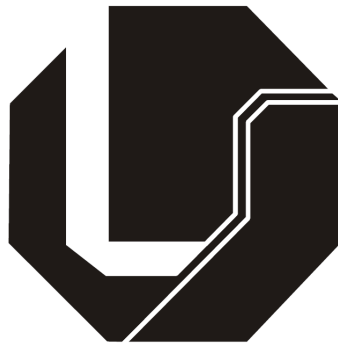


**UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA**  
**FACULDADE DE ENGENHARIA ELÉTRICA**  
**PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA**



**DANIELA TERESA ROSSIGNOLI UEBELE**

**SISTEMA PARA VISUALIZAÇÃO DO MOVIMENTO DA PELE MEDIANTE  
REPOSICIONAMENTO ÓSSEO POR MEIO DA CIRURGIA ORTOGNÁTICA.**

Uberlândia – MG  
Março de 2014

**DANIELA TERESA ROSSIGNOLI UEBELE**

**SISTEMA PARA VISUALIZAÇÃO DO MOVIMENTO DA PELE MEDIANTE  
REPOSICIONAMENTO ÓSSEO POR MEIO DA CIRURGIA ORTOGNÁTICA.**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Engenharia Elétrica da Universidade Federal de Uberlândia, como exigência parcial para obtenção do título de Mestre em Ciências.

Área de Concentração: Computação Gráfica

Orientador: Prof. Edgard A. Lamounier Jr,  
PhD.

Co-Orientador: Prof Alexandre Cardoso, Dr.

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)  
Sistema de Bibliotecas da UFU, MG, Brasil.

---

U22s  
2014      Uebele, Daniela Teresa Rossignoli, 1977-  
             Sistema para visualização do movimento da pele mediante  
             reposicionamento ósseo por meio da cirurgia ortognática / Daniela  
             Teresa Rossignoli Uebele. - 2014.  
             129 f. : il.

             Orientador: Edgard Afonso Lamounier Júnior.  
             Coorientador: Alexandre Cardoso  
             Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Uberlândia,  
             Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica.  
             Inclui bibliografia.

             1. Engenharia Elétrica - Teses. 2. Tomografia - Teses.  
             3. Computação gráfica - Teses. 4. Ortodontia corretiva - Teses.  
             I. Lamounier Júnior, Edgard Afonso, 1964- II. Cardoso, Alexandre.  
             III. Universidade Federal de Uberlândia, Programa de Pós-Graduação em  
             Engenharia Elétrica. IV. Título.

CDU: 621.3

---

SISTEMA PARA VISUALIZAÇÃO DO MOVIMENTO DA PELE MEDIANTE  
REPOSICIONAMENTO ÓSSEO POR MEIO DA CIRURGIA ORTOGNÁTICA.

Dissertação aprovada para a obtenção do título  
de Mestre em Ciências do programa de Pós-  
Graduação em Engenharia Elétrica da  
Universidade Federal de Uberlândia (UFU)  
pela Banca Examinadora formada por:

---

Prof. Dr. Edgard Afonso Lamounier Junior, UFU/MG

---

Prof. Dr. Celso Volpe, UNISTANTA/SP

---

Prof. Dr. Luciano Vieira Lima, UFU/MG

Uberlândia, Março de 2014

Aos meus pais, João Eugenio Alberto Uebele (*in memorium*) e Maria Inês Rossignoli Uebele, que sempre me apoiaram em meu caminho e aprendizado, oferecendo educação moral e social.

Ao meu amado esposo Maikel Linares, pelo apoio, carinho e compreensão para a conclusão desse trabalho em busca da realização dos meus objetivos.

Ao meu grande amigo Giuliano Diniz de Moraes.

## **Agradecimentos**

A Deus, por todas as oportunidades que surgiram ao longo do meu caminho, tenham sido elas difíceis ou não, foram sempre motivo de luta, esperança, incentivo, aprendizado e vitória.

A minha mãe e ao meu esposo por serem minha inspiração e motivadores em busca da constante evolução.

Ao meu orientador Edgard Afonso Lamounier Junior o qual fez mais que apenas orientar, me ensinou, me doutrinou a ser uma verdadeira pesquisadora, sempre com muito carinho e estima e ao Coorientador Alexandre Cardoso, ambos deram todo apoio, paciência e principalmente a confiança para que esse resultado fosse alcançado.

Ao meu grande amigo Giuliano Moraes, pelo incentivo em continuar esse trabalho, e por toda a sua valiosa contribuição e ajuda para que esse trabalho chegasse ao final.

Aos meus colegas Thiago Franco Moraes e Paulo Henrique Junqueira Amorim e Dr. Jorge Vicente Lopes da Silva, do CTI Renato Archer, pelo imenso apoio e contribuição no desenvolvimento do sistema e na busca das soluções matemáticas para essa pesquisa.

Ao meu irmão João Eugênio Rossignoli Uebele (*in memoriam*) que me ensinou em seus últimos meses a importância de se fazer o que gosta com amor e dedicação sem se importar com a opinião dos demais, porém provando que o trabalho feito com dedicação, tem níveis de importância intangíveis para semelhantes ao redor.

Ao meu Sogra Miguel Linares que me ensina diariamente como é bom querer viver; que a vida é feita de fases e devemos aprender a conviver e viver cada uma delas no seu momento.

A todos os meus familiares, amigos pessoais e profissionais além dos alunos que no decorrer desta jornada, me incentivaram nas pesquisas.

*"Mestre não é quem sempre ensina, mas quem de repente aprende."*

*João Guimarães Rosa*

## RESUMO

É notória a influência e utilização da computação Gráfica, aplicada nas diferentes áreas da saúde. Os resultados positivos vêm sendo apontado por diversos estudos indicando principalmente a confiabilidade, o que permite a criação de novas técnicas em busca de melhores resultados. A literatura disponível para a ortodontia, em especial a cirurgia ortognática, demonstra a grande escassez de tecnologias no apoio ao cirurgião para com seus pacientes. O número de pacientes que utilizam aparelhos ortodônticos tradicionais e não obtêm resultados satisfatórios é significativamente grande, restando a estes, apenas a opção de realizar a cirurgia ortognática, a qual pode implicar na quebra e modificação do aparelho mastigatório. O procedimento é indicado principalmente para os pacientes que possuem sintomas bastante acentuados, onde problemas na relação entre os dentes, músculos e ossos, dores na musculatura do rosto, na posição da língua incorreta e da articulação temporo-mandibular são identificados. Esses indicadores podem trazer aos pacientes enxaquecas e disfunções estomacais, dificuldades na respiração e fonação, e apneia. Esta pesquisa descreve a análise e simulação tridimensional no reposicionamento dos maxilares superiores e inferiores com preocupações diretas a deformação da pele, com o objetivo de auxiliar em um melhor planejamento cirúrgico utilizando eficientemente tomografias computadorizadas e o apoio a tomada de decisão do paciente em relação a submissão do procedimento cirúrgico. Planeja-se incluir o protótipo construído nessa pesquisa como parte do software *InVesalius*<sup>TM</sup> para o uso da Realidade Virtual no processo de estudo do procedimento de cirurgia ortognática. O protótipo aqui construído foi avaliado por vários profissionais da área. A potencialidade da ferramenta, baseada na avaliação realizada, é discutida no corpo desta dissertação.

**Palavras Chaves:** Cirurgia Ortognática, Tomografia Computadorizada, Computação Gráfica, Deformação da Pele.



## **Abstract**

It is highlighted the influence and use of Computer Graphics discipline, applied in different areas of health. Positive results have been reported by several studies mainly pointing reliability, which enables creation of new techniques in search of better results. The available literature for orthognathic surgery demonstrates the severe shortage of technologies in supporting surgeons and their patients. The number of patients using traditional braces and do not get satisfactory results is significantly large, leaving only the option of undergoing orthognathic surgery, which might involve the breaking of bones and soft tissue and muscles arrangements. Such procedure is indicated for patients who have very pronounced symptoms like problems in the relationship between the teeth, muscles and bones, face's muscles pain, tongue position and temporomandibular joint (TMJ). These problems may cause headaches and stomach disorders, besides respiration and phonation issues and apnea. This study describes the analysis and three-dimensional simulation in repositioning of the upper and lower jaws concerning soft tissue and skin, with the goal of assisting in a better surgical planning using CT scans efficiently, thus supporting doctor and patient in the submission of the surgical procedure. There is also the intention to include the software prototype created as part of this study in the InVesalius (TM) software adding support for orthognathic surgery procedure. A group of surgeons evaluated the software prototype presented in this study. The potential of this tool is discussed in this dissertation and its test results.

**Key words:** Orthognathic surgery, Computed Tomography, Computer Graphics, Skin Deformation.

## **Lista de Publicações**

A seguir são apresentadas as publicações originadas deste trabalho:

Uebele, D.T.R.; Morais, G. D.; Lamounier Jr., E.A.; Cardoso, A; **Visualização do tratamento ortodôntico utilizando realidade virtual e realidade aumentada.** In: Anais do VII workshop de Realidade Virtual e Aumentada – WRVA’2010, São Paulo, SP, Brasil.

Uebele, D.T.R.; Morais, G. D.; Lamounier Jr., E.A.; Cardoso, A; **Visualização do tratamento ortodôntico com o uso da realidade virtual no procedimento da cirurgia Ortognática.** In: Anais XI CEEL 2013 – Conferência de Estudantes em Engenharia Elétrica, Uberlândia, MG, Brasil.

