

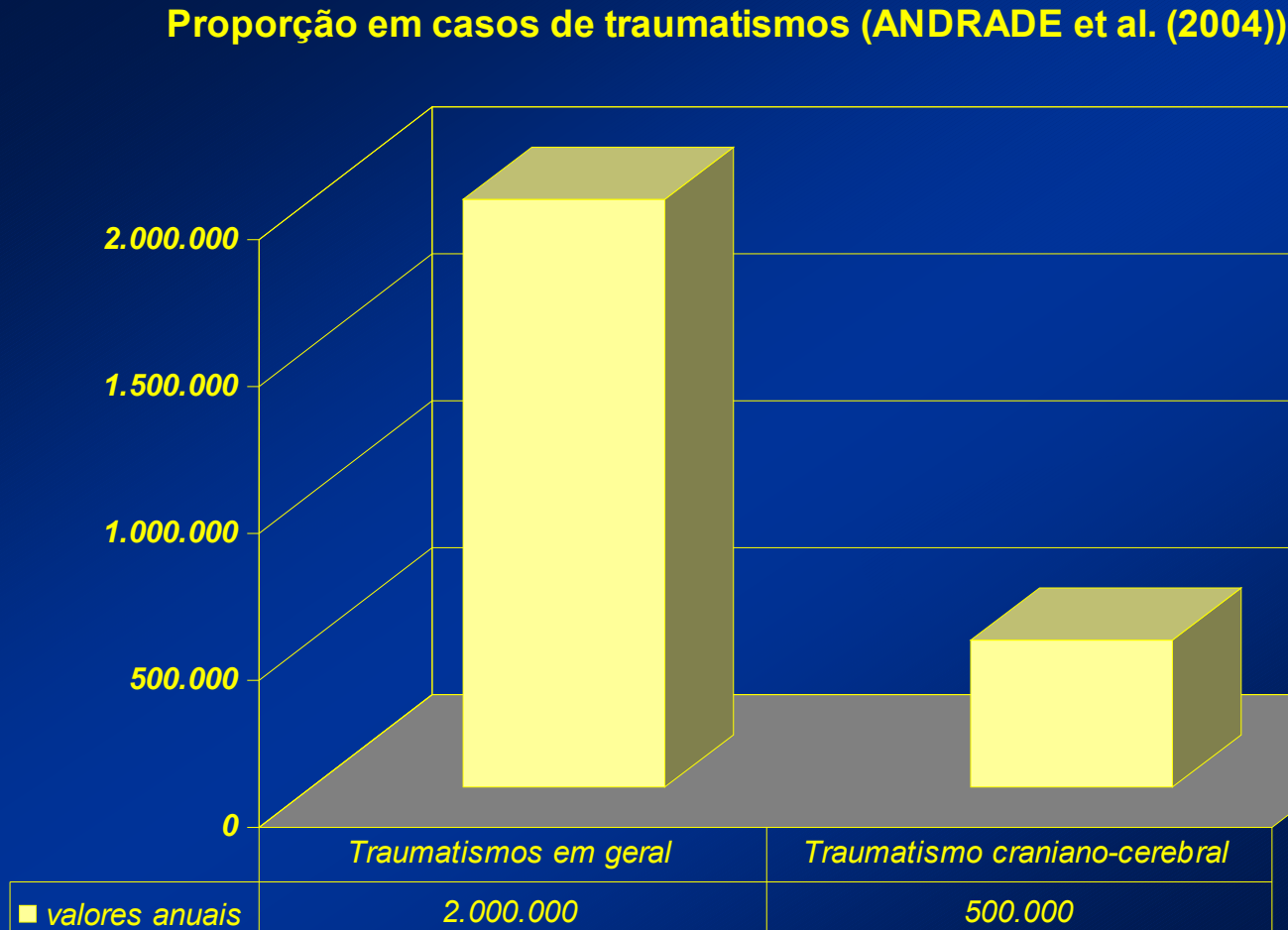
USINAGEM DE PRÓTESES PARA CRANIOPLASTIA A PARTIR DE IMAGENS TOMOGRÁFICAS

Apresentação baseada nos trabalhos dos mestrandos
OVANDIR BAZAN (2004)
SERGIO FERNANDO LAJARIN (2008)

Orientador: Prof. Dr. Dalberto Dias da Costa

INTRODUÇÃO

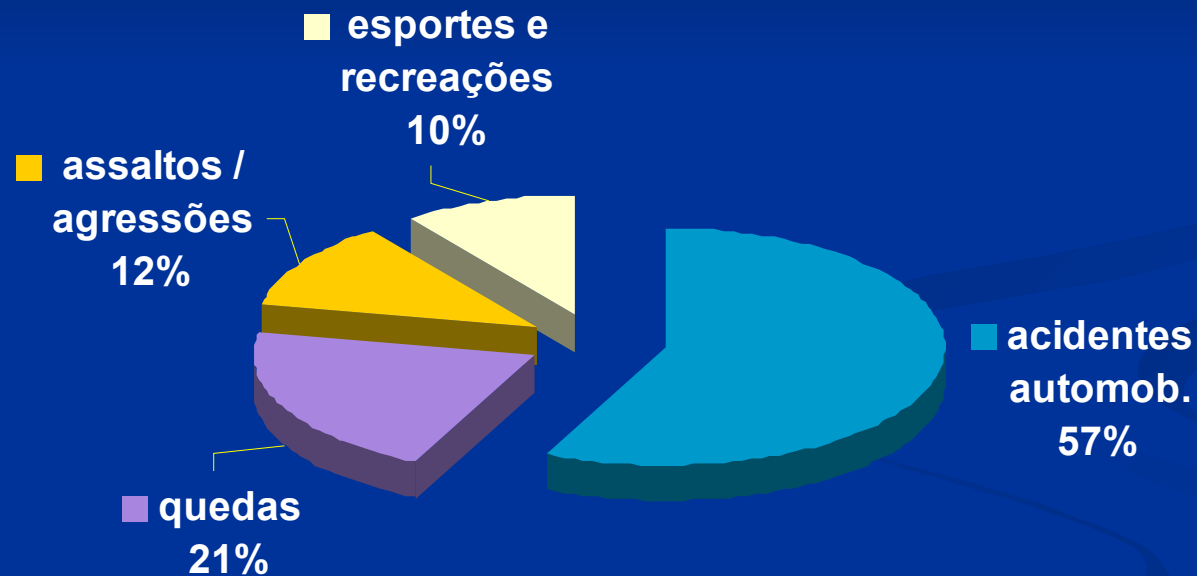
■ Apresentação do problema



INTRODUÇÃO

■ Apresentação do problema

Proporção em casos de traumatismo cranio-cerebral
(ANDRADE et al. (2004))



INTRODUÇÃO

■ Apresentação do problema

■ Próteses sob medida

- Redução do tempo de cirurgia;
- Redução dos riscos e traumas cirúrgicos;
- Redução da morbidade cirúrgica e pós-operatória;
- Melhores resultados estéticos.

■ Aplicações craniais

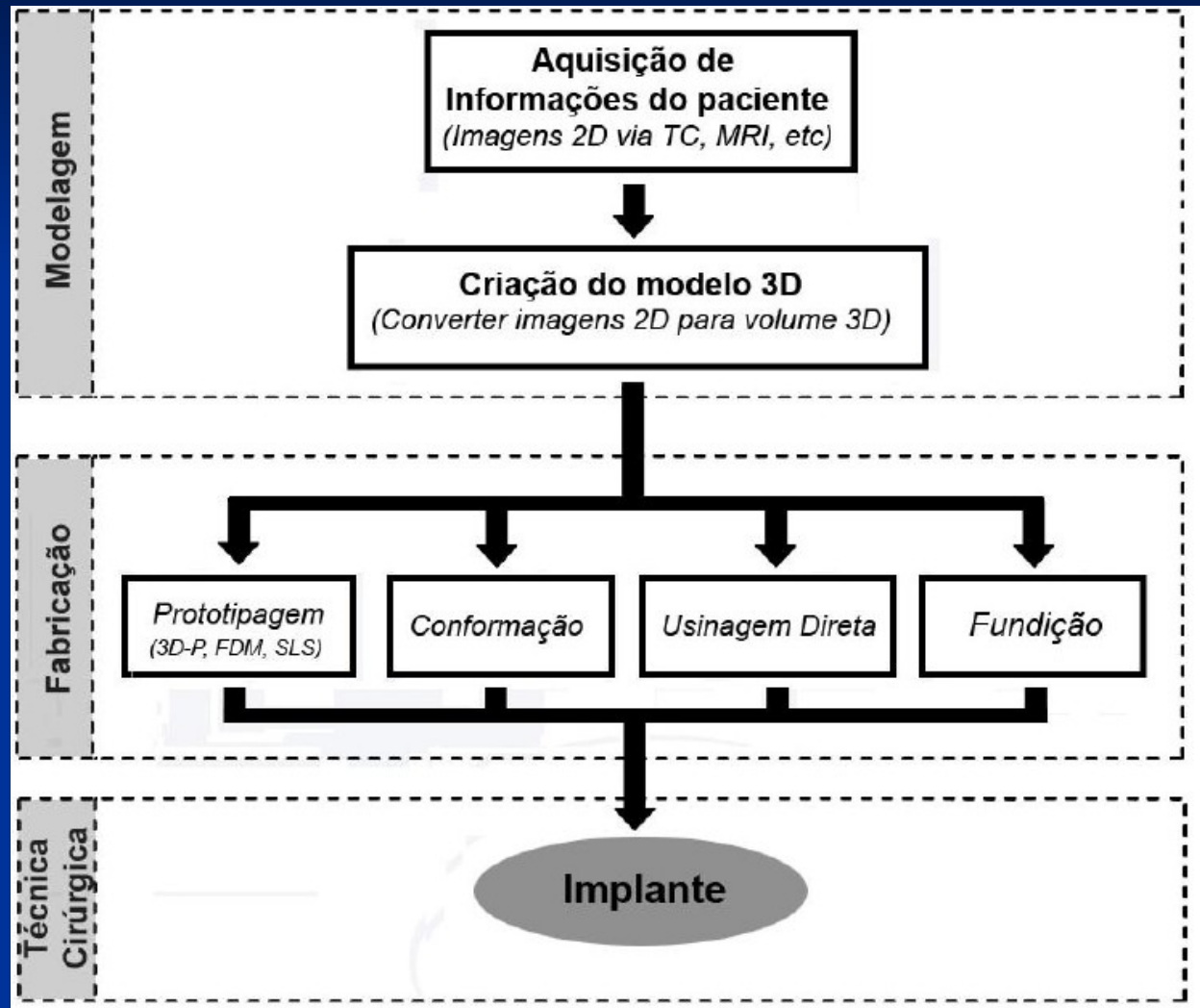
- Traumatismos;
- Síndromes;
- Tumores ósseos.

INTRODUÇÃO

- Apresentação do problema
 - Etapas na elaboração de próteses sob medida
 1. Obtenção das imagens da região;
 2. Manipulação (pré-processamento e segmentação) das imagens;
 3. Reconstrução tridimensional num formato apropriado;
 4. Fabricação.

