580
1504	5	304	-223	580
1505	5	301	-226	580
1506	5	297	-229	580
1507	5	295	-231	580
1508	5	291	-233	580
1509	5	286	-236	580
1510	5	283	-238	580
1511	5	278	-241	580
1512	5	275	-244	580
1513	5	272	-246	580
1514	5	269	-251	580
1515	5	266	-252	580
1516	5	263	-254	580
1517	5	259	-256	580
1518	5	254	-259	580
1519	5	249	-262	580
1520	5	243	-263	580
1521	5	239	-265	580
1522	5	236	-265	580
1523	5	232	-266	580
1524	5	229	-267	580
1525	5	226	-269	580
1526	5	223	-270	580
1527	5	220	-271	580

1528	5	216	-271	580
1529	5	213	-272	580
1530	5	210	-272	580
1531	5	207	-273	580
1532	5	204	-273	580
1533	5	201	-274	580
1534	5	198	-274	580
1535	5	194	-274	580
1536	5	191	-274	580
1537	5	188	-274	580
1538	5	185	-275	580
1539	5	182	-276	580
1540	5	179	-276	580
1541	5	173	-275	580
1542	5	167	-275	580
1543	5	160	-275	580
1544	5	157	-275	580
1545	5	153	-274	580
1546	5	150	-274	580
1547	5	147	-274	580
1548	5	144	-274	580
1549	5	140	-274	580
1550	5	137	-274	580
1551	5	134	-273	580
1552	5	131	-272	580
1553	5	128	-272	580
1554	5	124	-272	580
1555	5	121	-271	580
1556	5	118	-271	580
1557	5	115	-270	580
1558	5	112	-268	580
1559	5	108	-268	580
1560	5	105	-268	580
1561	5	100	-267	580
1562	5	95	-265	580
1563	5	90	-263	580
1564	5	85	-262	580
1565	5	79	-261	580
1566	5	75	-261	580
1567	5	72	-261	580
1568	5	68	-261	580
1569	5	65	-259	580
1570	5	62	-259	580
1571	5	59	-258	580
1572	5	56	-258	580
1573	5	53	-257	580
1574	5	49	-256	580
1575	5	46	-256	580
1576	5	43	-255	580
1577	5	40	-255	580
1578	5	37	-253	580
1579	5	34	-253	580
1580	5	30	-252	580
1581	5	27	-252	580
1582	5	24	-252	580
1583	5	21	-251	580
1584	5	16	-249	580
1585	5	10	-248	580
1586	5	5	-245	580
1587	6	45	-259	600
1588	6	41	-257	600
1589	6	38	-257	600
1590	6	35	-256	600
1591	6	32	-256	600
1592	6	29	-255	600
1593	6	26	-255	600
1594	6	23	-254	600
1595	6	20	-253	600
1596	6	17	-252	600
1597	6	11	-251	600
1598	6	6	-250	600
1599	6	1	-248	600
1600	6	-2	-248	600
1601	6	-5	-247	600
1602	6	-8	-245	600
1603	6	-11	-244	600
1604	6	-14	-244	600