## SUMÁRIO

### CAPÍTULO 1

1. INTRODUÇÃO	14
1.1 Motivação	17
1.2 Importância do tratamento	18
1.3 Objetivos	18
1.4 Estrutura da Dissertação	19

### CAPÍTULO 2

2. FUNDAMENTOS	20
2.1 Introdução - Estudos cefalométricos por vinte séculos	20
2.1.1 A proporção divina - a busca pelo ideal	20
2.1.2 Cefalometria	23
2.1.3 Tecido Mole	25
2.1.4 Pontos de referência do tecido mole	26
2.1.5 Avaliação Frontal	28
2.2 A Geometria da Cefalometria	29
2.3 Técnica de Cefalometria Radiográfica	29
2.4 Vantagens e precisão de Cefalometria digital vs radiográfica	30
2.5 Tomografia Computadorizada - Médica vs Odontológica	32
2.6 Ressonância Magnética	33
2.7 Morfometria tridimensional da face	34
2.8 Splints para Cirurgia Ortognática - Impressora 3D	35

### CAPÍTULO 3

3. TRABALHOS RELACIONADOS	38
3.1 CMFApp	39
3.2 Dolphin	42
3.3 Maxilim	44
3.4 InvivoDental	45
3.5 3dMDvultus	46
3.6 SimPlant O&O	47
3.7 Vistadent 3D	48
3.8 InVesalius <sup>TM</sup>	50
3.9 Estudo comparativo	51

### CAPÍTULO 4

4. ARQUITETURA DO SISTEMA	54
4.1 Formatos Digitais para Imagens Médicas - DICOM	54
4.2 Conversão DICOM para STL com o InVesalius <sup>TM</sup>	56
4.3 Protótipo	60
4.4 Atores	61
4.5 Requisitos funcionais	61
4.6 Diagrama de Sequência	62
4.7 Casos de Uso	63

4.7.1	Caso de Uso – Remover Ruídos e Editar imagem	63
4.7.2	Caso de Uso – Carregar Imagem Osso e Carregar Imagem Pele	64
4.7.3	Caso de Uso – Realizar Cortes Ósseos	65
4.7.4	Caso de Uso – Movimentar e Rotacionar Partes Ósseas	67
4.7.5	Caso de Uso – Alteração de Tecido (Pele)	69
4.7.6	Caso de Uso – Avaliar Resultado da Simulação	72
<b>CAPÍTULO 5</b>		
5	DETALHES DE IMPLEMENTAÇÃO	74
5.1	InVesalius <sup>TM</sup>	74
5.2	Python	76
5.3	wxPython	79
5.4	VTK	81
5.5	Detalhes de implementação do sistema proposto	87
5.5.1	Classes do Protótipo	87
5.5.2	GUI (Graphical User Interface)	88
5.5.3	Classe FramePrototipo	89
5.5.4	Componentes Gráficos da Janela	89
5.5.5	Métodos Manipuladores de Eventos	91
5.5.6	Classe PainelTrabalhoGrafico	93
5.5.7	Métodos da classe PainelTrabalhoGrafico	95
<b>CAPÍTULO 6</b>		
6	RESULTADOS E LIMITAÇÕES	103
6.1	Procedimentos	104
6.1.2	Procedimento Cirúrgico e VTO	105
6.1.3	Intenção no uso do software	106
6.1.4	Valor para o paciente	107
6.1.5	Relevância da projeção da modificação da pele.	108
6.1.6	Uso de softwares similares vs utilização do protótipo	110
6.1.7	Interesse em adquirir software	111
6.1.8	Sugestões para a interface gráfica	112
6.2	Sugestões e Avaliação do Protótipo	113
<b>CAPÍTULO 7</b>		
7	CONCLUSÕES E TRABALHOS FUTUROS	115
7.1	Conclusões	115
7.2	Trabalhos futuros	116
7.3	Considerações Finais	117
<b>REFERÊNCIAS</b>		118
<b>APENDICE A</b>		122
	Avaliação do Perfil	122
<b>APENDICE B</b>		125

## Lista de Figuras

FIGURA 1 - Aparelho AEB - As três formas de tração utilizadas	14
FIGURA 2 - Corticotomia óssea frequentes em modelo digital e modelo físico.	15
FIGURA 3 - Foto paciente frontal e perfil, antes e pós cirurgia.	16
FIGURA 4 - Traçado cefalométrico com análise do tecido mole 2D e 3D.	17
FIGURA 5 - Ângulo da face por Dürer	21
FIGURA 6 - Perfil ótimo e harmônico, exibe a proporção divina.	22
FIGURA 7 - Traçado e pontos para análise cefalométrica tecido duro e mole.	25
FIGURA 8 - Cefalometria a) perfil tradicional, b) frontal 3D e c) perfil lateral 3D	26
FIGURA 9 - a) Proporções faciais verticais b) Divisão da face ponto médio	28
FIGURA 10 - Elementos formadores da imagem tomográfica	31
FIGURA 11 - a) Scanner de contato b) Scanner de Luz Estruturada	34
FIGURA 12 - a) Crânio digitalizado em 3D b) Splint.	35
FIGURA 13 - Biomodelo para diagnóstico e planejamento cirúrgico.	36
FIGURA 14 - Tela de tratamento do software Vistadent	38
FIGURA 15 - Software CMFApp – no estudo de corticotomia óssea.	40
FIGURA 16 - Sequência do processo com o CMFApp	40
FIGURA 17 - Simulação de cirurgia em três dimensões	41
FIGURA 18 - Simetria do procedimento	41
FIGURA 19 - Medidas cefalométricas e sobreposição de imagens.	43
FIGURA 20 - A) Rotação B) Tecido mole	43
FIGURA 21 - A) análise cefalométrica B) Visualização do tecido mole	44
FIGURA 22 - Invivo Dental Viewer	45
FIGURA 23 - Fotografia 3D no 3dMDvultus	46
FIGURA 24 - Corticotomia óssea virtual no 3dMDvultus	47
FIGURA 25 - A) Pele posição pré-cirúrgica B) Pele após corticotomia ósseas	48
FIGURA 26 - Visualização da cefalometria com tecido mole e corticotomia ósseas.	49
FIGURA 27 - <i>Splash Screen</i> do InVesalius	50
FIGURA 28 - Malha de polígonos representando uma esfera.	56
FIGURA 29 - Importação dos arquivos DICOM pelo <i>InVesalius</i> <sup>TM</sup> .	56
FIGURA 30 - Geração de arquivo STL a partir do DICOM	57
FIGURA 31 - Editoração das fatias sagitais para separação da mandíbula	58
FIGURA 32 - Fatia Sagital - editoração da imagem com recurso do InVesalius	58
FIGURA 33 - Fatia sagital para visualização da separação de dentes.	59
FIGURA 34 - Diagrama de Sequência do Sistema	62
FIGURA 35 - Diagrama de Caso de Uso Remover Ruídos e Editar imagem	63
FIGURA 36 - Diagrama de Caso Carregar Imagem Osso e Pele	64
FIGURA 37 - Menu e sequência para movimentação da pele	65
FIGURA 38 - Diagrama de Caso de Uso Realizar Cortes Ósseos	66
FIGURA 39 - Ferramenta de seleção da área de corte.	67
FIGURA 40 - Diagrama de Caso de Uso Movimentar e Rotacionar Partes Ósseas	67
FIGURA 41 - a) opções para movimentação nos eixos, b) eixo de orientação	68
FIGURA 42 - a) Rotação b) movimento	69
FIGURA 43 - Diagrama de Caso de Uso Alteração de Tecido (Pele)	69
FIGURA 44 - Movimentação da pele mediante tecido duro.	70
FIGURA 45 - Opções de Opacidade da pele e suavização dos polígonos (Smooth).	71
FIGURA 46 - Suavização da pele efeito Smooth e aplicação de Opacidade.	71
FIGURA 47 - Diagrama de Caso de Uso Avaliar Resultado da Simulação	72
FIGURA 48 - Tecnologias utilizadas.	74

FIGURA 49 - Quadros de visualização no InVesalius	75
FIGURA 50 - A) Imagem com ruído B) Imagem com ruído removido	75
FIGURA 51 - Processo de execução Python	77
FIGURA 52 - Operação de raiz quadrada em Python.	77
FIGURA 53 - Script da criação de uma esfera	78
FIGURA 54 - Resultado da execução do Exemplo – Classe Esfera	79
FIGURA 55 - Hierarquia de Classes wxPython	79
FIGURA 56 - Exemplo de aplicação utilizando wxPython para uma caixa Sobre	80
FIGURA 57 - Código dos <i>componentes</i> visuais	81
FIGURA 58 - Tipos de Dados no VTK	82
FIGURA 59 - Pipeline em VTK	83
FIGURA 60 - Interação entre objetos do vtkRenderer	84
FIGURA 61 - Código Exemplo para o Glifo	85
FIGURA 62 - Exemplo de uso do vtkProgrammableGlyphFilter	86
FIGURA 63 - Diagrama de Classes do Protótipo	87
FIGURA 64 - Início da Execução	88
FIGURA 65 - Tela da ferramenta de corte com componentes gráficos.	88
FIGURA 66 - Código da classe FramePrototipo	89
FIGURA 67 - Criação do menu na FramePrototipo	90
FIGURA 68 - Barra de Ferramentas	90
FIGURA 69 - ToolBar	90
FIGURA 70 - Event Handlers	91
FIGURA 71 - Selecionar e abrir arquivos STL	91
FIGURA 72 - Manipulador de evento responsável por salvar pele e osso modificados	92
FIGURA 73 - Manipulador de evento para ligar e desligar a ferramenta de corte	92
FIGURA 74 - Manipulador de evento para trocar a opacidade	93
FIGURA 75 - Classe PainelTrabalhoGrafico	93
FIGURA 76 - Metodos LerSTLPele e GravarPele	95
FIGURA 77 - Método Calcula Vizinhos para gerar mapeamento entre pele e osso	96
FIGURA 78 - Método para atualizar os pontos apos um movimento	97
FIGURA 79 - Métodos observadores	98
FIGURA 80 - Apresenta o código do método Click	99
FIGURA 81 - Método OnMotion	100
FIGURA 82 - Método Release	102
FIGURA 83 - Procedimentos possíveis de simulação através do sistema	104
FIGURA 84 - Apto para usar na preparação ou simulação do procedimento cirúrgico	105
FIGURA 85 - Intenção de uso do protótipo	107
FIGURA 86 - Gráfico: Capacidade de apresentar a movimentação da pele	109
FIGURA 87 - Softwares conhecidos vs Interesse em usar o protótipo	110
FIGURA 88 - Gráfico: Interesse em comprar o software X Uso gratuito	111
FIGURA 89 - Gráfico: Sugestão para Interface Gráfica	112
FIGURA 90 - Gráfico: Avaliação do protótipo	113

## Lista de tabelas

TABELA 1 -Escala de Hounsfield	32
TABELA 2 -funcionalidades analisadas em softwares correlatos.	52
TABELA 3 -Descrição caso de Uso Preparar Imagem	63
TABELA 4 -Descrição Caso de Uso Carregar Imagem	64
TABELA 5 -Descrição de Caso de Uso Realizar Cortes Ósseos	66
TABELA 6 -Descrição de Caso de Uso Realizar Movimentar e Rotacionar Partes Ósseas	68
TABELA 7 -Descrição de Caso de Uso Alteração de Tecido (Pele)	70
TABELA 8 -Descrição Caso de Uso Avaliar Resultado da Simulação	72

## CAPITULO 1

### 1. INTRODUÇÃO

Segundo Moraes, (2013 apud Loiola, 2009), registra-se um número elevado de casuística clínica de pacientes com características Dólico Facial classe II de Angle, que equivale a 50% dos casos tratados nas clínicas ortodônticas. Tais pacientes têm indicação para a utilização do aparelho extra bucal específico, conhecido pela área ortodôntica pela sigla AEB (Aparelho Extra Bucal), como mostra a Figura 1.