INTRODUÇÃO

■ Apresentação do problema



REVISÃO DA LITERATURA

■ Cranioplastia (pré-operativamente)

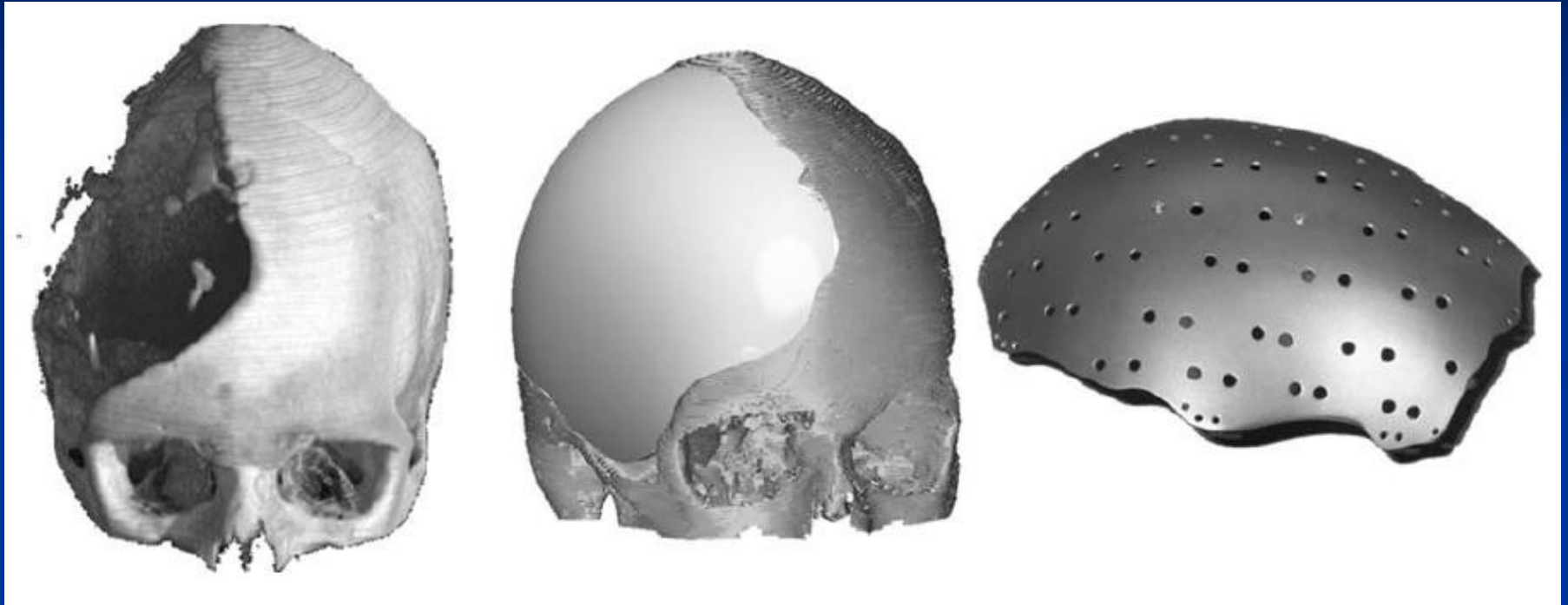
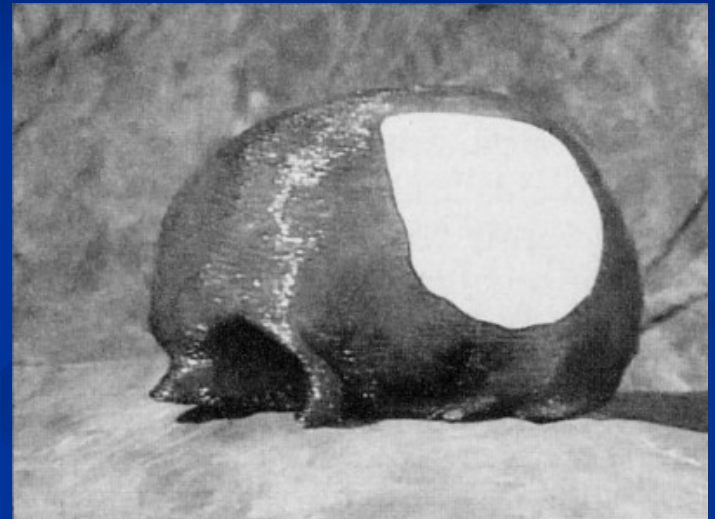


Fig. 2.2 Projeto de prótese sob medida a partir de imagens tomográficas
Fonte: WEHMÖLLER et al. (2004), pág. 668.

REVISÃO DA LITERATURA

- Biomateriais aloplásticos para cranioplastia (cfr. EPPLEY (1999)):
 - Polietileno;
 - Acrílico (PMMA)
 - Biocompatível;
 - Inerte;
 - Baixa condutividade;
 - Leve;
 - Rígido;
 - Simples de preparar e aplicar;
 - Barato.
 - Metais (titânio);
 - Fosfato de cálcio.



Fonte: EPPLEY (1999)

REVISÃO DA LITERATURA

- Fonte de aquisição de dados (tomografia computadorizada)

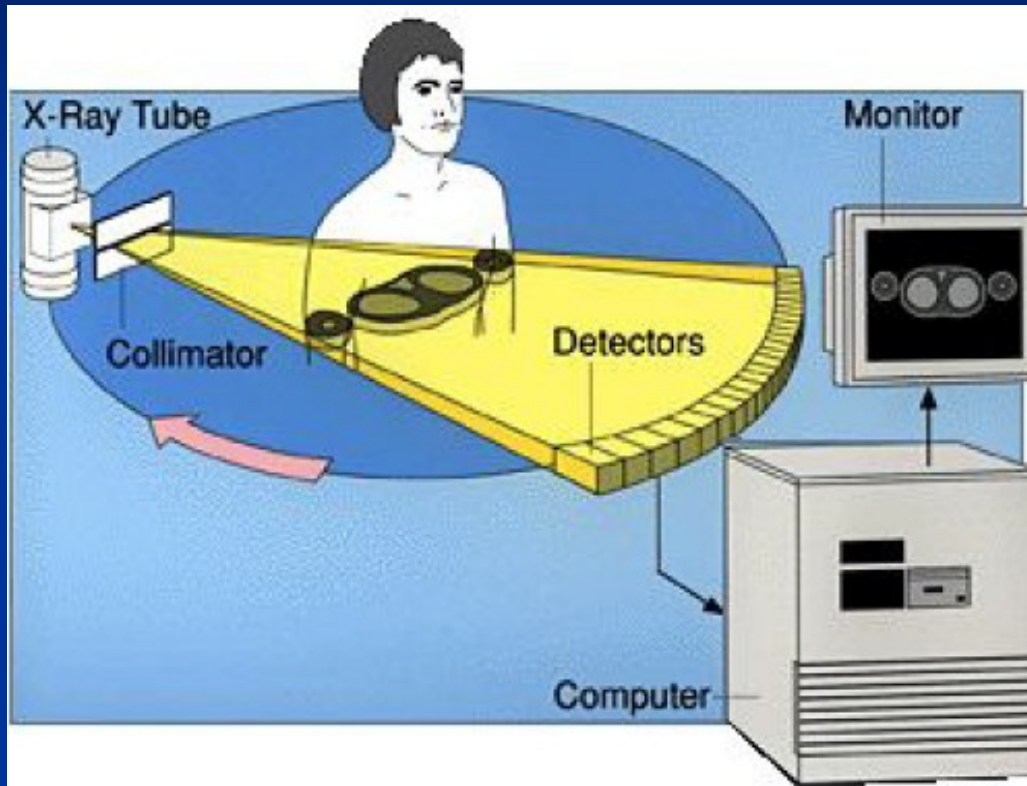


Fig. 1 – Esquema da obtenção de imagens tomográficas.

Fonte: http://www.imaginis.com/ct-scan/how_ct.asp

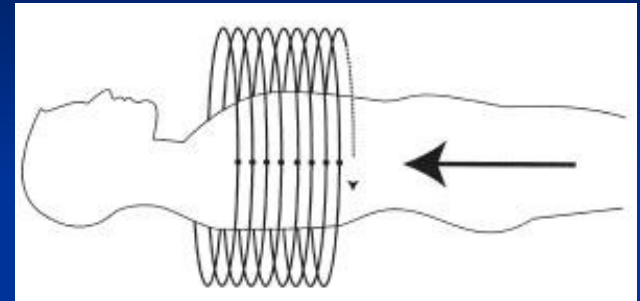


Fig. 3.2 Trajetória descrita em tomógrafo helicoidal.
Fonte: DAWSON e LEES (2001), pág. 304

REVISÃO DA LITERATURA

■ Fonte de aquisição de dados (tomografia computadorizada)

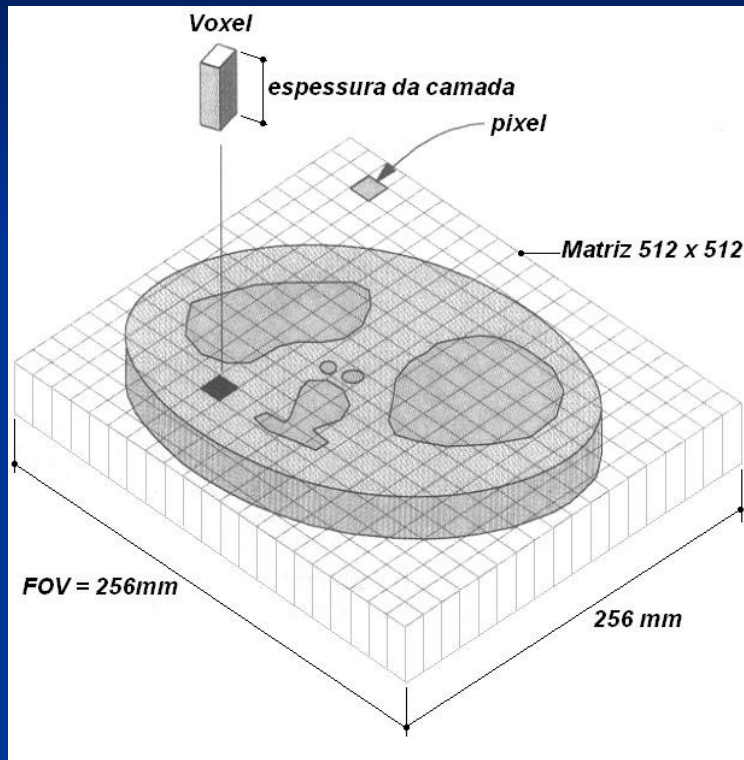


Fig. 3.5 - Camada tomográfica.
Alterado de BUSHBERG (1994),
pág. 242

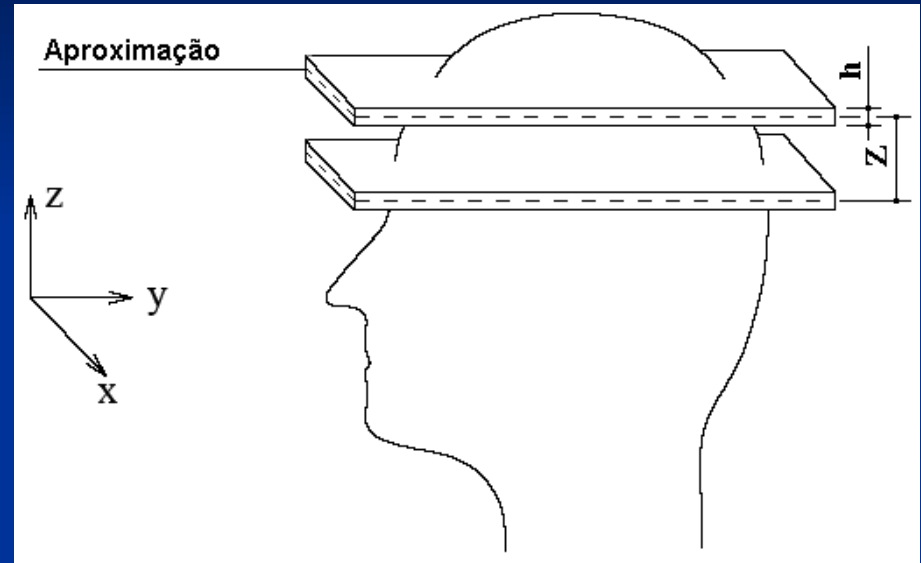


Fig. 3.6 - Espessura do corte (h),
aproximação e espaçamento entre
camadas (Z).