1605	6	-17	-242	600
1606	6	-20	-241	600
1607	6	-23	-240	600
1608	6	-26	-239	600
1609	6	-29	-237	600
1610	6	-32	-235	600
1611	6	-35	-233	600
1612	6	-41	-228	600
1613	6	-44	-226	600
1614	6	-48	-223	600
1615	6	-51	-218	600
1616	6	-54	-215	600
1617	6	-58	-213	600
1618	6	-57	-210	600
1619	6	-58	-206	600
1620	6	-59	-201	600
1621	6	-59	-197	600
1622	6	-59	-192	600
1623	6	-60	-188	600
1624	6	-61	-183	600
1625	6	-65	-179	600
1626	6	-72	-174	600
1627	6	-82	-170	600
1628	6	-88	-166	600
1629	6	-97	-161	600
1630	6	-103	-157	600
1631	6	-108	-153	600
1632	6	-113	-148	600
1633	6	-117	-143	600
1634	6	-120	-139	600
1635	6	-123	-135	600
1636	6	-125	-130	600
1637	6	-129	-126	600
1638	6	-131	-121	600
1639	6	-133	-117	600
1640	6	-134	-112	600
1641	6	-136	-107	600
1642	6	-139	-103	600
1643	6	-139	-99	600
1644	6	-141	-94	600
1645	6	-141	-90	600
1646	6	-143	-85	600
1647	6	-144	-80	600
1648	6	-144	-76	600
1649	6	-145	-71	600
1650	6	-146	-67	600
1651	6	-146	-62	600
1652	6	-146	-58	600
1653	6	-147	-54	600
1654	6	-146	-49	600
1655	6	-146	-45	600
1656	6	-146	-40	600
1657	6	-146	-36	600
1658	6	-147	-31	600
1659	6	-145	-27	600
1660	6	-144	-22	600
1661	6	-144	-18	600
1662	6	-143	-13	600
1663	6	-142	-9	600
1664	6	-141	-4	600
1665	6	-141	1	600
1666	6	-141	5	600
1667	6	-139	9	600
1668	6	-138	14	600
1669	6	-136	18	600
1670	6	-135	23	600
1671	6	-134	27	600
1672	6	-132	31	600
1673	6	-129	36	600
1674	6	-127	41	600
1675	6	-125	45	600
1676	6	-122	49	600
1677	6	-120	54	600
1678	6	-117	58	600
1679	6	-114	63	600
1680	6	-112	67	600
1681	6	-109	72	600

1682	6	-104	76	600
1683	6	-100	81	600
1684	6	-97	85	600
1685	6	-90	90	600
1686	6	-80	94	600
1687	6	-71	98	600
1688	6	-61	103	600
1689	6	-56	107	600
1690	6	-51	114	600
1691	6	-46	116	600
1692	6	-40	119	600
1693	6	-35	121	600
1694	6	-30	123	600
1695	6	-25	125	600
1696	6	-20	127	600
1697	6	-14	128	600
1698	6	-9	129	600
1699	6	-3	131	600
1700	6	2	133	600
1701	6	7	134	600
1702	6	13	138	600
1703	6	18	139	600
1704	6	24	141	600
1705	6	29	143	600
1706	6	34	142	600
1707	6	40	145	600
1708	6	45	148	600
1709	6	51	150	600
1710	6	56	152	600
1711	6	62	155	600
1712	6	67	157	600
1713	6	73	158	600
1714	6	79	160	600
1715	6	85	163	600
1716	6	91	165	600
1717	6	96	168	600
1718	6	103	172	600
1719	6	109	174	600
1720	6	115	176	600
1721	6	121	179	600
1722	6	126	181	600
1723	6	133	184	600
1724	6	139	187	600
1725	6	145	188	600
1726	6	151	190	600
1727	6	158	192	600
1728	6	164	193	600
1729	6	171	194	600
1730	6	176	195	600
1731	6	183	197	600
1732	6	188	198	600
1733	6	194	199	600
1734	6	201	200	600
1735	6	207	200	600
1736	6	214	201	600
1737	6	220	202	600
1738	6	227	203	600
1739	6	233	203	600
1740	6	240	203	600
1741	6	246	203	600
1742	6	253	201	600
1743	6	258	202	600
1744	6	264	201	600
1745	6	271	199	600
1746	6	276	199	600
1747	6	282	197	600
1748	6	289	195	600
1749	6	295	194	600
1750	6	300	193	600
1751	6	306	191	600
1752	6	313	188	600
1753	6	318	187	600
1754	6	325	184	600
1755	6	331	181	600
1756	6	337	179	600
1757	6	343	176	600
1758	6	350	172	600