FIGURA 1 - Aparelho AEB - As três formas de tração utilizadas



Fonte: CETRO – Centro de Especialização e Treinamento de Odontologia, (2011).

Por meio dos estudos de Interland (LOIOLA, 2009), foi possível aperfeiçoar o aparelho denominando de *Interland Head Gare* (IHG), que apresenta resultados significativos que facilitam o tratamento de pacientes com características Dólico Facial classe II.

Dentre as áreas de interesse de estudo e tratamento de características fisiológicas no âmbito da saúde bucal e suas intercorrências efetuadas pelos profissionais dessa atividade, é importante salientar que a grande parte dos pacientes que estão em busca do tratamento ortodôntico o fazem, inicialmente, em busca de uma harmonia facial.

Em contra partida as preocupações estéticas estão entre as grandes resistências ao uso do aparelho ortodôntico para esse fim, limitando e comprometendo os tratamentos. Principalmente, entre os adolescentes, período este considerado o mais eficaz a obtenção dos resultados (Moraes, 2013).

Devido à lamentável prática referida como *bullying*, muito do seu uso é desestimulado. Essas questões implicam diretamente no convívio e segregação social de pré-adolescentes e adolescentes que necessitam ser submetidos ao uso dos aparelhos ortodônticos.

No prognatismo mandibular (mandíbula grande), prognatismo maxilar (maxila grande) ou em seus opostos, retrognatismo mandibular (mandíbula pequena) e retrognatismo maxilar (maxila pequena) ou até mesmo problema combinado associando maxila e mandíbula, estas

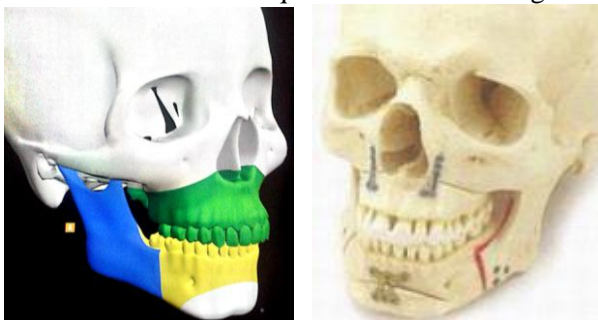


deformidades dos ossos faciais podem ter sua origem a partir de traumas na face, síndromes, anomalias específicas, distúrbios de crescimento ou serem de origem genética, dentre outros fatores. Por consequência, estas alterações da estrutura óssea provocam a assimetria facial gerando uma estética “fora do padrão” (PALMA, 2010).

Diante do contexto anterior, profissionais tendem a estimular e orientar seus pacientes que não obtiveram sucesso no tratamento. Até mesmo pacientes que, por condições sócio econômicas, não se submeteram ao tratamento preventivo a cirurgia.

Restando como alternativa o procedimento cirúrgico, conhecido como cirurgia ortognática. A intervenção consiste na quebra óssea – osteotomia óssea ou na literatura específica corticotomia óssea - da mandíbula e ou da maxila, de forma a reposicioná-las, obtendo uma boa oclusão dentária, conforme Figura 2 que mostra a corticotomia da maxila, mandíbula e do mento. O objetivo é melhorar a qualidade de vida do paciente e atender a expectativa de obter uma face harmônica, dentro do considerado "padrão" estético agradável.

FIGURA 2 - Corticotomia óssea frequentes em modelo digital e modelo físico.



Fonte: Accorsi e Velasco (2011) e Palma (2010).

Uma alternativa para estimular os pacientes a se submeter ao procedimento cirúrgico, seria disponibilizar aos profissionais de cirurgias faciais uma ferramenta de trabalho útil e ágil. Tal incentivo pode ser alcançado por meio de uma visualização prévia das movimentações ósseas, conhecido como VTO - Visualização do Tratamento Ortodôntico.

Trabalhos como o apresentado por Moraes (2013) disponibiliza a funcionalidade que restringem apenas ao movimento do osso nos três eixos sem a possibilidade de rotação. Embora proporcione uma melhora na questão estética, ainda dificulta a visualização de alguns pacientes sobre o ganho real. De fato, profissionais da área de Ortodontia reportam que melhores resultados seriam alcançados se também fosse possível acompanhar a visualização estética da movimentação do tecido mole (músculos, sistema vascular e pele), que possibilitaria ao paciente ter uma maior perspectiva do resultado do tratamento (ACCORSI e VELASCO, 2011).

Assim, substitui-se a apresentação de imagens de outros pacientes que já passaram pelo tratamento (Figura 3) e o especialista exemplificaria os resultados e benefícios que poderão ocorrer com o próprio interessado, utilizando as informações reais do paciente.

FIGURA 3 - Foto paciente frontal e perfil, antes e pós cirurgia.



Fonte: Accorsi e Velasco (2011, pag. 253).

A movimentação óssea, já produzida pelo trabalho de Moraes (2013), com as funcionalidades de corticotomia óssea e movimentação nos três eixos, para uma aproximação do resultado da visualização facial óssea. Permitiu atender aos adultos com diagnóstico de prognatismo e retrognatismo mandibular e ou maxilar, classificados como Dólico Facial Classe II e III.

A utilização da real anatomia do paciente pode, sem precedentes, ser observada de forma precisa. De fato, usar os recursos para o diagnóstico em 3 Dimensões (3D) torna o planejamento mais consistente e direcionado, com a obtenção de resultados mais previsíveis, inclusive com a simulação por meio dos recursos de Realidade Virtual (ACCORSI e VELASCO, 2011).

Considerando-se que o tratamento com o aparelho AEB (Figura 1) não apresenta resultado equivalente, na ausência de sua utilização ou mesmo não obtendo os resultados desejados, busca-se aumentar a utilização e ampliar a obtenção de cirurgias pré-programadas

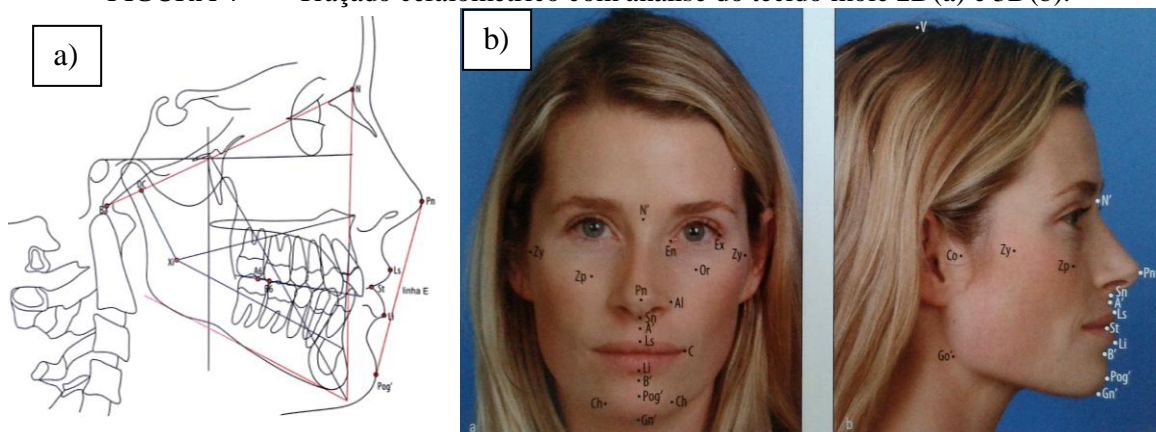
e favoráveis, de forma a aumentar a segurança do paciente em aceitar a indicação cirúrgica, mesmo com riscos inerentes, conforme Graber em 2009.

## 1.1 Motivação

Conforme reportagem feita por Seragusa apud Moraes 2013, em uma entrevista com Mario Francisco Real Gabrielli, presidente do Colégio Brasileiro de Cirurgia e Traumatologia Bucal maxilo facial, 2009, pesquisas realizadas por institutos norte-americanos e na literatura nacional da área, 60% da população necessita de algum tipo de tratamento ortodôntico, sendo que 5% só resolveriam com prescrição cirúrgica (Copyright 2009-2013, CFO ).

Transcrevendo tal proporção em relação à atual população brasileira, equivaleria a cerca de 5,8 milhões de pacientes, considerando a estimativa divulgada em 31 de agosto de 2012 pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE, no entanto a estimativa real mediante realidades constatadas em consultórios é de 10 milhões conforme confirmação feita por Gabrielli.

FIGURA 4 - Traçado cefalométrico com análise do tecido mole 2D(a) e 3D(b).



Fonte: Jacobson (2010, p. 82 - 253).

A maioria das indicações de cirurgias ocorre em sistemas que se utilizam apenas duas dimensões - 2D (Figura 4a), Manual ou mesmo digital, acredita-se que a manipulação de dados/informações em 3D (Figura 4b), proporciona um ambiente mais intuitivo e favorável para assegurar a indicação da cirurgia. Com esse recurso, oferece-se uma aplicação a mais aos profissionais da área, que continuam a utilizar as análises cefalométricas tradicionais. No entanto, os métodos solicitados, para uma análise baseada exclusivamente na experiência profissional de forma a estimular o paciente a submeter-se ao procedimento que é claramente complexo e vasto de riscos com recuperação penosa, constituindo-se em processo irreversível.

## **1.2 Importância do tratamento**

O aperfeiçoamento do aparelho mastigatório com a utilização da cirurgia ortognática moderna busca a correção das deformidades faciais, trazendo grandes benefícios aos pacientes quanto a sua autoestima e possibilidade de melhorar o relacionamento interpessoal. Porém, o grande ganho está com a sensível melhora na relação entre dentes, músculos e ossos. Proporcionando uma melhora nos processos respiratórios e fonéticos restritos, originalmente, pela estrutura mandibular e ou maxilar. Contribui também para o tratamento de problemas funcionais importantes como apneia, dores na articulação temporo-mandibular - ATM - articulação à frente dos ouvidos, dores na musculatura do rosto, posicionamento incorreto da língua e enxaquecas podendo causar até disfunções estomacais decorrentes de mastigação insuficiente.

Com a melhora na simetria facial e efeitos estéticos, ganhos adicionais são obtidos, com reflexos positivos sobre a homeostase do indivíduo, superando o efeito de isolamento social dos pacientes, ao fugir de constrangimentos e "brincadeiras" maldosas das pessoas. (RIBAS, REIS e FRANÇA, 2005).

Espera-se, devido ao grande alcance de caráter social, a melhoria significativa da qualidade de vida que o procedimento trará aos milhares de pacientes com deformidades faciais.