Alterado de: PEDRINI (1994), Pág. 7.

REVISÃO DA LITERATURA

■ Reconstrução tridimensional

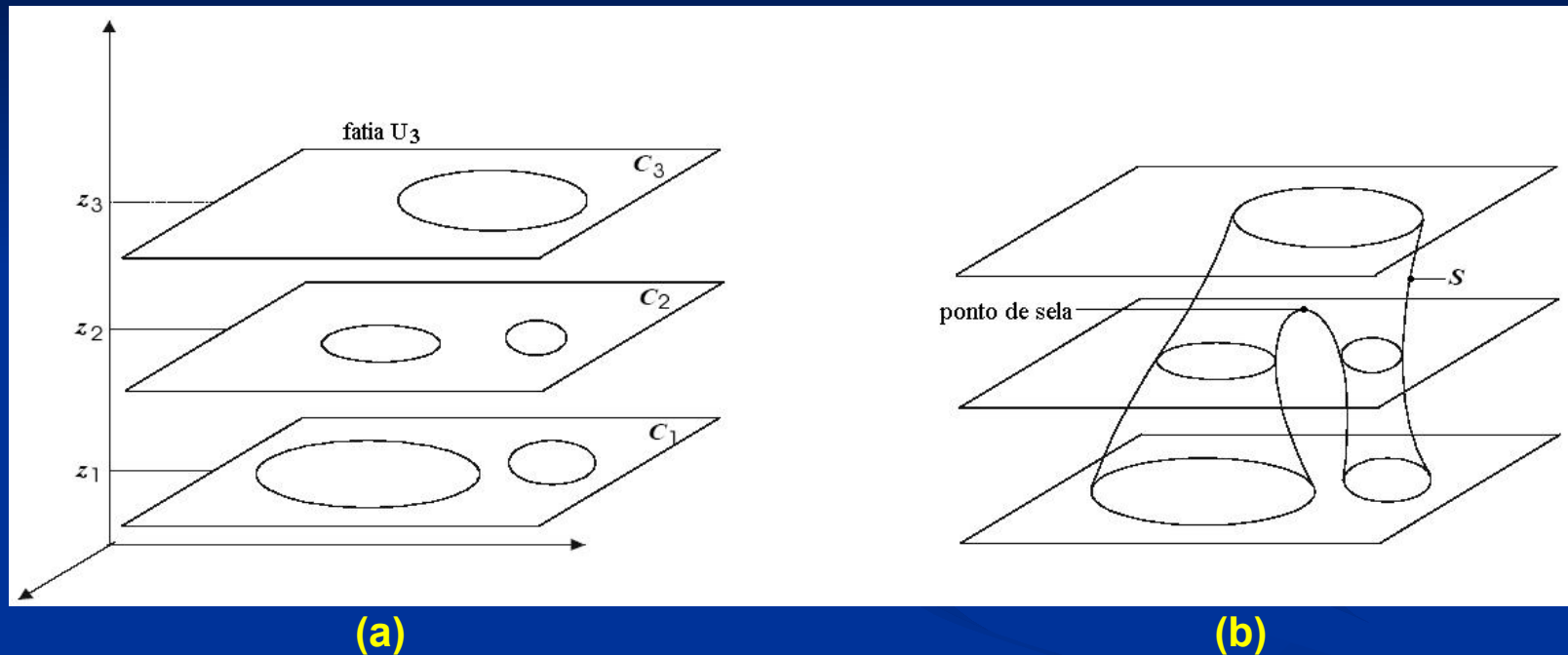
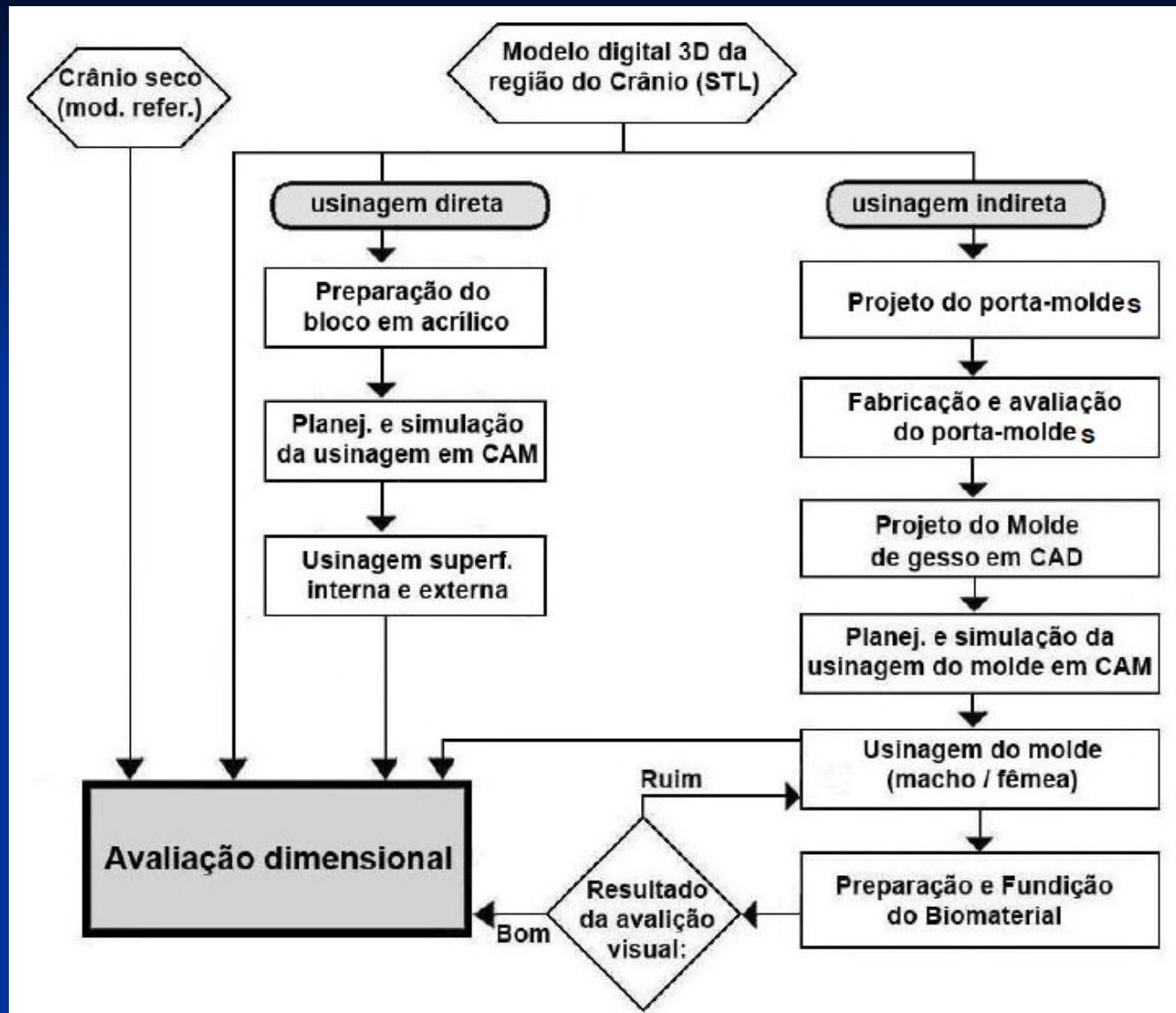


Fig. 3.9 - Reconstrução de uma superfície a partir de contornos. Em (a), contornos sobre fatias; em (b), superfície reconstruída (S). Alterado de: PEIXOTO e GATTASS (2000), pág. 2.

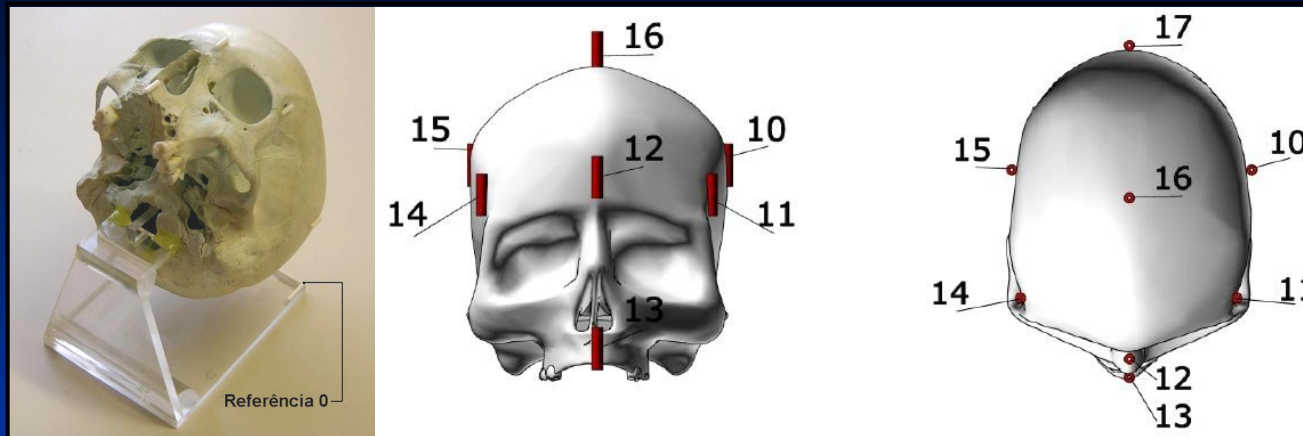
REVISÃO DA LITERATURA

- Fatores limitantes no processo de usinagem:
 - A ferramenta representa um volume (e não um ponto).
 - apresenta interface com relação à superfície;
 - está limitado no que se refere a superfícies côncavas, reentrâncias, etc.
 - Exige dispositivos de fixação, restringindo a usinagem nesta superfície.
 - Necessita de referenciais na peça, definidos a priori. Com mais de uma fixação, se tem necessidade de manter os referenciais anteriores, realizando a devida correspondência.
 - O material deve apresentar rigidez suficiente para ser fixado e resistir os esforços da remoção de cavaco.
 - Não se presta à confecção de matrizes ósseas (no que se refere à estrutura interna, com porosidade e interconectividade necessárias).
- Vantagens da usinagem direta:
 - Grande disseminação (equipamentos e pessoal), o que pode favorecer o aspecto dos custos e tempos de processos.
 - Alta reprodutividade e repetibilidade.
 - Complexidades geométricas (máquinas com mais eixos comandados, ou mais fixações)
 - Qualidade de superfície e a manutenção de tolerâncias estreitas.
- OBS: O crânio **completo** não pode ser reproduzido por usinagem.