1759	6	357	169	600
1760	6	363	164	600
1761	6	370	160	600
1762	6	377	155	600
1763	6	383	150	600
1764	6	389	144	600
1765	6	395	139	600
1766	6	401	133	600
1767	6	406	127	600
1768	6	411	118	600
1769	6	416	114	600
1770	6	425	109	600
1771	6	428	103	600
1772	6	430	99	600
1773	6	432	93	600
1774	6	433	89	600
1775	6	434	84	600
1776	6	435	80	600
1777	6	436	74	600
1778	6	437	69	600
1779	6	438	65	600
1780	6	439	60	600
1781	6	439	56	600
1782	6	440	50	600
1783	6	440	46	600
1784	6	440	42	600
1785	6	441	38	600
1786	6	441	32	600
1787	6	440	27	600
1788	6	440	21	600
1789	6	440	17	600
1790	6	439	11	600
1791	6	439	6	600
1792	6	438	1	600
1793	6	438	-4	600
1794	6	437	-9	600
1795	6	437	-13	600
1796	6	436	-17	600
1797	6	435	-21	600
1798	6	435	-25	600
1799	6	435	-29	600
1800	6	433	-34	600
1801	6	432	-39	600
1802	6	431	-44	600
1803	6	430	-49	600
1804	6	429	-54	600
1805	6	428	-59	600
1806	6	425	-64	600
1807	6	425	-69	600
1808	6	424	-74	600
1809	6	423	-79	600
1810	6	421	-84	600
1811	6	419	-90	600
1812	6	416	-95	600
1813	6	414	-100	600
1814	6	412	-105	600
1815	6	409	-111	600
1816	6	404	-116	600
1817	6	403	-122	600
1818	6	400	-127	600
1819	6	398	-132	600
1820	6	394	-136	600
1821	6	391	-141	600
1822	6	390	-144	600
1823	6	389	-147	600
1824	6	387	-150	600
1825	6	384	-153	600
1826	6	382	-156	600
1827	6	380	-159	600
1828	6	377	-162	600
1829	6	375	-165	600
1830	6	372	-169	600
1831	6	370	-172	600
1832	6	368	-174	600
1833	6	367	-177	600
1834	6	364	-180	600
1835	6	362	-182	600

1836	6	360	-185	600
1837	6	359	-187	600
1838	6	354	-191	600
1839	6	352	-193	600
1840	6	350	-196	600
1841	6	346	-199	600
1842	6	344	-202	600
1843	6	339	-205	600
1844	6	336	-208	600
1845	6	331	-211	600
1846	6	330	-213	600
1847	6	326	-216	600
1848	6	322	-219	600
1849	6	317	-222	600
1850	6	313	-225	600
1851	6	308	-227	600
1852	6	304	-230	600
1853	6	300	-233	600
1854	6	296	-235	600
1855	6	292	-238	600
1856	6	288	-241	600
1857	6	284	-244	600
1858	6	280	-246	600
1859	6	277	-249	600
1860	6	274	-254	600
1861	6	270	-256	600
1862	6	267	-257	600
1863	6	263	-258	600
1864	6	258	-262	600
1865	6	253	-264	600
1866	6	247	-266	600
1867	6	241	-268	600
1868	6	237	-269	600
1869	6	234	-270	600
1870	6	230	-271	600
1871	6	227	-271	600
1872	6	223	-272	600
1873	6	219	-273	600
1874	6	215	-274	600
1875	6	212	-274	600
1876	6	209	-276	600
1877	6	206	-276	600
1878	6	202	-276	600
1879	6	199	-276	600
1880	6	196	-277	600
1881	6	192	-277	600
1882	6	189	-277	600
1883	6	184	-277	600
1884	6	181	-277	600
1885	6	176	-276	600
1886	6	171	-277	600
1887	6	167	-277	600
1888	6	163	-277	600
1889	6	160	-277	600
1890	6	157	-277	600
1891	6	154	-277	600
1892	6	147	-276	600
1893	6	144	-276	600
1894	6	140	-276	600
1895	6	137	-275	600
1896	6	133	-273	600
1897	6	131	-273	600
1898	6	127	-273	600
1899	6	124	-272	600
1900	6	120	-272	600
1901	6	117	-272	600
1902	6	113	-272	600
1903	6	110	-271	600
1904	6	106	-270	600
1905	6	103	-269	600
1906	6	98	-268	600
1907	6	92	-266	600
1908	6	86	-264	600
1909	6	81	-265	600
1910	6	75	-265	600
1911	6	71	-264	600
1912	6	68	-263	600