## **1.3 Objetivos**

Este projeto de pesquisa tem por objetivo aplicar uma técnica computacional que suporte o movimento da pele em relação às livres movimentações das corticotomia ósseas, particularizado no campo facial, dando continuidade ao trabalho desenvolvido por Morais(2013) acrescido da rotação das corticotomias. A função será estruturada com a possibilidade de funcionar no ambiente do software InVesaliusTM, programa de imagens médicas informatizado, para reconstrução e análise tridimensional das estruturas anatômicas, em desenvolvimento contínuo pelo Centro de Tecnologia da Informação Renato Archer na Divisão 3D. Uma das metas deste trabalho é gerar artefatos de simples compreensão e manuseio intuitivo, viabilizando sua utilização por profissionais especialistas que atuam na correção da má oclusão dentária, por meio do procedimento cirúrgico e seus pacientes.

## 1.4 Estrutura da Dissertação

No Capítulo 2 apresenta-se a revisão bibliográfica sobre as origens das análises cefalométricas mediante a face humana, evidenciando o crescimento dos estudos da área e a importância da ortodontia e os benefícios obtidos pelos pacientes que possuem a má oclusão dentária. Também são discutidas as consequências das deformidades faciais em relação as proporções, elencando as tecnologias desenvolvidas para o auxílio a análise e estudo das deformidades faciais.

O Capítulo 3 refere-se ao levantamento de alguns dos softwares comercializados ou pesquisas que de alguma forma estejam relacionados a análise da movimentação da pele ou mesmo do tecido mole (musculatura, sistema vascular e pele). Esta atividade tem caráter restritamente científico, qual seja identificar os programas disponíveis e respectivas potencialidades, isenta de qualquer conotação comparativa que não seja o arrolamento e finalidades apresentadas pelo desenvolvedor.

No Capítulo 4 é exibida a construção da solução que se propõe para tratar o problema em questão, admitindo suas funcionalidades mediante o exposto nos capítulos anteriores, a fim de contribuir com as demandas decorrentes da investigação das revisões bibliográficas. As finalidades e os softwares utilizados, citando métodos aplicados e justificando a importância e utilidades do VTO são também explorados neste capítulo.

No Capítulo 5 é apresentado o desenvolvimento da aplicação, no que se refere ao movimento da pele, com as bibliotecas de Interface de Programação de Aplicativos ou API's - *Application Programming Interface*, conjunto de padrões que auxiliam na construção das aplicações.

No Capítulo 6 é descrito os resultados obtidos por meio de pesquisa após apresentação e exemplificação da proposta pelos profissionais ligados à área em estudo, sendo parte destes os mesmos que avaliaram a corticotomia ósseas feita por Moraes e que relataram a necessidade da movimentação do tecido mole. Neste trabalho, trata-se parcialmente o problema movimentando a pele - parte externa do conjunto tecido mole, podendo assim expor o conceito daqueles que serão os possíveis e principais usuários, com a expressão e sugestão das melhorias bem como a continuidade do trabalho apresentado nesta dissertação.

No Capítulo 7 são apresentadas as conclusões desta dissertação mediante a toda a explanação apresentada nos capítulos anteriores e relaciona-se os trabalhos futuros a serem desenvolvidos.

## **CAPÍTULO 2**

### **2. FUNDAMENTOS**

#### **2.1 Introdução - Estudos cefalométricos por vinte séculos**

Os aspectos emocionais e sua influência nos homens são constantes. Os aspectos psicossociais influenciam significativamente na vida das pessoas, que inúmeras vezes somatizam seus sentimentos e situação, refletindo em sua qualidade de vida. A humanidade tem como prática a análise fisionômica dos indivíduos com o objetivo de determinar relações comparativas entre os seres humanos. A auto representação humana em esculturas e pinturas é uma das formas de mensurar tal fenômeno. Estudos mostram que existe uma ligação entre temperamento e traços comportamentais, a partir da análise física com a saúde.

Deve-se aos esforços de ortodontistas, cirurgiões buco maxilo faciais e os cirurgiões plásticos que por meio do estudo da face e do perfil humano vem estabelecendo diretrizes para reconstrução de deformidades faciais e a correção de maloclusões. Estes estudos iniciaram na antiguidade com os artistas do Egito, Grécia, Índia e Bizâncio e inclui tentativas de interpretar o aspecto físico com traços de personalidades. (MOORREES, C. F. A., Cefalometria Radiográfica - pag13)

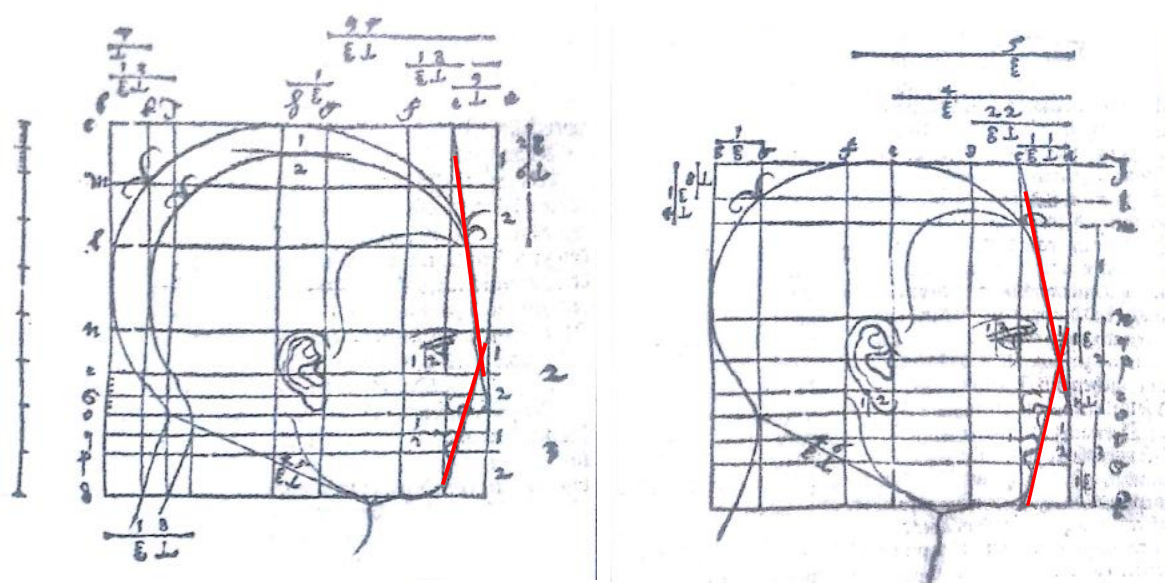
##### **2.1.1 A proporção divina - a busca pelo ideal**

Os artistas das origens citadas anteriormente, por meio de inúmeros métodos e motivos utilizaram a Matemática como ferramenta para mensurar a face humana. Os sistemas de coordenadas e as análises de proporções vêm sendo utilizados desde a Antiguidade. Os registros mais remotos, que exibem a representação do corpo humano, se tornaram conhecido como cânone guiado por sistemas de proporcionalidade entre as partes. O sistema de coordenada garantiu as relações harmoniosas das características faciais, torso, braços e pernas. O contato com os ideais clássicos desencadeou a renovação cultural da Europa no século XV onde a proporção à realidade física era continua por meio da relação da harmonia matemática.

As várias contribuições de Vinci e a partir dos 4 livros de Proporções de Dürer no século XVIII, Petrus Camper (1722-1789) salientou aspectos essenciais de uma ilustração de Dürer, apontando a diferença entre dois perfis. Esta pode ser definida pela angulação do eixo vertical em relação ao horizontal, por meio de coordenadas, classificando o contorno do perfil

de retrognata ou de prognata. Seu procedimento foi de orientar os crânios no espaço em um plano horizontal a partir do meio do meato acústico até um ponto abaixo do nariz. Gysel argumentou que os dois pontos de referência que determinam o plano horizontal de Camper não estavam rigorosamente definidos. Porém foi guiado pela direção do zigomático. Desta forma, o plano horizontal de Camper se tornou a linha de referência para as medidas angulares. No entanto, Thompson observou que “*Camper apenas desenhou os eixos sem preencher a rede do sistema de coordenadas*”, como Dürer havia feito.

FIGURA 5 - Ângulo da face por Dürer



Fonte: Moorrees (2010, p. 21)

Adicionou no sistema de coordenadas, duas linhas, uma traçada na tangente da testa ao nariz e outra tangente do queixo e ao lábio superior, que ao se juntarem configurava um triângulo determinando o contorno do perfil por meio de um “ângulo facial”, adotou este ângulo para classificar os diferentes perfis faciais, como mostra a Figura 5.

Na proporção divina, ou *sectio aurea*, a parte maior é 1,61803 vezes maior do que a parte menor. Além das aplicações matemáticas, a proporção áurea constitui um ideal que norteia as análises estéticas. Pacioli, em 1509, publicou um artigo referente a proporção áurea. Continha um desenho da face em perfil, na posição natural da cabeça e inscrita em um triângulo e um quadrado áureo (equiláteros).

van Loon - 1915, estipulou que para um diagnóstico e um plano de tratamento significativo, deve-se levar em consideração um sistema tridimensional para determinar a relação da dentição com a face, criticando a utilização dos modelos de gesso e os recortes

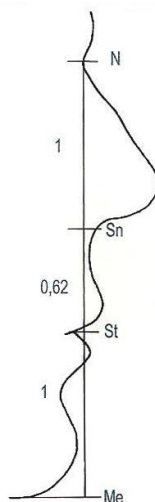


feitos simétrico. Pacini - 1922, aplicou um método de radiografia da cabeça de forma padronizada, provava que o uso da cefalometria era um avanço, como na mensuração do crescimento e do desenvolvimento da face.

Os ortodontistas passaram a adotar então o campo da cefalometria (medida da cabeça viva) dos anatomistas e antropólogos do século XIX que monopolizaram os estudos craniométricos. Assim, passou a ser mais utilizada a metodologia da radiografia cefalométrica, a partir de 1931, quando Broadbent, nos Estados Unidos, e Hofrath, na Alemanha, simultaneamente publicaram métodos para obter radiografias padronizadas da cabeça no periódicos *Angle Orthodontist* e *Fortschritte de Orthodontie*, respectivamente.

Brons - 1998, com o objetivo de definir diretrizes para o diagnóstico e plano de tratamento utilizando os princípios estéticos da harmonia facial, definiu as relações entre as partes e o contorno do perfil do tecido mole em adultos.

FIGURA 6 - Perfil ótimo e harmônico, exibe a proporção divina.



Fonte: De Brons (2009).