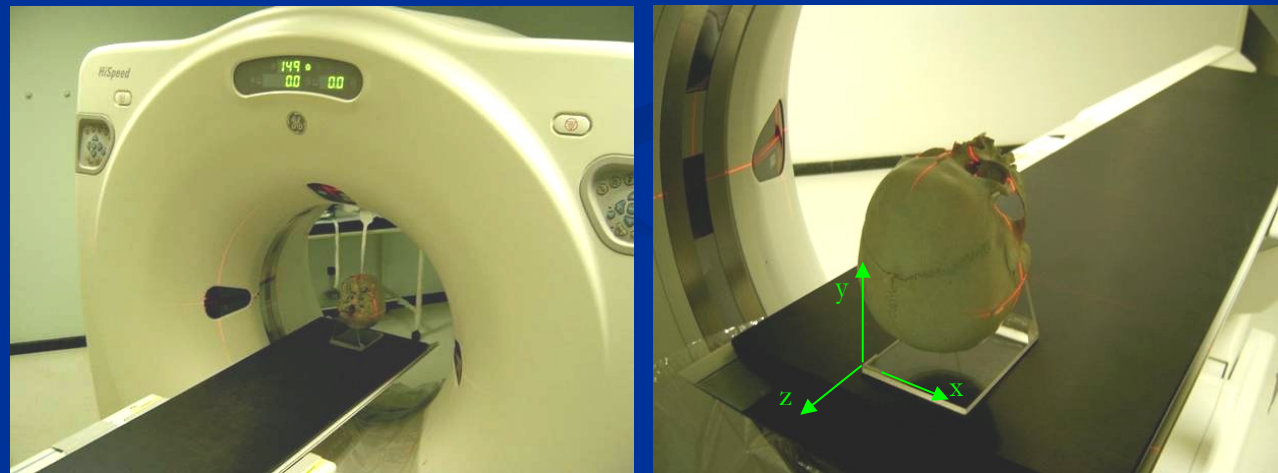
APRESENTAÇÃO DA METODOLOGIA



Preparação e exame tomográfico do crânio

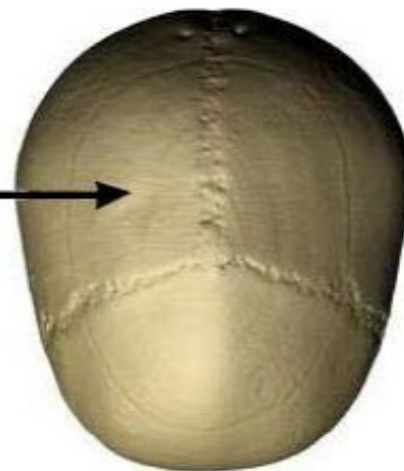
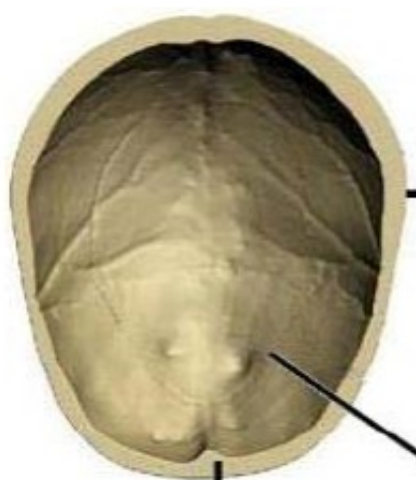


Identificação dos pontos referenciais no crânio.



Exame tomográfico do crânio no Setor de Radiologia do Hospital Erasto Gaertner.

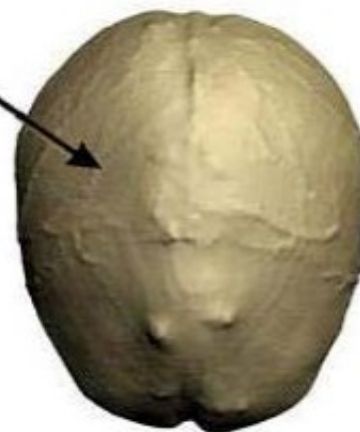
Modelo digital
original em STL



Superfície
externa



Superfície
plana



Superfície
interna

Separação das superfícies do modelo digital

Abordagem I – Reconstrução Total

- **Softwares** dedicados (área médica), com os seguintes recursos:
 - tratamento direto de informações formatadas em *DICOM* (*Digital Imaging and Communication in Medicine*);
 - recursos automáticos e (ou) manuais para limiarização;
 - reconstrução de volumes e superfícies;
 - ferramentas para medição de distâncias, e
 - capacidade para exportar em formatos compatíveis com os sistemas *CAM* da linha industrial.

- **Softwares** avaliados:
 - ***InVesalius*** – Trata-se de um *software* gratuito para fins de pesquisa, desenvolvido pelo *CenPRA*;
 - ***3D Doctor*** – A versão utilizada era apenas demonstrativa e não permitia a exportação e (ou) gravação de dados;
 - ***Mimics Versão 8.02*** – Utilizou-se uma licença para avaliação com todos os recursos da versão comercial.

Abordagem II – Reconstrução Parcial

- *Softwares* da área mecânica (CAD's), com as seguintes restrições:
 - a região compreendida entre seções transversais com no máximo dois contornos fechados;
 - não deverá ocorrer superposição de contornos de uma mesma superfície.

- *Softwares* avaliados:
 - ***DicomWorks versão 1.3.5***. Foi utilizado para converter as imagens *DICOM* em um formato público (*JPEG*, com informação do paciente).
 - ***Vextractor versão 2.40***. Foi utilizado na etapa de vetorização das imagens do formato *JPEG* para o padrão *DXF* (*Data Exchange File*).
 - ***SolidWorks versão 2003***. Modelador sólido. Disponibilidade da ferramenta “*loft*” para construção de sólidos e superfícies de forma livre.
 - ***Rhinoceros 3D versão 3.0 – SR3***. O modelo tridimensional foi exportado em *IGES* (*Initial Graphics Exchange Specification*) e em *STL* (*Stereolithography*), que são formatos reconhecidos pelos softwares *CAM* utilizados.

USINAGEM DA PRÓTESE

■ Material

- acrílico auto-polimerizante (marca *Clássico – Jet*), de aplicação médica;
- Bloco em forma de paralelepípedo (65 x 145 x 175 mm).



Acrílico auto-polimerizante e
Cera Rosa n. 7.

USINAGEM DA PRÓTESE

■ Máquina

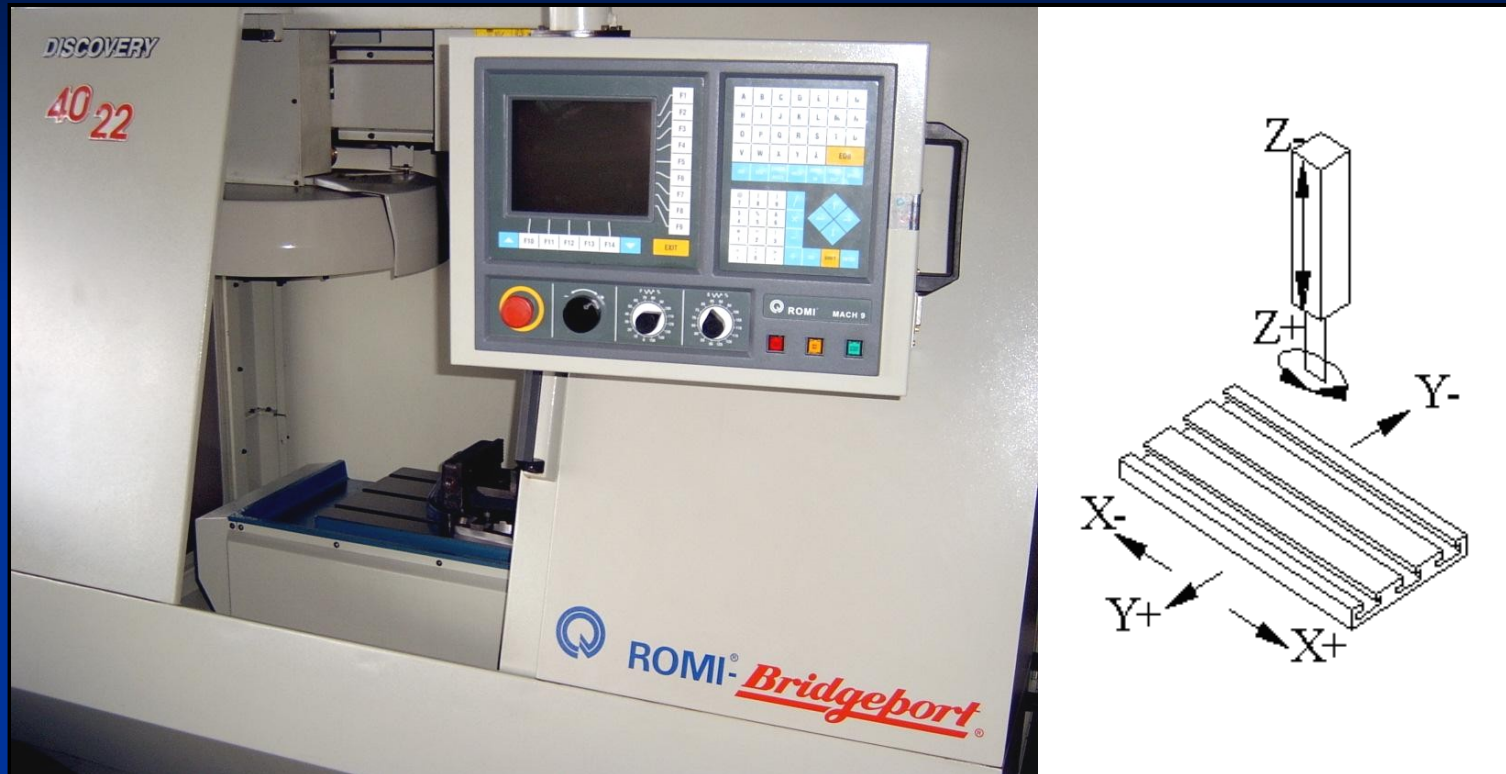


Fig. 4.7 – Centro de usinagem vertical de 3 eixos utilizado para a confecção da prótese