1913	6	65	-262	600
1914	6	62	-261	600
1915	6	59	-261	600
1916	6	55	-259	600
1917	6	52	-259	600
1918	6	49	-259	600
1919	6	46	-259	600
1920	6	43	-258	600
1921	7	-120	-146	620
1922	7	-122	-142	620
1923	7	-126	-137	620
1924	7	-129	-133	620
1925	7	-131	-129	620
1926	7	-135	-124	620
1927	7	-138	-119	620
1928	7	-139	-115	620
1929	7	-141	-110	620
1930	7	-143	-105	620
1931	7	-144	-101	620
1932	7	-147	-96	620
1933	7	-149	-91	620
1934	7	-151	-87	620
1935	7	-150	-82	620
1936	7	-152	-78	620
1937	7	-152	-73	620
1938	7	-152	-68	620
1939	7	-153	-64	620
1940	7	-154	-59	620
1941	7	-155	-54	620
1942	7	-154	-49	620
1943	7	-155	-45	620
1944	7	-155	-39	620
1945	7	-155	-34	620
1946	7	-155	-30	620
1947	7	-154	-25	620
1948	7	-152	-20	620
1949	7	-151	-16	620
1950	7	-149	-11	620
1951	7	-150	-5	620
1952	7	-149	1	620
1953	7	-148	5	620
1954	7	-147	10	620
1955	7	-146	15	620
1956	7	-145	19	620
1957	7	-142	24	620
1958	7	-141	30	620
1959	7	-140	35	620
1960	7	-138	39	620
1961	7	-137	43	620
1962	7	-134	48	620
1963	7	-132	53	620
1964	7	-129	58	620
1965	7	-127	63	620
1966	7	-124	67	620
1967	7	-120	73	620
1968	7	-117	77	620
1969	7	-111	82	620
1970	7	-107	87	620
1971	7	-102	91	620
1972	7	-94	96	620
1973	7	-88	102	620
1974	7	-81	111	620
1975	7	-76	113	620
1976	7	-70	114	620
1977	7	-65	116	620
1978	7	-60	118	620
1979	7	-54	119	620
1980	7	-49	122	620
1981	7	-43	123	620
1982	7	-38	125	620
1983	7	-32	129	620
1984	7	-27	131	620
1985	7	-21	134	620
1986	7	-15	136	620
1987	7	-8	139	620
1988	7	0	142	620
1989	7	6	144	620

1990	7	12	148	620
1991	7	18	150	620
1992	7	23	151	620
1993	7	28	152	620
1994	7	34	154	620
1995	7	39	156	620
1996	7	44	159	620
1997	7	50	161	620
1998	7	55	163	620
1999	7	60	165	620
2000	7	66	168	620
2001	7	73	170	620
2002	7	79	172	620
2003	7	86	174	620
2004	7	93	176	620
2005	7	99	178	620
2006	7	105	181	620
2007	7	112	185	620
2008	7	118	186	620
2009	7	125	188	620
2010	7	130	190	620
2011	7	136	193	620
2012	7	142	194	620
2013	7	148	196	620
2014	7	153	196	620
2015	7	160	199	620
2016	7	167	200	620
2017	7	174	201	620
2018	7	179	201	620
2019	7	185	203	620
2020	7	191	204	620
2021	7	197	204	620
2022	7	204	205	620
2023	7	209	206	620
2024	7	215	205	620
2025	7	221	207	620
2026	7	227	207	620
2027	7	232	207	620
2028	7	238	207	620
2029	7	244	206	620
2030	7	250	207	620
2031	7	256	206	620
2032	7	261	205	620
2033	7	267	204	620
2034	7	272	203	620
2035	7	278	203	620
2036	7	283	200	620
2037	7	290	198	620
2038	7	295	197	620
2039	7	301	195	620
2040	7	306	194	620
2041	7	312	192	620
2042	7	318	191	620
2043	7	323	189	620
2044	7	328	187	620
2045	7	334	184	620
2046	7	340	181	620
2047	7	345	179	620
2048	7	351	176	620
2049	7	356	173	620
2050	7	362	171	620
2051	7	367	167	620
2052	7	373	164	620
2053	7	379	160	620
2054	7	385	156	620
2055	7	390	151	620
2056	7	395	145	620
2057	7	401	139	620
2058	7	406	134	620
2059	7	412	127	620
2060	7	417	120	620
2061	7	422	115	620
2062	7	431	110	620
2063	7	433	106	620
2064	7	434	101	620
2065	7	436	97	620
2066	7	439	92	620