Brons descreveu que um contorno harmônico do perfil, a proporção da altura da face superior para a altura alveolar maxilar (subnásio ao estômio) para a altura da face mandibular (a distância do estômio ao gnatio) é de 1:0,62:1 - A proporção áurea, como na Figura 6. No desenho da face humana, a natureza traduziu a proporção divina em um padrão harmônico entre os tecidos duros e moles. O primeiro na história recente a expor a proporção divina em detalhes foi Ricketts e a sequência de Fibonacci na forma em que elas se relacionam com a face na norma frontal e a norma lateral, e no crescimento da face.



### 2.1.2 Cefalometria

O diagnóstico e o plano de tratamento foram aperfeiçoados com o uso das radiografias cefalométricas, utilizando a comparação do padrão facial médio com os traçados individuais do paciente. Observa-se as variações dos pontos de referência marcados nas várias normas dos traçados, salientando que um padrão facial médio é uma abstração útil. A diferença entre as medidas deve ser analisada e interpretada com cautela. Não pode esperar que os padrões faciais dos pacientes ajustassem a uma média quando os indivíduos com oclusão normal diferem destes (MOORREES, 2010).

Downs, 1947 - Nos Estados Unidos, escreveu as primeiras análises cefalométricas com todas as medidas de um indivíduo. Ele criou um quadro com esses valores considerando desvios de padrão de  $\pm 1$  e  $\pm 2$  ao longo do plano vertical, representando o ponto médio da distribuição de todas as variáveis.

A normalização da dentição melhora a função psicológica. Andersen em 1931 destacou que a reabilitação é condicionada pelas características individuais do padrão facial do paciente e determina o real plano de tratamento para a correção da deformidade.

A partir de Downs, o diagnóstico ortodôntico se torna uma equação complexa, pois reconhece-se que as normas individuais existem. Devem-se, portanto, analisar o formato facial, a desarmonia facial e assimetria da face, configurações do tecido mole, o impacto fisiológico da maloclusão na função labial, relações dentárias e dos arcos, dentição e morfologia dentária, movimentação dos maxilares e aspectos anatômicos do desalinhamento dentário. Além destes, consideram-se ainda os impactos psicológicos da desfiguração dento facial, crescimento, desenvolvimento, com sensível melhora na relação entre os dentes, músculos e ossos. Também existem efeitos na respiração e fonação. Adicionalmente, estudos mostram que ter o queixo pra frente ou pra trás causa problemas funcionais graves conforme apontados anteriormente. Diante disto, a correção das deformidades faciais, por meio da cirurgia ortognática, traz grandes benefícios aos clientes operados (SERAGUSA apud GABRIELLI, 2010).

As deformidades dos ossos da face podem se originar de distúrbios de crescimento, síndromes e anomalias específicas, traumas na face ou serem de origem genética, dentre outros fatores. Essa alteração pode estar localizada num osso, como no prognatismo mandibular ou no retrognatismo mandibular, sendo que muitas vezes é um problema combinado, associando o maxilar à mandíbula. A Cirurgia Ortognática moderna busca a perfeição da função e a harmonia facial - "beleza estética". O não tratamento pode deixar o

rosto assimétrico e esteticamente comprometido - fator que na maioria das vezes provoca o isolamento social dos pacientes, pois precisam conviver com as "brincadeiras" maldosas das pessoas (Palma,2010).

Em busca dos benefícios na melhoria do conjunto mastigatório, estes aspectos podem ser utilizados para determinar as indicações e contra indicações do tratamento. As limitações de cada paciente e as possibilidades de modificação das diferentes características de maloclusão devem ser compreendidas pelo profissional para obter correções que permaneçam estáveis ao longo do tempo. O diagnóstico é um estudo do paciente como um todo, levando a entender que o plano de tratamento deve ser baseado na obtenção de uma ótima estética e função, em vez de atender simplesmente às normas anatômicas rígidas de oclusão e configuração facial (MOORREES, 2010).

Nos consultórios ortodônticos, segundo Jacobson, o procedimento rotineiro dos profissionais ortodônticos é o processo de traçar e analisar radiografias ou filmes cefalométricos. Os traçados podem indicar possíveis desarmonias faciais, tais como:

1. Maxila relativamente grande e/ou posicionada muito para frente - Prognatismo.
2. Mandíbula relativamente pequena e/ou retroposicionada - Retrognatismo.
3. Combinação de (1) e (2).
4. Incisivos superiores protruídos e/ou incisivos inferiores que estão lingualmente inclinados enquanto a relação entre os maxilares propriamente é normal.

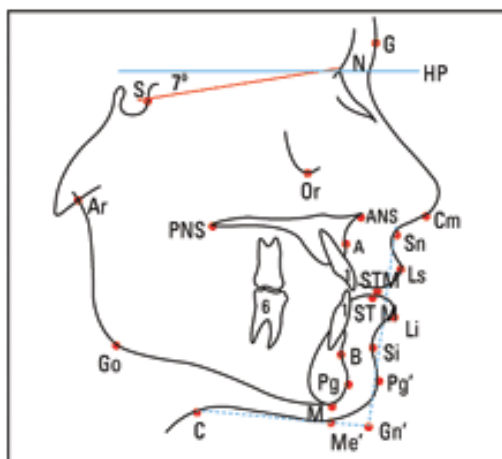
Existem vários métodos para se analisar uma cefalometria, onde o especialista utiliza o considerado por ele o mais indicado para o paciente, escolhido através das estruturas anatômicas e pontos utilizados para a análise cefalométrica. Considerando o conceito que cada indivíduo tem suas limitações de movimentação óssea, é comum se utilizar mais de um método de análise ou criando o seu próprio método.

Para iniciar o traçado cefalométrico numa radiografia, o profissional deve conhecer profundamente a anatomia da cabeça, sobretudo os componentes ósseos do crânio e da face. É importante saber que um cefalograma bidimensional representa um objeto tridimensional e que as estruturas bilaterais são projetadas sobre o mesmo filme. Os contornos dos dois lados da face não vão estar sobrepostos devido à assimetria facial, de forma que o clínico deve ser capaz de distinguir as estruturas bilaterais e traçá-las de forma independentes.

No procedimento clássico para análise das deformidades e classificação, o profissional deve criar os traçados sobre o filme radiográfico utilizando cefalograma lateral (8"X10"). Os

pacientes com assimetria facial, frequentemente, necessitam de uma radiografia frontal postero anterior, uma folha de acetato fosco para o traçado – 0,003” de espessura 8” X 10”, lápis 3H, apontador e borracha ou caneta hidrográfica muito fina, fita-crepe, algumas folhas de papel cartão (preferencialmente preto), medindo aproximadamente 6”X12”, régua, esquadro e transferidor para gerar as marcações e fazer as medições euclidianas, conforme Figura 7.

FIGURA 7 - Traçado e pontos para análise cefalométrica tecido duro e mole.



Fonte:Gimenez et al (2006)

Após o traçado, são feitas as marcação dos pontos atuais e as medidas tornando possível determinar através de qual ou quais padrões seria o ideal para o paciente, definindo a movimentação dos pontos dentro do que o profissional considera viável de se alcançar, conforme Page, W. Caufield descreve no capítulo “Técnicas de Traçados e Identificação dos Pontos de Referência” (JACOBSON, 2010).

A seguir, são apresentados os pontos de referências dos traçados cefalométricos do pacientes no tecido mole.

### 2.1.3 Tecido Mole

A especialidade ortodontia desde seu surgimento, tem estado intrigado com as medidas, como foi visto acima na evolução da analise cefalométrica. Afinal, quando algo é mensurado é que pode ser considerado como ciência. Com o advento da cefalometria e sua aplicação na ortodontia clínica, proporcionou uma área plena de oportunidades para as medições, resultando em valores de análises e pilhas de dados estatísticos. Tendo explorado as

medidas de tecidos duros, os ortodontistas buscaram analisar os tecidos moles que recobrem a face. Completado o ciclo, voltam as questões sobre o que constitui a face perfeita.

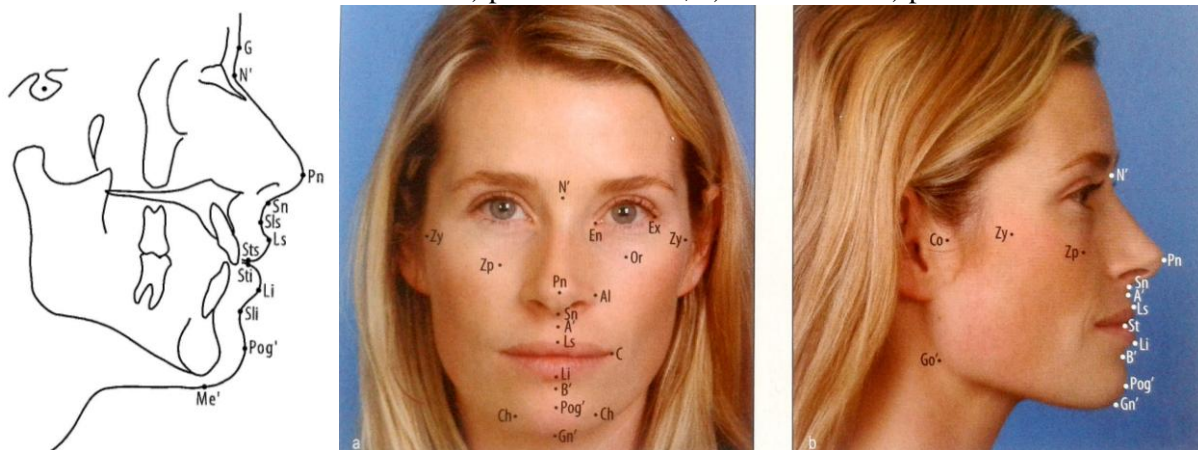
A existência de faces em quase perfeita simetria à desproporção total, ocorre através da inter-relação dos vários elementos da face humana que é um verdadeiro mosaico formado por um complexo conjunto de linhas, ângulos, planos, formas, texturas e cores. Na especialidade médica para cirurgias plásticas, é possível realizar inúmeros testes, nos quais inúmeros pontos de referência, proporções e medidas do tecido mole são identificados e comparados às proporções faciais “normais”. (JACOBSON e VLACHOS, 2010).

Hollywood, e Madison Avenue, são as mídias que subjetivamente determinam as proporções das faces esteticamente agradáveis. Estas são então comparadas às medidas e proporções de outras faces com o objetivo de determinar a extensão do desequilíbrio de uma ou mais características. Quando as várias características faciais estão em equilíbrio e proporção e se relacionam com as demais características tanto observadas pela vista lateral como a frontal, então a face é considerada esteticamente agradável. Para observar estas proporções, linhas imaginárias são desenhadas por meio dos vários pontos de referência, e as várias características são então mensuradas com relação ao resto da face.

#### 2.1.4 Pontos de referência do tecido mole

Os seguintes pontos de referência são apresentados em um traçado exclusivo do tecido mole de perfil junto com as estruturas ósseas necessárias como base para o início do traçado cefalométrico tradicional.