Máquinas, ferramentas e etapas na usinagem

1. Desbaste do bloco de acrílico.
2. Obtenção da superfície plana:

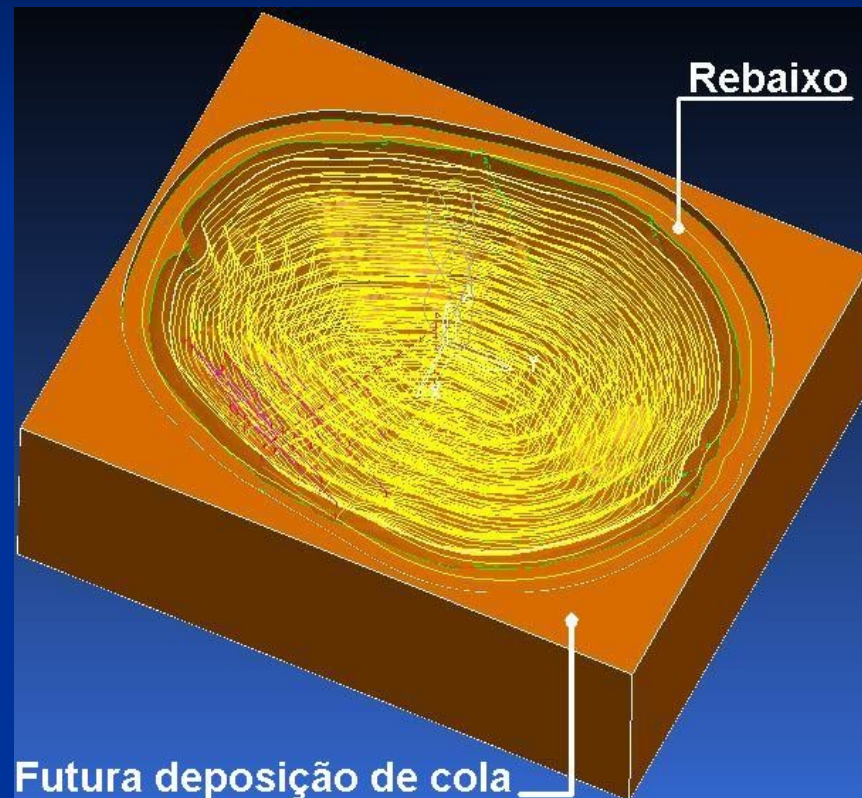


Fig. 4.8i – Obtenção da superfície com rebaixo

Máquinas, ferramentas e etapas na usinagem

3. Desbaste da superfície interna:

- Estratégia: Z constante, com limpeza de área;
- V_c [m/min]: 110;
- V_f [mm/min]: 1.700;
- a_p [mm]: 2;
- a_e [mm]: variável, máximo de 8mm, e
- Ferramenta: fresa de topo em metal duro revestida com TiAlN. Diâmetro de 10 mm e quatro arestas de corte. Marca *KARB-TOOLS* modelo *R4 10,0-075-22,0*.

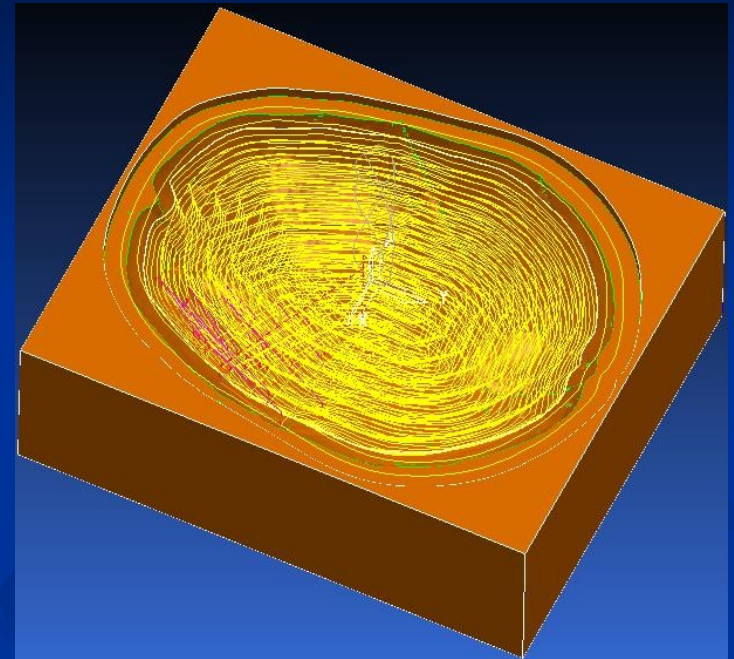


Fig. 4.8 Estratégia “Z constante” para o desbaste da superfície interna e rebaixo da superfície plana. Simulação realizada no PowerMill 3.0.

Máquinas, ferramentas e etapas na usinagem

4. Acabamento da superfície interna:

- Estratégia: varredura *raster*; em “Y” constante;
- V_c [m/min]: 226, no diâmetro máximo da fresa;
- V_f [mm/min]: 3000;
- a_p [mm]: variável, máximo de 0,3 mm;
- a_e [mm]: variável;
- Ferramenta: Fresa de ponta esférica com duas pastilhas em metal duro revestido; marca *KIENINGER*; modelo *WPR 12-N-CPN266* e raio 6 mm.

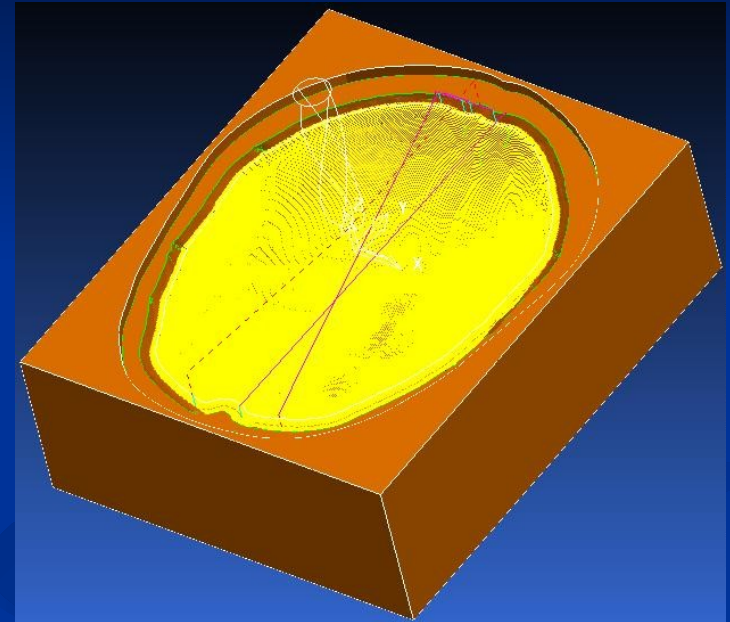


Fig. 4.9 Estratégia de acabamento da superfície interna no PowerMill 3.0.

Máquinas, ferramentas e etapas na usinagem

5. Reposicionamento e fixação do bloco:



Fig. 4.11 – Bloco colado na base retificada. O relógio comparador permitiu que o bloco fosse corretamente reposicionado.

Máquinas, ferramentas e etapas na usinagem

6. Desbaste da superfície externa:

- Estratégia: Z constante com limpeza de área;
- V_c [m/min]: 375;
- V_f [mm/min]: 2.100;
- a_p [mm]: 1;
- a_e [mm]: variável, máximo de 18mm;
- Ferramenta: fresa de topo com duas pastilhas em metal duro. Diâmetro de 20 mm e marca *FETTE-LTM* modelo *ART. NR. 1069454*.

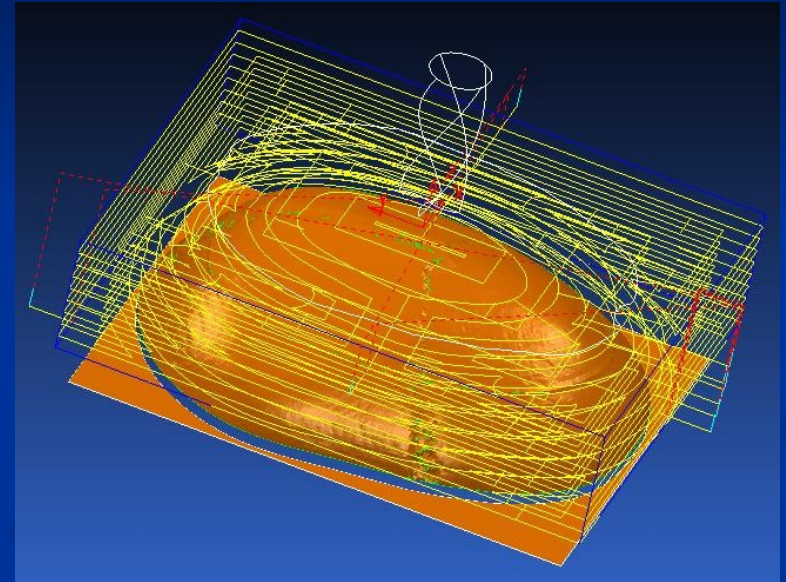


Fig. 4.12 Estratégia de desbaste da superfície externa no PowerMill 3.0.

Máquinas, ferramentas e etapas na usinagem

7. Acabamento da superfície externa [1ª fase]:

- Estratégia: varredura *raster*;
- V_c [m/min]: 226 no diâmetro máximo da fresa;
- V_f [mm/min]: 2.100;
- a_p [mm]: variável, máximo de 0,3 mm;
- a_e [mm]: variável de acordo com a superfície, e
- Ferramenta: Fresa de ponta esférica com duas pastilhas em metal duro; marca KIENINGER; mod. WPR 12-N-CPN266 e Raio 6mm.

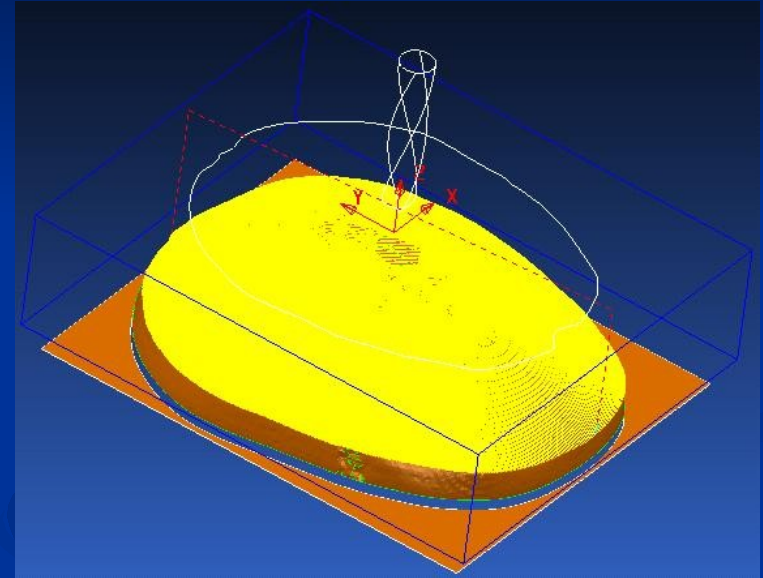


Fig. 4.13 Estratégia de acabamento da superfície externa no PowerMill 3.0.

Máquinas, ferramentas e etapas na usinagem

7. Acabamento da superfície externa [2ª fase]:

- Estratégia: Z constante com limpeza de área;
- V_c [m/min]: 375;
- V_f [mm/min]: 2.500;
- a_p [mm]: 0,15;
- a_e [mm]: variável, máximo de 18mm;
- Ferramenta: fresa de topo com duas pastilhas em metal duro. Diâmetro de 20 mm e marca *FETTE-LTM* modelo ART. NR. 1069454.