2067	7	440	87	620
2068	7	441	82	620
2069	7	442	77	620
2070	7	443	73	620
2071	7	444	68	620
2072	7	444	64	620
2073	7	446	59	620
2074	7	446	54	620
2075	7	446	50	620
2076	7	447	45	620
2077	7	446	40	620
2078	7	447	35	620
2079	7	447	31	620
2080	7	446	26	620
2081	7	446	21	620
2082	7	447	16	620
2083	7	447	12	620
2084	7	446	8	620
2085	7	446	3	620
2086	7	446	-1	620
2087	7	446	-6	620
2088	7	446	-10	620
2089	7	445	-15	620
2090	7	444	-20	620
2091	7	443	-25	620
2092	7	442	-30	620
2093	7	441	-34	620
2094	7	440	-39	620
2095	7	439	-44	620
2096	7	438	-48	620
2097	7	437	-53	620
2098	7	436	-57	620
2099	7	435	-63	620
2100	7	434	-68	620
2101	7	433	-72	620
2102	7	432	-77	620
2103	7	431	-82	620
2104	7	429	-86	620
2105	7	428	-91	620
2106	7	427	-96	620
2107	7	425	-100	620
2108	7	423	-105	620
2109	7	421	-109	620
2110	7	418	-114	620
2111	7	416	-119	620
2112	7	414	-124	620
2113	7	411	-129	620
2114	7	410	-133	620
2115	7	407	-138	620
2116	7	404	-143	620
2117	7	401	-147	620
2118	7	398	-152	620
2119	7	395	-156	620
2120	7	391	-160	620
2121	7	385	-165	620
2122	7	383	-170	620
2123	7	380	-173	620
2124	7	376	-177	620
2125	7	372	-181	620
2126	7	367	-186	620
2127	7	364	-191	620
2128	7	358	-196	620
2129	7	357	-199	620
2130	7	353	-202	620
2131	7	349	-206	620
2132	7	346	-208	620
2133	7	338	-213	620
2134	7	332	-217	620
2135	7	325	-222	620
2136	7	320	-225	620
2137	7	317	-229	620
2138	7	313	-232	620
2139	7	309	-235	620
2140	7	305	-237	620
2141	7	300	-240	620
2142	7	297	-242	620
2143	7	294	-245	620