FIGURA 8 - Cefalometria a) perfil tradicional, b) frontal 3D e c) perfil lateral 3D



Fonte: Jacobson e Vlachos (2010 p.206); Jacobson (2010, p253)

Alem dos pontos tradicionais os pontos de referências anatômicos utilizados em uma análise cefalométrica em 3D frontal e lateral e suas explicações estão logo a seguir descritos em uma organização de localização de cima para baixo, nas Figuras 8 a, b e c respectivamente.

V: *vértex*. O ponto mais superior do calvário na linha central.

G: *glabella*. O ponto anterior mais proeminente do plano sagital mediano da testa.

N': *násio do tecido mole*. O ponto de maior concavidade na linha média entre a testa e o nariz. Dorso do nariz. Depressão supra-pontal. Diferencia o dorso nasal da ponta (pronasal).

Pn: *pronasal*. O ponto mais proeminente ou anterior do nariz (ponta do nariz)

Sn: *subnasal*. O ponto no qual a columela (septo nasal) se funde com o lábio superior entre o plano sagital mediano.

Sls ou A': *sulco labial superior ou ponto A do tecido mole*. A porção mais côncava do lábio Superior na linha central..

Ls: *labrale superior*. Um ponto indicando a borda mucocutânea do lábio superior.

Sts: *estômio superior*. O ponto mais inferior na borda vermelha do lábio superior.

St: *estômio*. O ponto mais anterior da borda vermelha inferior do lábio na linha central

Sti: *estômio inferior*. O ponto mais superior na borda vermelha do lábio inferior.

Li: *labrale inferior*. O ponto mediano na margem inferior do lábio inferior membranoso.

Sli ou B': *sulco labial inferior ou ponto B do tecido mole*. O ponto de maior concavidade do contorno do queixo do tecido mole na linha média do lábio inferior entre Li e o pogônio do tecido mole. Também conhecido como sulco labimental (Sl).

Pog': *pogônio do tecido mole*. O ponto mais proeminete ou anterior do queixo no plano sagital mediano.

Gn': *gnatio do tecido mole*. O ponto mais evertido do queixo na linha central

Me': *mento do tecido mole*. O ponto mais inferior do contorno do queixo (tecido mole).

Or: *orbital*. O ponto mais inferior do assoalho da órbita, abaixo do centro do olho.

Zp: *proeminência zigomática*. O ponto anterior ais protrusivo do arco zigomático.

Zy: *Zígon*. O ponto mais lateral de cada arco zigomático.

Co: *condílion*. O ponto mais superior da linha média no côndilo da mandíbula.

Go': *Gônio do tecido mole*. O ponto mais evertido do ângulo da mandíbula.

Ch: *alare*. O ponto mais lateral em cada contorno da asa do nariz.

Ex: *exocanto*. O ponto na comissura externa do tecido do olho.

En: *endocanto*. O ponto na comissura interna do tecido do olho.

Todos estes pontos foram determinados através da combinação dos vários traçados cefalométricos existentes. No entanto, todos aqui expostos são exclusivos para o tecido mole. É observado que todos aqueles que possuem o acompanhamento do símbolo " ' " está diretamente ligado a um ponto relacionado ao tecido duro (dente, mandíbula e maxila).

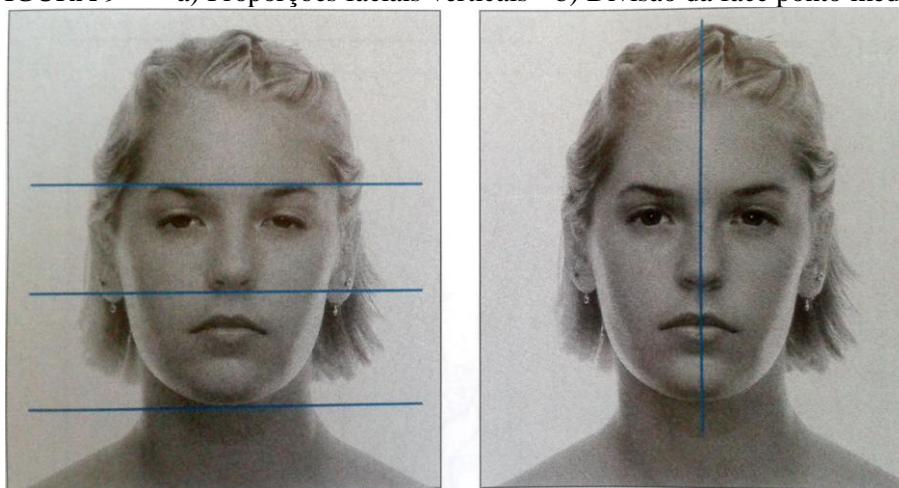
A marcação dos pontos sobre o tecido mole deve buscar a representação das estruturas anatômicas que sirvam de referência ou que sofrerão alteração conforme o tratamento proposto. Os pontos descritos acima podem ser considerados suficientes para uma completa avaliação.

É importante salientar que apesar dos pontos estarem sempre marcados no contorno externo do tecido mole, ou seja, na pele, quando se refere a tecido mole está se falando de um grupo composto de músculo, conjunto vascular e pele.

### 2.1.5 Avaliação Frontal

A parte inferior da face corresponde a aproximadamente 57% da altura total da face. Quando N' for utilizado em vez de G, se diz ideal. Com os lábios em repouso, o terço inferior da face pode ser ainda subdividido traçando-se linhas por meio do Sn, Sts, Sti e Me'. O lábio superior é metade do comprimento do inferior.

FIGURA 9 - a) Proporções faciais verticais b) Divisão da face ponto médio



Fonte: Jacobson e Vlachos (2010, p.208).

Ocorre, através das proporções faciais verticais, simetria facial e relação lábio - incisivo superior. McNamara et. al. (1993) cita o arquiteto romano Vitruvius que descreveu a divisão da face em três partes iguais. A primeira é a distância da linha do cabelo ao G. A segunda metade do G ao Sn e a terceira parte do Sn ao Me'. Devido a variação da linha do

cabelo, a face pode ser dividida em superior distância G-Sn, e face inferior medida pela distância Sn-Me', conforme Figura 9 a.

São poucas as faces que apresentam simetria perfeita. Na Simetria facial, a face é dividida ao longo do plano sagital mediano com uma linha de simetria passando por meio de G, Pn, ponto médio do lábio superior e ponto médio do queixo, Figura 9 b. O ponto Pn e o ponto médio da sínfise são mais prováveis de sofrerem desvio do eixo de simetria.

Durante o sorriso, a exposição ideal é de três quartos da altura da coroa a 2mm de gengiva. A variabilidade na exposição da gengiva está relacionada ao comprimento do lábio, comprimento vertical maxilar e magnitude da elevação do lábio durante o sorriso. Peck e Peck sugerem que uma linha de sorriso gengival não é necessariamente repulsiva esteticamente. As linhas do sorriso gengival diminuem com a idade. O Apêndice A apresenta diversas avaliações de perfil do rosto humano que são feitas, a partir das informações apresentadas acima.

## **2.2 A Geometria aplicada a Cefalometria**

Como observa-se no itens discutidos acima, os pontos de referências anatômicos nas radiografias cefalométricas são selecionados e conectados para obter linhas e ângulos que definem essas relações. A cefalometria tem como objetivo diagnosticar e planejar o tratamento de pacientes ortodônticos, as medidas são designadas para mensurar as relações entre as partes dos elementos esqueléticos, dentários e de tecido mole do complexo craniofacial.

A existência de inúmeras análises cefalométricas ocorre, uma vez que cada análise apresenta vantagens assim como desvantagens. Algumas possuem inúmeras medidas que se tornam inviáveis clinicamente, contudo outras são tão simplistas que se tornam limitadas (SADOWSKY, 2010).

## **2.3 Técnica de Cefalometria Radiográfica**

Nos cinco anos subsequentes ao descobrimento do raio X, Price em 1900, provou o valor da utilização da radiografia no auxílio ao diagnóstico ortodôntico. Através dos estudos craniométricos antropológicos sedimentados e do uso do cefalostato - cefalômetro posicionador da cabeça, criado por Broadbent-Bolton, inicialmente, chamado de cefalômetro em 1931, permitiu que radiografias cranianas laterais sequenciais fossem obtidas de modo

padronizado, gerando uma geometria de projeção feixe - filme - paciente reproduzível. De forma que as estruturas craniofaciais tivessem precisão nas comparações e medidas diretamente na radiografia ou através do uso de traçados sobrepostos de pontos de referência anatômicos ósseos obtidos da radiografia (ACCORSI e VELASCO, 2011).

Os fundamentos de radiografia e captura de imagens permanecem inalterados, independentemente do uso de um sistema digital ou de filme radiográfico. Apesar da frequente utilização do método manual ser comprovadamente impreciso, leva-se em conta que a origem da imagem de um paciente ocorre de um ambiente 3D. No entanto, a análise sempre acontece em 2D. Apesar do uso da cefalometria digital ser interessante, observou-se que os profissionais da área, para reduzir os custos do método digital, acabam optando pelo método tradicional (JACOBSON, 2010) (ACCORSI e VELASCO, 2011).

A análise em 3D é possível através da Realidade Virtual. Porém, a maioria das aplicações oferecidas exige que o profissional tenha profundos conhecimentos em informática e habilidades com o manuseio de equipamentos específicos desenvolvidos para atender a área médica.

## **2.4 Vantagens e precisão de Cefalometria digital vs radiográfica**

O número crescente de práticas ortodônticas informatizadas, agregando o desenvolvimento da tecnologia digital, torna a cefalometria digital direta uma opção interessante para a maioria dos clínicos. Maquinas digitais diretas, que obtêm imagens via placas de fósforo para armazenamento, que oferecem inúmeras vantagens sobre o filme estão, gradativamente, substituindo as unidades radiográficas convencionais. Antes que essa alteração ocorra por completo é necessário que ocorra a revisão dos conceitos básicos da imagem digital, sendo importante investigar as diferenças na identificação dos pontos de referência entre as radiografias cefalométricas laterais digitais diretas e as radiografias cefalométricas contemporâneas convencionais a fim de demonstrar a precisão superior da identificação digital de pontos de referência (MCCLURE e FERREIRA, 2010).