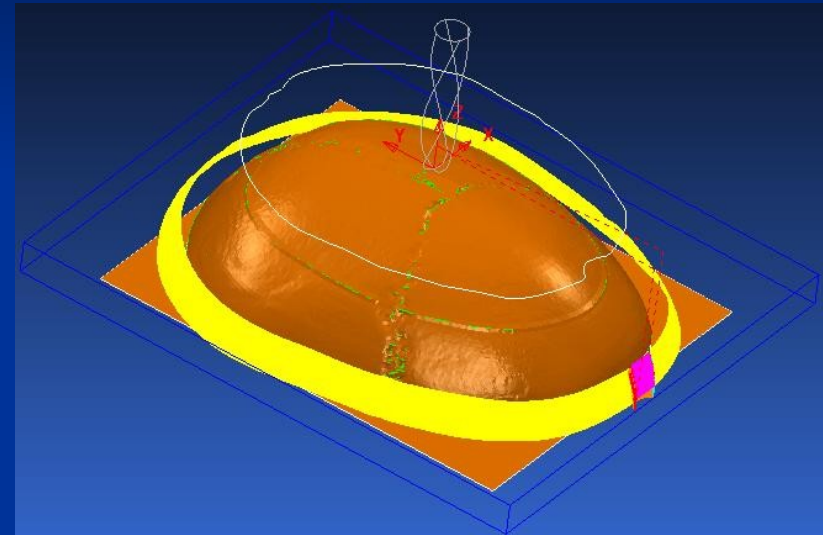


Fig. 4.14 Estratégia de continuidade do acabamento da superfície externa, e separação da prótese do bloco de fixação. Simulação realizada no PowerMill 3.0.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

■ Imagens tomográficas (limiarização):

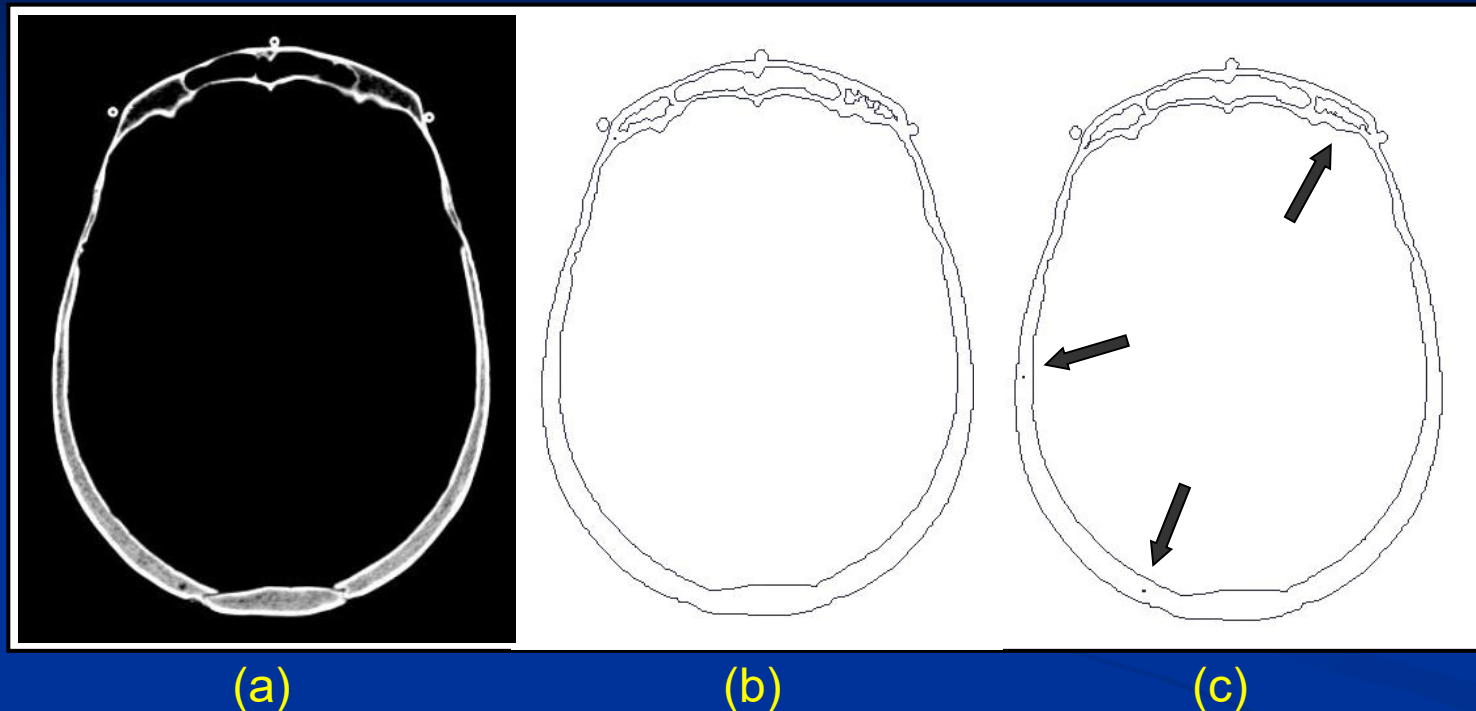


Fig. 5.1 – Resultados em segmentação de fatia tomográfica ($Z = 85$, de um total de 149) utilizando diferentes valores de limiar. Em (a), imagem original; em (b), aspecto da imagem utilizando um limiar de 25 (na escala de 0 a 255); em (c), aspecto utilizando um limiar de 50.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

- Imagens tomográficas (complexidade):

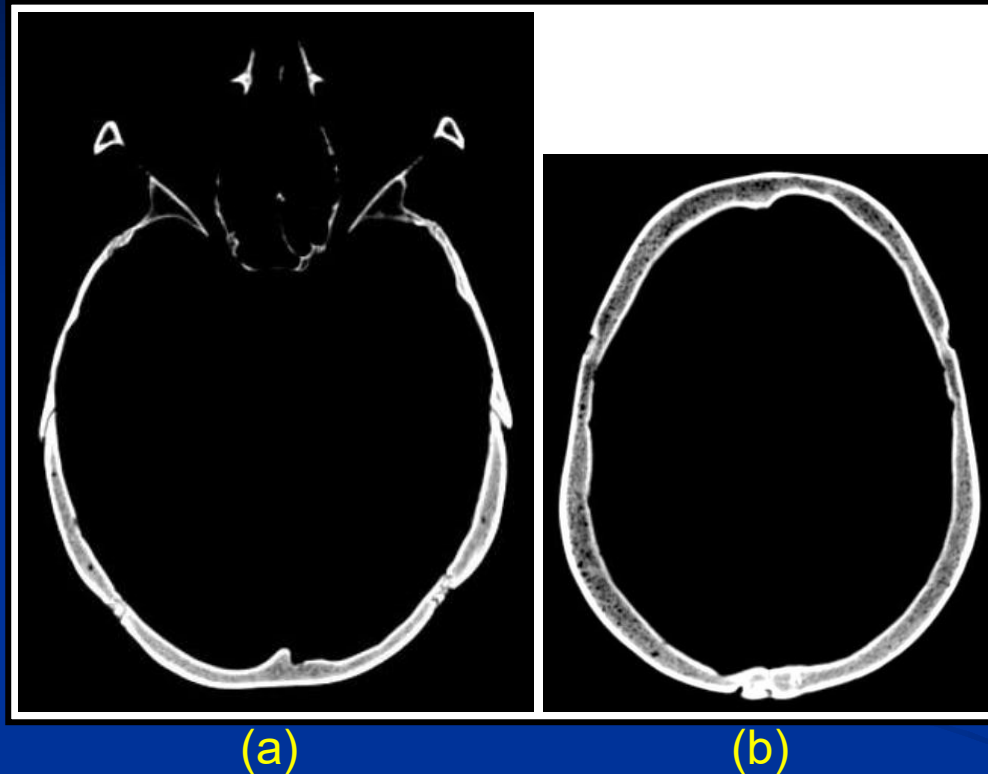
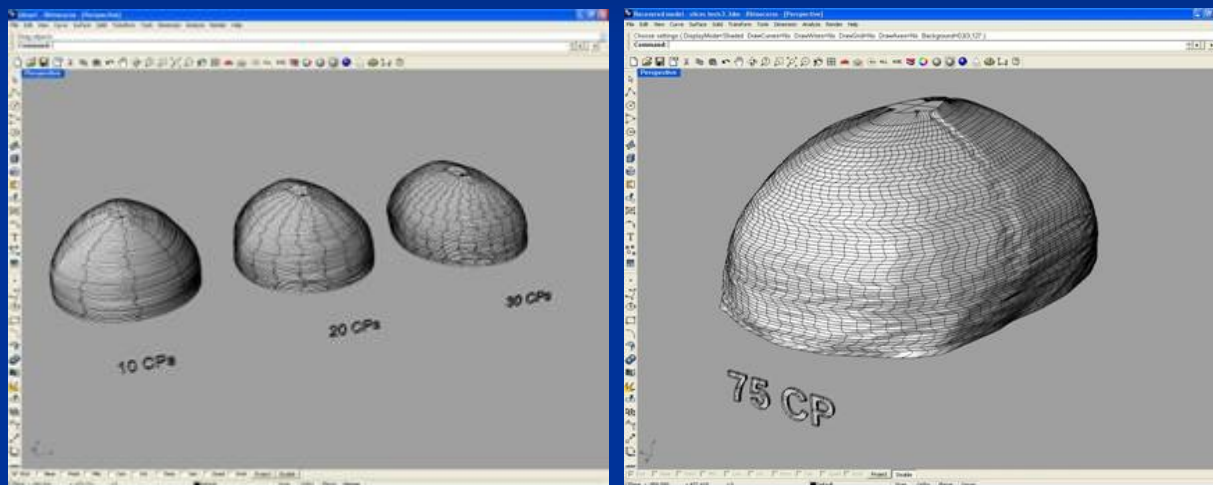


Fig. 5.2 – Complexidade das imagens tomográficas do crânio. Em (a), aspecto da fatia tomográfica n. 53; em (b), aspecto da fatia n. 115.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

■ Reconstrução com softwares “CAD”:

1. *DicomWorks*;
2. *Vextractor*;
3. *Rhinoceros 3D*:



(a)

(b)

Fig. 5.7 – Modelos reconstruídos no *software Rhinoceros 3D*. Em (a), reconstruções com 10, 20 e 30 pontos de controle e efeito de “sanfonamento”; em (b), reconstrução utilizada, com 75 pontos de controle.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

■ Reconstrução com *softwares* dedicados:

1. *InVesalius*;
2. *3D Doctor*:

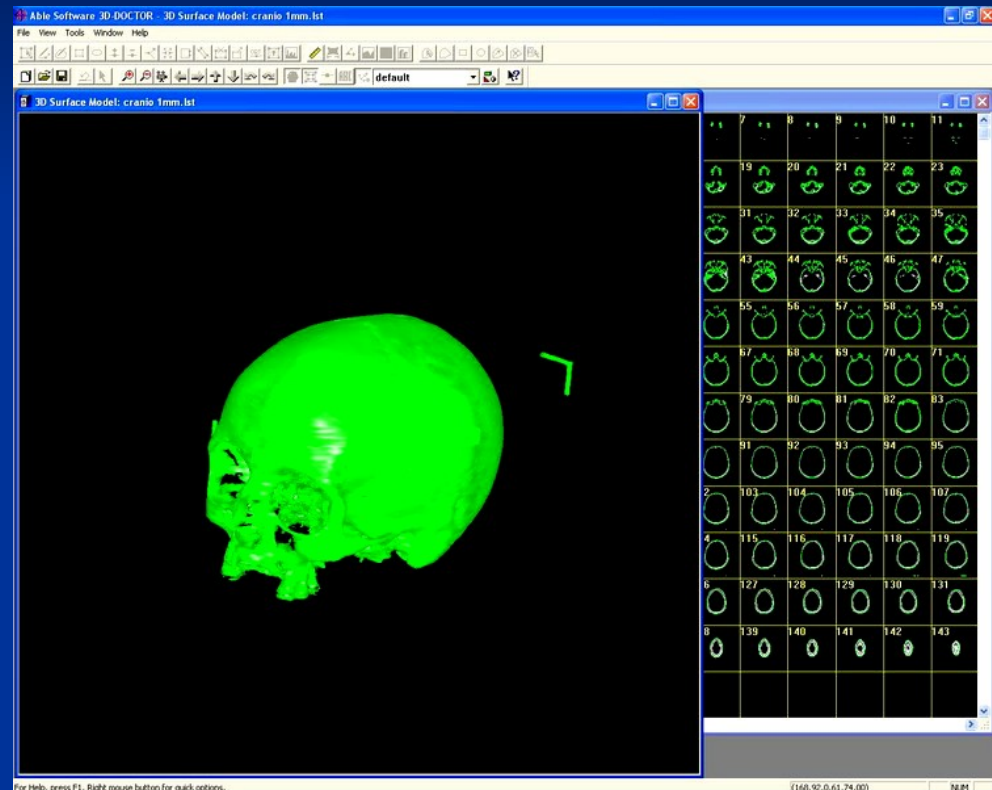


Fig. 5.8 – Modelo do crânio reconstruído no software 3D Doctor.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

■ Reconstrução com *softwares* dedicados:

3. *Mimics*:

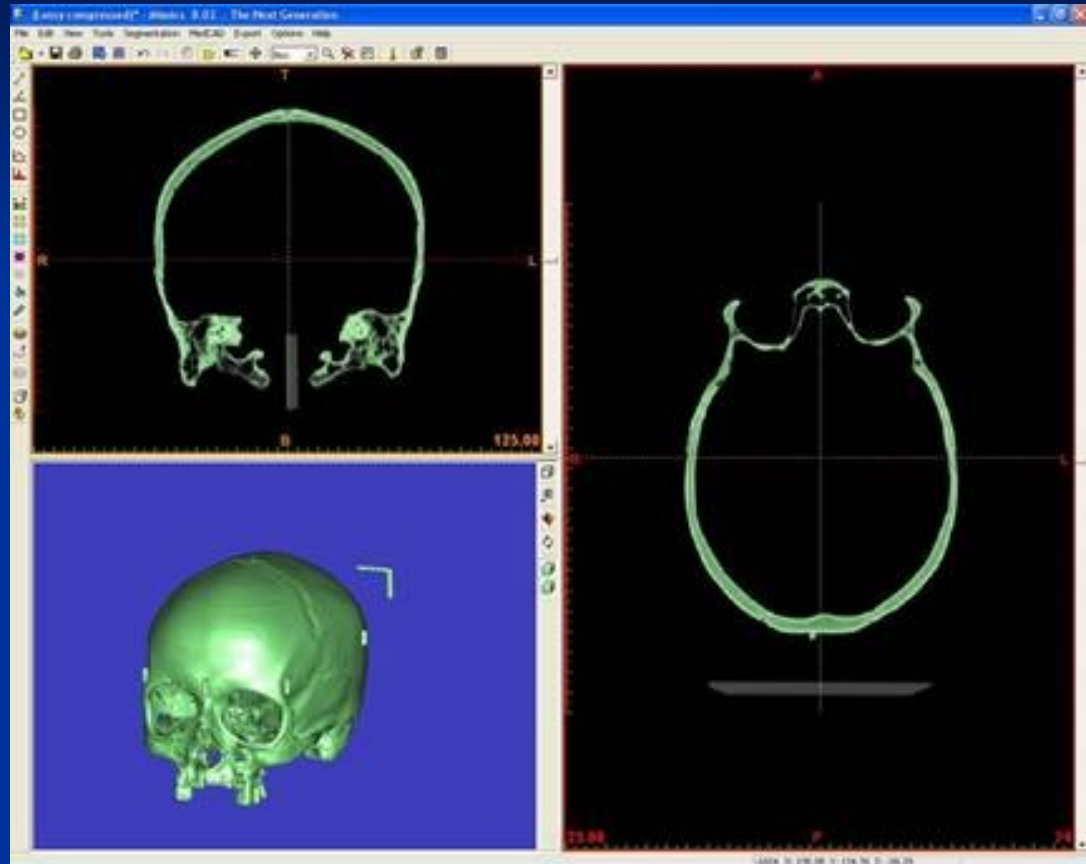


Fig. 5.9 – Modelo do crânio reconstruído no software Mimics.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

■ Definição da sub-região a ser usinada

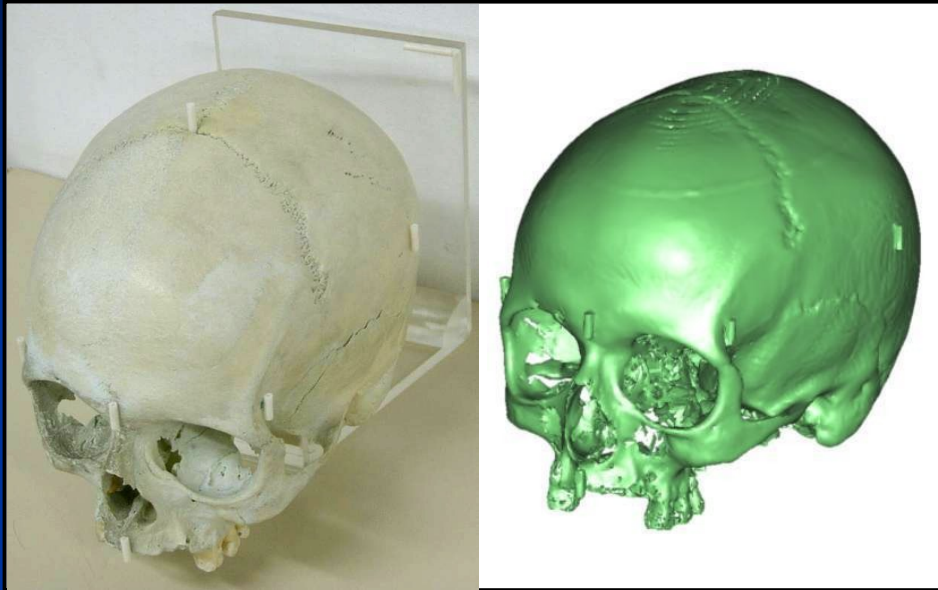


Fig. 5.11 – Complexidade da superfície do crânio, ressaltada na região das suturas. Em (a), modelo físico utilizado; em (b), reconstrução a partir do software Mimics, que melhor reproduziu a complexidade da superfície.

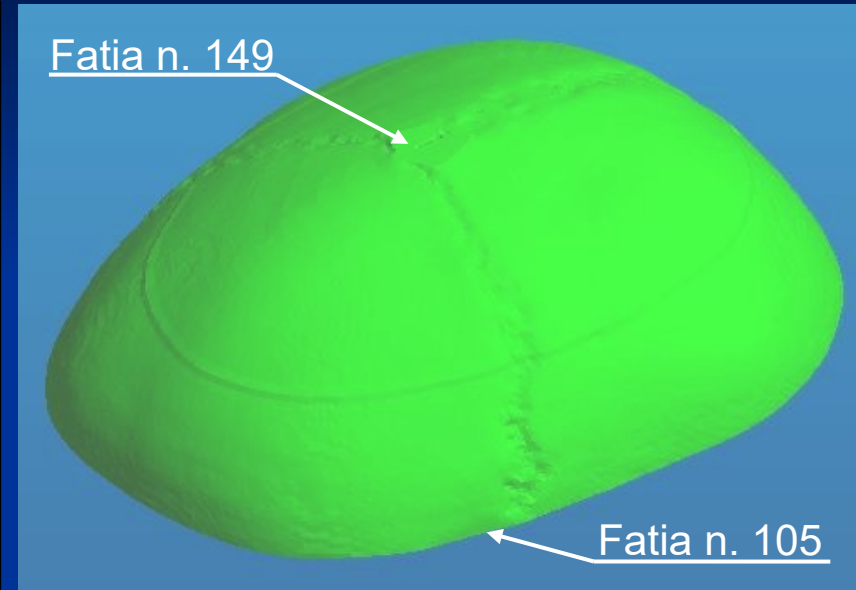


Fig. 5.12 – Reconstrução da sub-região do crânio a partir do software Mimics, constituindo o modelo a ser usinado.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

- Boa usinabilidade no acrílico:
 - não necessitar fluido de corte (contaminação das próteses);
 - valores elevados de velocidades de corte (V_c) e de avanço (V_f);
 - bons resultados no acabamento das superfícies, apesar do uso de um ferramental não dedicado;
 - não apresentar 'empastamento' das arestas de corte (danos tanto ao material como à superfície usinada);
 - cavacos em fita curtos (devido à baixa penetração utilizada), e em forma de lascas nos acabamentos.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

■ Acabamento da superfície interna

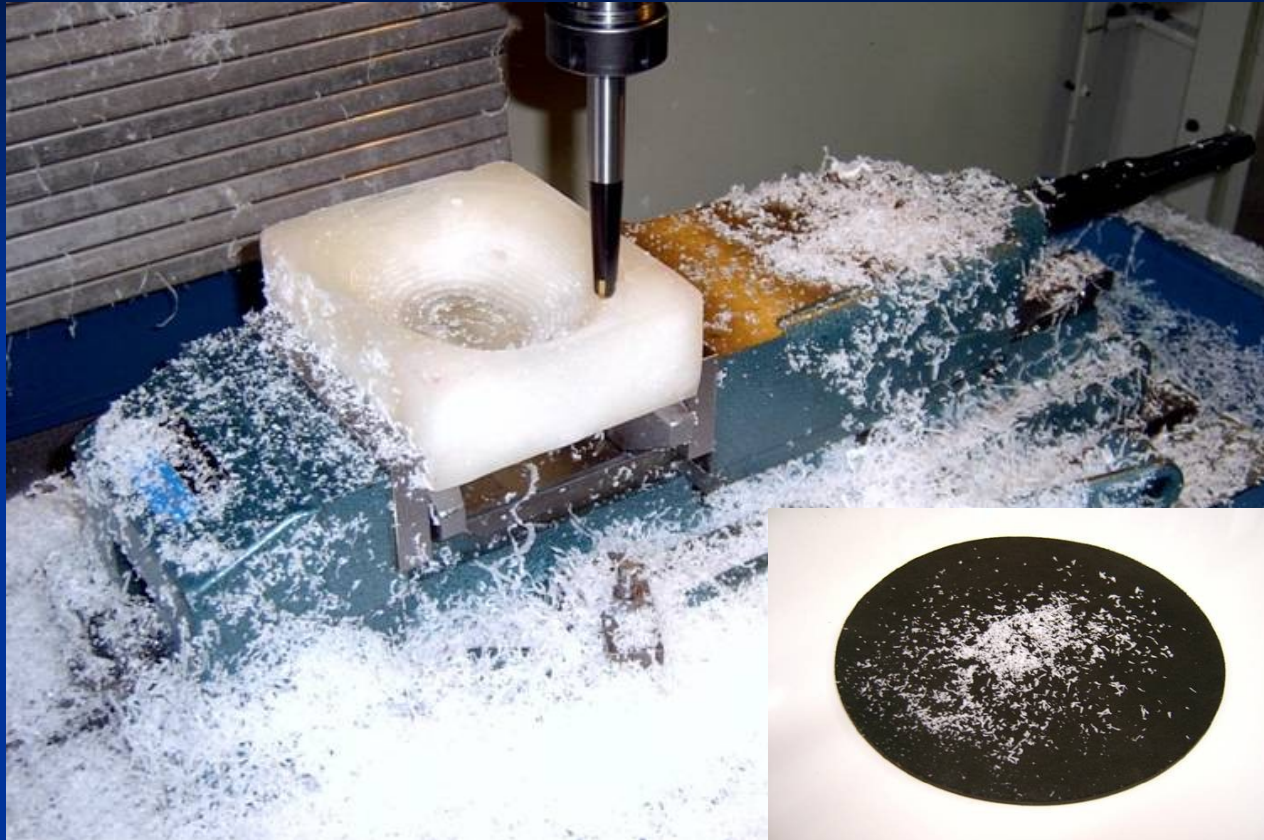


Fig. 5.17 – Preparação para usinagem da superfície interna: acabamento (ferramenta esférica parada). No detalhe, cavaco obtido.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