2144	7	290	-247	620
2145	7	286	-250	620
2146	7	283	-255	620
2147	7	279	-257	620
2148	7	276	-259	620
2149	7	270	-263	620
2150	7	264	-264	620
2151	7	259	-267	620
2152	7	253	-269	620
2153	7	248	-271	620
2154	7	243	-272	620
2155	7	237	-273	620
2156	7	232	-274	620
2157	7	229	-275	620
2158	7	226	-276	620
2159	7	222	-277	620
2160	7	219	-277	620
2161	7	215	-278	620
2162	7	212	-278	620
2163	7	209	-279	620
2164	7	205	-279	620
2165	7	202	-279	620
2166	7	199	-280	620
2167	7	195	-279	620
2168	7	192	-280	620
2169	7	188	-279	620
2170	7	183	-280	620
2171	7	177	-280	620
2172	7	172	-281	620
2173	7	166	-280	620
2174	7	160	-280	620
2175	7	145	-279	620
2176	7	141	-278	620
2177	7	138	-279	620
2178	7	135	-279	620
2179	7	131	-278	620
2180	7	128	-277	620
2181	7	125	-278	620
2182	7	122	-277	620
2183	7	118	-277	620
2184	7	115	-276	620
2185	7	110	-274	620
2186	7	105	-273	620
2187	7	99	-273	620
2188	7	93	-271	620
2189	7	88	-271	620
2190	7	83	-270	620
2191	7	78	-269	620
2192	7	72	-269	620
2193	7	67	-268	620
2194	7	61	-267	620
2195	7	56	-267	620
2196	7	50	-265	620
2197	7	44	-263	620
2198	7	39	-265	620
2199	7	34	-263	620
2200	7	29	-263	620
2201	7	23	-261	620
2202	7	18	-259	620
2203	7	13	-259	620
2204	7	7	-256	620
2205	7	2	-255	620
2206	7	-3	-254	620
2207	7	-9	-252	620
2208	7	-14	-251	620
2209	7	-20	-248	620
2210	7	-24	-247	620
2211	7	-27	-245	620
2212	7	-30	-244	620
2213	7	-34	-243	620
2214	7	-37	-241	620
2215	7	-40	-239	620
2216	7	-43	-237	620
2217	7	-46	-234	620
2218	7	-49	-232	620
2219	7	-52	-229	620
2220	7	-57	-223	620

2221	7	-66	-218	620
2222	7	-67	-214	620
2223	7	-68	-210	620
2224	7	-69	-205	620
2225	7	-69	-200	620
2226	7	-69	-196	620
2227	7	-70	-191	620
2228	7	-72	-187	620
2229	7	-74	-183	620
2230	7	-78	-178	620
2231	7	-85	-174	620
2232	7	-91	-170	620
2233	7	-97	-165	620
2234	7	-105	-161	620
2235	7	-110	-156	620
2236	7	-115	-152	620
2237	7	-119	-147	620
2238	7	-123	-143	620

Livros Grátis

(<http://www.livrosgratis.com.br>)

Milhares de Livros para Download:

[Baixar livros de Administração](#)

[Baixar livros de Agronomia](#)

[Baixar livros de Arquitetura](#)

[Baixar livros de Artes](#)

[Baixar livros de Astronomia](#)

[Baixar livros de Biologia Geral](#)

[Baixar livros de Ciência da Computação](#)

[Baixar livros de Ciência da Informação](#)

[Baixar livros de Ciência Política](#)

[Baixar livros de Ciências da Saúde](#)

[Baixar livros de Comunicação](#)

[Baixar livros do Conselho Nacional de Educação - CNE](#)

[Baixar livros de Defesa civil](#)

[Baixar livros de Direito](#)

[Baixar livros de Direitos humanos](#)

[Baixar livros de Economia](#)

[Baixar livros de Economia Doméstica](#)

[Baixar livros de Educação](#)

[Baixar livros de Educação - Trânsito](#)

[Baixar livros de Educação Física](#)

[Baixar livros de Engenharia Aeroespacial](#)

[Baixar livros de Farmácia](#)

[Baixar livros de Filosofia](#)

[Baixar livros de Física](#)

[Baixar livros de Geociências](#)

[Baixar livros de Geografia](#)

[Baixar livros de História](#)

[Baixar livros de Línguas](#)

[Baixar livros de Literatura](#)
[Baixar livros de Literatura de Cordel](#)
[Baixar livros de Literatura Infantil](#)
[Baixar livros de Matemática](#)
[Baixar livros de Medicina](#)
[Baixar livros de Medicina Veterinária](#)
[Baixar livros de Meio Ambiente](#)
[Baixar livros de Meteorologia](#)
[Baixar Monografias e TCC](#)
[Baixar livros Multidisciplinar](#)
[Baixar livros de Música](#)
[Baixar livros de Psicologia](#)
[Baixar livros de Química](#)
[Baixar livros de Saúde Coletiva](#)
[Baixar livros de Serviço Social](#)
[Baixar livros de Sociologia](#)
[Baixar livros de Teologia](#)
[Baixar livros de Trabalho](#)
[Baixar livros de Turismo](#)