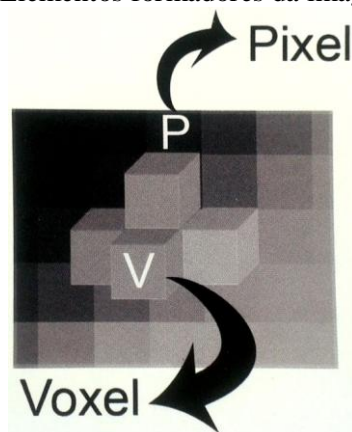
A aquisição de imagens digitais diretas por meio de computador, utilizando o sistema de detector com carga acoplada (DCC), possui um sensor que mostra a imagem no monitor. Ao descartar a necessidade das substâncias químicas associadas, o quarto escuro para revelação e a qualidade da imagem que pode ser aperfeiçoada alterando os ajustes da resolução na unidade de raios X, o sensor produz imagens radiográficas instantâneas. Além disso, diminui o tempo e o custo do processamento e revelação; simplifica o realce,



armazenamento e manipulação da imagem; facilita o compartilhamento da imagem com outros profissionais e facilita a identificação dos pontos de referência automatizados além da reduzir da exposição do paciente à radiação, são essas as inúmeras vantagens da radiografia digital.

Para entender a cefalometria digital, é necessário entender rapidamente como é criada uma imagem digital. Esta compreende células quadradas chamadas elementos de figura ou pixels, conforme a Figura 10. O tamanho do pixel afeta a dimensão da matriz, o detalhamento e a resolução da imagem (SALES e LOPES, 2010).

FIGURA 10 - Elementos formadores da imagem tomográfica



Fonte: Cavalcante (2010, p.5).

Na Figura 10, o P- representa o Pixel (*Picture element*) que constitui a unidade bidimensional, imagens exibidas em monitores e o V- Voxel (*volume element*) formador da unidade tridimensional, são responsáveis pela capacidade de reconstrução multiplanar (RMP) e em terceira dimensão, referem-se ao volume (ACCORSI e VELASCO, 2011).

Como toda nova tecnologia é necessário o treinamento tanto do ortodontista como dos auxiliares, que inicialmente pode ser oneroso do ponto de vista financeiro e da disponibilidade de tempo. Deve-se considerar o prévio conhecimento na obtenção tradicional o processo de obtenção da radiografia requer pouco tempo, quando se refere a dificuldade dos profissionais utilizar os computadores e acessórios a demanda de tempo é ainda maior.

Levando-se em conta os inúmeros sistemas de computadores que permitem a manipulação de imagens e gerenciamento de dados o processo vêm se tornando de forma gradativa amigável e intuitiva. Ainda deve-se considerar a dificuldade, no momento de se fazer atualizações no sistema, software e hardware ou ao delegar esta função a alguém que tenha maior domínio, em alguns casos contratando mão de obra especializada. (MCCLURE e FERREIRA, 2010).

## 2.5 Tomografia Computadorizada - Médica vs Odontológica

A média de absorção de raios-X pelos tecidos, chamada de radiodensidade do tecido, é como uma tomografia computadorizada reproduz as imagens solicitadas pelos profissionais, através de um tomógrafo. A radiodensidade é traduzida para a imagem em níveis de cinza em uma escala chamada Hounsfield, nome dado em homenagem a Godfrey Newbold Hounsfield, um dos criadores da primeira máquina de tomografia computadorizada (AMORIM et al,2012).

Nos aparelhos mais modernos, com pouca emissão de raios-X, através de um emissor de radiação e um banco de sensores - chamados de canais - que variam de 2 até 256, que ao circular o paciente na forma de uma espiral e a movimentação simultânea da maca, é possível gerar uma grande quantidade de imagens, simultaneamente.

As imagens da tomografia computadorizada são geradas em níveis de cinza. Os tons mais claros representam tecidos mais densos, e os mais escuros, tecidos menos densos, como a pele e o cérebro, os quais são depois traduzidos na escala de Hounsfield (HU) (AMORIM et al,2012).

A Tabela 1 apresenta alguns materiais e seus valores em HU (Hounsfield Unit).

TABELA 1 - Escala de Hounsfield	
Material	HU
AR	-1000 ou menos
Gordura	-120
Água	0
Músculo	40
Contraste	130
Osso	400 ou mais
Fonte: Amorim et al (2012)	

As imagens adquiridas por tomógrafos odontológicos, trabalha com menor emissão de radiação quando comparada à tomografia computadorizada médica e, em consequência, torna possível visualizar mais detalhes de regiões delicadas. Porém, costumam exigir um maior pós-processamento para segmentar (separar) determinadas estruturas, sendo necessário o uso de softwares auxiliares (AMORIM et al, 2012). Isso ocorre, devido a essas imagens possuírem mais níveis de cinza que a escala de Hounsfield, o que torna a segmentação menos eficiente. Os ruídos mais frequentes são, normalmente, causados por uso de próteses de amálgama nas imagens providas de tomógrafos odontológicos.

Ao contrário da tomografia médica, em que o paciente fica na horizontal, o paciente fica na posição vertical. Porém, da mesma forma, um emissor e um sensor de raios-X circundam o crânio do paciente, formando um arco de 180° ou 360°. As imagens do tomógrafo podem ser interpretadas como um volume do crânio do paciente imerso. Esse volume é "fatiado" pelo software do aparelho, podendo-se gerar imagens com espaçamentos diferentes ou outros tipos de imagens, como a visão panorâmica da região de interesse (ACCORSI e VELASCO, 2011).

As imagens tridimensionais foram, primeiramente, introduzidas na Ortodontia pela tomografia computadorizada helicoidal *multislice* utilizada com frequência no campo médico. Devido às razões de custo e exposição à radiação, geralmente, não é utilizada no diagnóstico ortodôntico de rotina. A tomografia computadorizada do Feixe Cônico (TCFC) foi introduzida no campo da Odontologia em 1998, após um período inicial de baixa aceitação. Entretanto, com o surgimento de outros fabricantes, tornou-se amplamente aceita nos últimos anos, quase que dobrando a cada ano, a partir de 2005. Dispositivos mais recentes de TCFC oferecem tamanhos menores de voxel, resolução de 12, 14 e 16-bits de tons de cinza e softwares mais avançados, permitindo melhor visualização, além de novas abordagens para a simulação de tratamentos e previsão de resultados. Uma das novidades mais recentes é a possibilidade de sobreposição por dois volumes de dados (IDEYAMA E CARVALHO, 2010).

## **2.6 Ressonância Magnética**

A ressonância magnética é um exame realizado sem o uso de radiação ionizante. Ela utiliza um forte campo magnético para alinhar os átomos de algum elemento presente no corpo, comumente o hidrogênio. Após o alinhamento, são disparadas ondas de rádio, e os átomos são excitados. Os sensores medem o tempo que os átomos de hidrogênio demoram em se alinhar novamente. Desta forma é determinado qual o tipo de tecido, já que cada um apresenta diferentes quantidades de átomos de hidrogênio (AMORIM et al, 2012).

A técnica determina as propriedades de uma substância através da correlação da energia absorvida contra a sua frequência em uma faixa de MegaHertz (MHz) do espectro magnético, caracterizando-se como uma espectroscopia (IDEYAMA E CARVALHO, 2010).

Para melhorar a qualidade do sinal e evitar interferências de radiofrequência é colocada uma bobina na região de interesse, além de o paciente ficar dentro do equipamento.

## 2.7 Morfometria tridimensional da face

O fornecimento de diagnóstico para diversas áreas que trabalham com as estruturas da face, através da antropometria facial como os tratamentos ortodônticos, cirurgias ortognáticas, cirurgias plásticas da face, diagnóstico de malformações congênitas ou adquiridas e pesquisas morfométricas, estão cada vez mais interessados nas tecnologias que auxiliem no diagnóstico correto e na preparação do plano de tratamento de seus pacientes.

Os dois grupos de instrumentos utilizados na antropometria facial em 3D são:

**Instrumentos de contato:** digitalizadores eletromagnéticos e eletro mecânicos, sondas ultrassônicas e instrumentos ópticos, Pantógrafo - Sistema e engenharia reversa dos anos 50 - copia um modelo utilizando uma sonda (*probe*) que realiza a varredura de uma peça e reproduz a mesma em outro material similar se tem o scanner de contato, Figura 11 a.

FIGURA 11 - a) Scanner de contato



b) Scanner de Luz Estruturada



Fonte: Ideyama e Carvalho (2010).

**Instrumentos sem contato:** laser scanner de 2 tipos: sistema laser e o sistema de luz branca (Figura 11b), instrumentos óptico-eletrônicos, topografia Moiré, estereofotogrametria ou fotogrametria: técnica de medição de coordenadas que utiliza as fotografias como base para a metrologia, escaneamento a laser, fotografia 3D do paciente, os mais atuais como já citados os tomógrafos e a ressonância magnética, eliminando o risco de compressão cutânea, evitando danos ou erros na mensuração em geral em modelos de gesso.

Além disso, não deve provocar dor ou desconforto aos pacientes; de baixo custo; rápida captação de imagens - obter informações através de técnicas simples e que capte e armazene os dados digitais 3D da morfologia facial; possibilitar a criação de um banco de

dados e a visualização, simulação e análise quantitativa do tratamento. Um método de análise morfométrica quantitativa ideal para a avaliação de pacientes deve ser não invasivo e não nocivos (BROWN, SCARFE e at al., 2009).

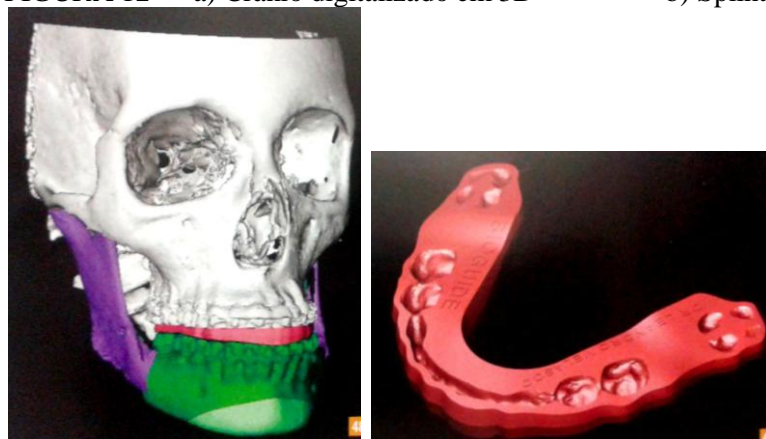
## 2.8 Splints para Cirurgia Ortognática - Impressora 3D

Com a aquisição 3D de dados de pacientes com deformações ortognáticas através de tomógrafos, é possível realizar o reposicionamento virtual das bases ósseas maxilares.