■ Desbaste da superfície externa

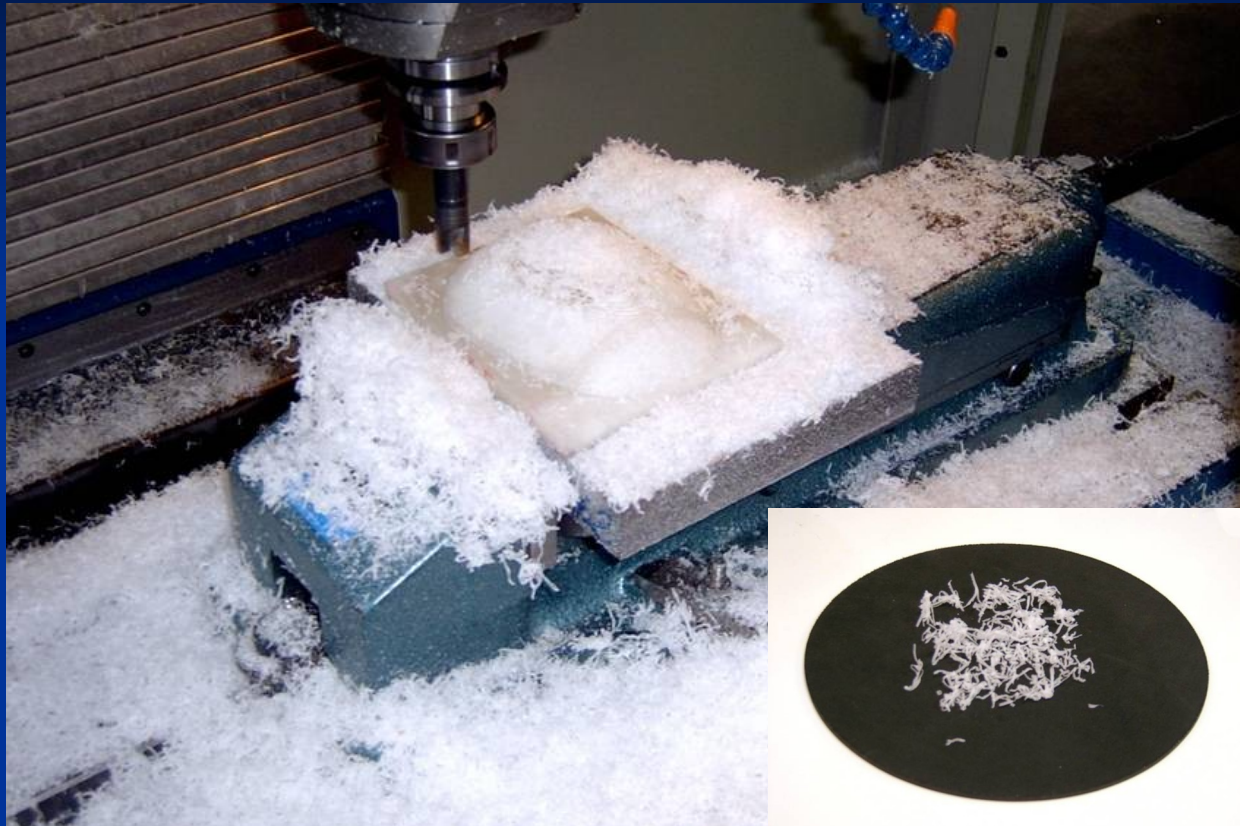


Fig. 5.18 – Usinagem da superfície externa: desbaste. No detalhe, cavaco obtido.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

■ Acabamento da superfície externa [1ª fase]

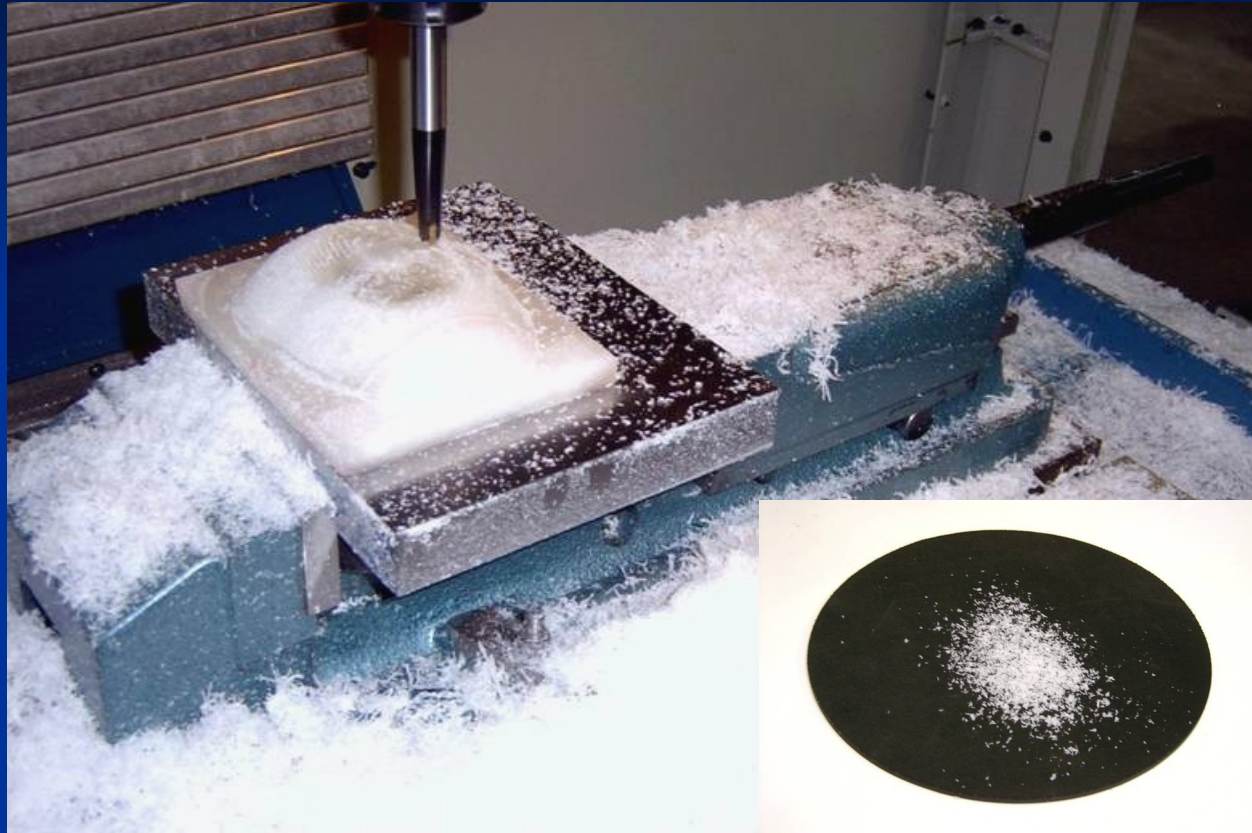


Fig. 5.19 – Usinagem da superfície externa: acabamento.
No detalhe, cavaco obtido.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

- Acabamento da superfície externa [2ª fase]



Fig. 5.20 – Usinagem para fim do acabamento e separação da possível prótese.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

■ Análise visual

Fig. 5.22 – Possível prótese obtida por meio de usinagem direta, a partir de imagens tomográficas.

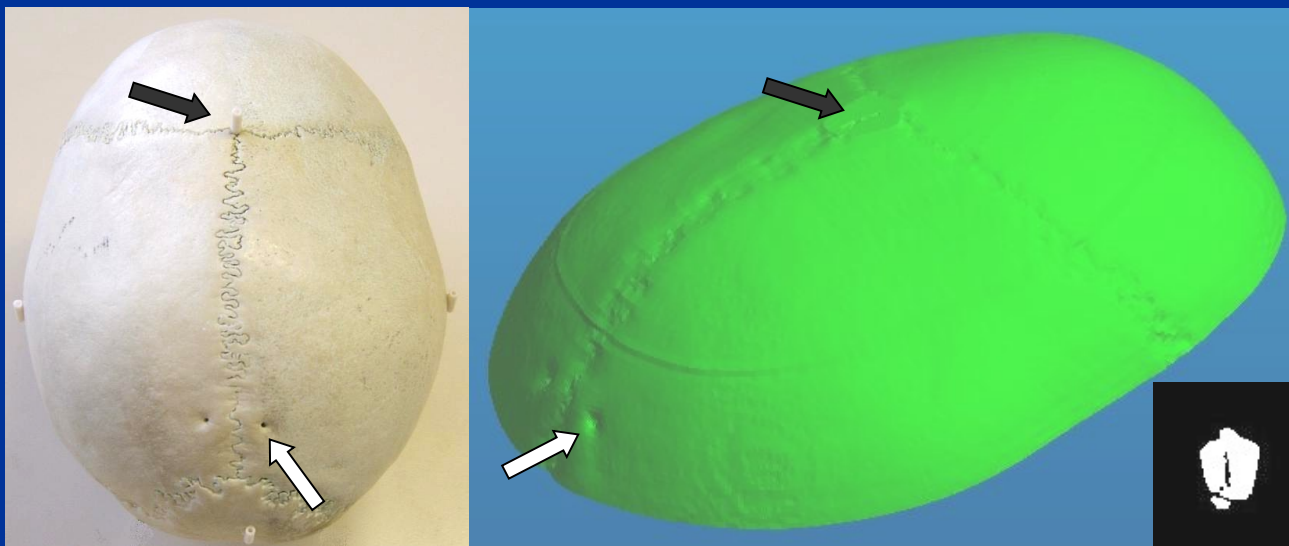


Fig. 5.23 Inspeção visual dos detalhes dos orifícios (setas brancas) e da junção das suturas (setas pretas)