Os modelos de gesso foram digitalizados com o objetivo de diminuir possíveis falhas, utilizando um scanner de superfície. Após combinar os dados para o planejamento pré-operatório, é possível o reposicionamento planejado da oclusão ideal. O sistema define um *Splint* virtual da mordida inicial do paciente, que é de comum aquisição sem a tecnologia, entre as fileiras de dentes, no entanto permite a geração de um *Splint* intermediário, como mostra a Figura 12 b confeccionado através da maxila em sua posição original e da mandíbula em sua posição final Figura 12 a, prevendo o início do procedimento cirúrgico pela mandíbula, de forma a codificar o reposicionamento visado. Após a realização da cirurgia virtual, a impressão dentaria é subtraída do *splint* virtual. O "*splint*" definitivo é, em seguida, confeccionado por uma impressora 3D (CAVALCANTE, 2010) (METZGER et al, 2008).

FIGURA 12 - a) Crânio digitalizado em 3D

b) Splint.



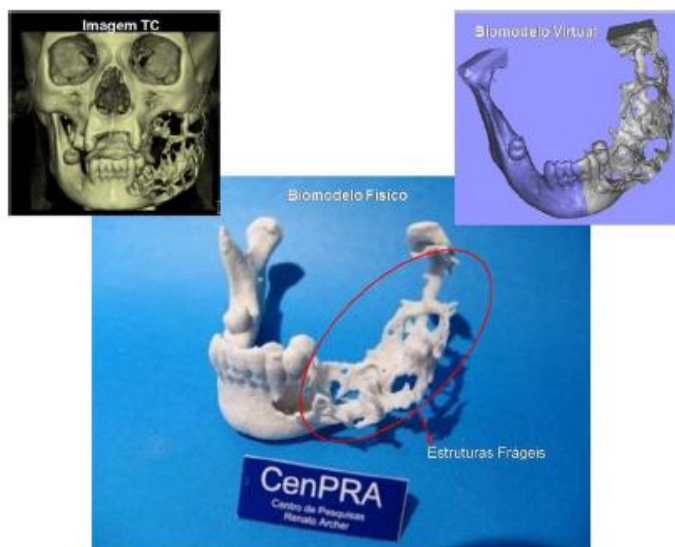
Fonte: Accorsi e Velasco (2010)

Considerando a pesquisa desenvolvida por MORAIS (2013), que buscou facilitar a manipulação e o corte das estruturas ósseas, é importante para uma análise completa a sobreposição do tecido mole ou ao menos a pele, para verificar a sua movimentação mediante ao tecido duro.

Como apontado no início deste capítulo, o apelo visual da simulação computadorizada elimina as deficiências do profissional ao demonstrar o caso ao paciente, evitando a utilização de recursos de exibição de outros casos ou mesmo as técnicas de cefalometria 2D e simples moldes de gesso. Isto torna a compreensão muitas vezes difícil para um paciente leigo. Acrescenta-se a possibilidade de realizar planejamentos cirúrgicos com maior facilidade e precisão, o que tornou a simulação computadorizada um método mais utilizado e estudado nos últimos dez anos (MOTTA, BRUNHARO, et al., 2007).

Porém, as impressoras 3D tem sua participação bem ampla no que se refere a área da saúde no Brasil. O software *InVesalius*<sup>TM</sup> que é a base desta pesquisa e será amplamente discutido no próximo capítulo, não atende apenas no campo de diagnóstico e planejamento cirúrgico virtuais 3D é também um indutor do emprego dos biomodelos físicos construídos com prototipagem rápida. Através dos biomodelos físicos, têm sido feitos treinamentos de corticotomias ósseas e parafusamento de implantes em biomodelos, modelagens personalizadas de placas de titânio e confecção de moldes para a geração de próteses de polimetilmetacrilato (PMMA), utilizados para reparação de perdas ósseas cranianas.

FIGURA 13 - Biomodelo para diagnóstico e planejamento cirúrgico.



Fonte: Oliveira, (2008)

Como na Figura 13, o projeto de biomodelos para diagnóstico e planejamento cirúrgico utiliza biomodelos físicos, construídos a partir de biomodelos virtuais, obtidos a partir de tomografia computadorizada (TC) e reconstrução com o software *InVesalius*<sup>TM</sup>. Isto viabiliza a geração de forma complexas com redução de tempo de cirurgia e aumento da comunicação entre os membros da equipe (OLIVEIRA, 2008).

Rotineiramente são feitas biomodelagens virtuais 3D e física no ProMED prontas para o SUS - Serviço Único de Saúde. Os cirurgiões buco maxilo facial têm sido os grandes responsáveis pela demanda para correções de graves anomalias crânios-faciais, resultando na inclusão social de milhares de portadores dessas anomalias.

O ProMED têm se estendido nas áreas de cirurgia veterinária, medicina legal, antropologia e arqueologia. Acrescidos de outros dois projetos de pesquisa, O BioCAD o qual viabiliza através de simulações pelo método de elementos finitos e aplicações CAD, a confecção de implantes de alto desempenho anatômico e funcional na prototipagem rápida ao software InVesalius,

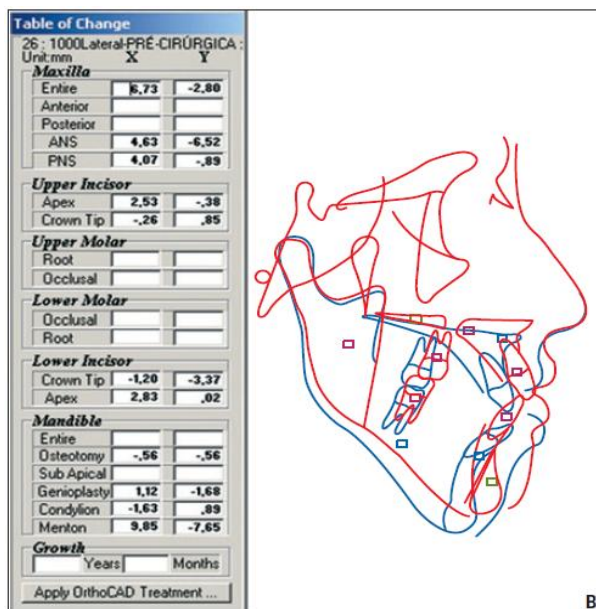
O segundo projeto trata da estruturação tridimensional de biomateriais e scaffolds, com estudos exploratórios utilizando máquinas comerciais e experimentais (OLIVEIRA, 2008).

## CAPÍTULO 3

### 3 TRABALHOS RELACIONADOS

Conforme descrito no Capítulo 2, as aplicações desenvolvidas em sistemas 2D concentram-se em obter medidas cefalométricas para auxílio aos tratamentos ortodônticos. Estas têm o objetivo de reduzir o erro humano e o tempo de extração de medidas pelo método manual, de forma a não contemplar a cirurgia ortognática. É importante destacar que para o sucesso de uma cirurgia ortognática é fundamental um preparo pré e pós-cirúrgico com o auxílio dos aparelhos ortodônticos (METZGER ET AL, 2008).

FIGURA 14 - Tela de tratamento do software Vistadent



Fonte: Menezes, M.; Sforza;C. (2010).

O primeiro dos dois métodos existentes que permitem o uso dos computadores no auxílio ao diagnóstico e na análise do preparo ao procedimento cirúrgico proporciona o traçado cefalométrico de forma a observar os movimentos cirúrgicos. Estas aplicações computacionais das áreas médicas (*Computer Aided Diagnosis – CAD*) fazem as movimentações das estruturas esqueléticas do traçado pré-cirúrgico (em azul na Figura 14), construindo o traçado predictivo (em vermelho). A tabela a esquerda da Figura 14 mostra a magnitude das mudanças esqueléticas. A partir deste nicho de pesquisa e estudo, novas oportunidades têm surgido para profissionais de computação, oferecendo variadas pesquisas no campo acadêmico. No entanto, a maior parte das pesquisas são ainda feita em 2D, com



pouquíssimas em 3D. Já no segundo método, usa-se a obtenção de imagens fotográficas de perfil, que sofreram alterações de acordo com a movimentação óssea, produzido pelos traçados cefalométricos, chamado de *Vídeo Imaging*, que resulta numa melhor visualização e no entendimento dos objetivos do tratamento pelo paciente.

A aquisição de imagens e informações do paciente obtidas por meio de raio X, cefalometria, ressonância e tomografia ou de qualquer outro equipamento médico padronizado pelo modelo DICOM (Capítulo 5), permite a utilização do conceito de paciente virtual, cada vez mais explorado pelos profissionais da área da saúde. Desta forma, o paciente virtual pode ser estudado e novos protocolos de tratamento desenvolvidos. Devido à complexidade do procedimento cirúrgico ortognático esse conceito se torna especialmente relevante (SCHENDEL e LANE - 2009).

Neste capítulo investiga-se o cenário de alguns softwares e explana-se o processamento de imagens médicas da área da ortodontia, que tem como principal fonte de dados a tomografia computadorizada dentro do padrão médico DICOM. Assim como técnicas clássicas de processamento de imagens, os sistemas CAD, tanto no meio comercial como no acadêmico, dentre as várias funções existentes, atuam também na visualização do tratamento ortodôntico. A seguir, serão apresentados mais sobre esses softwares usados pela comunidade, com o objetivo de obter um estudo comparativo (NUNES, 2006).

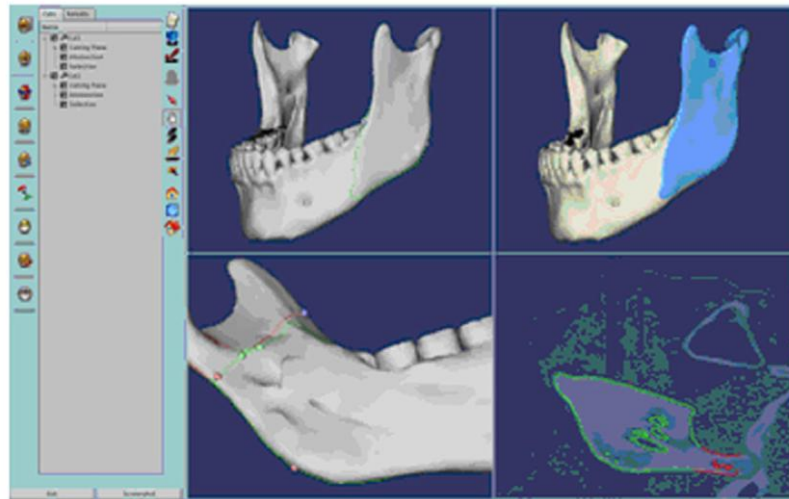
### 3.1 CMFApp

Na Universidade de Bern na Suíça, vem sendo desenvolvido pelo *Maurice Muller Institute of Surgical Technology and Biomechanics*. O software é usado, principalmente, para o auxílio de cirurgias buco maxilo facial e, como descrito por Cevitanes et al - 2010, é um dos elementos de apoio ao especialista quando visualizado dentro de um processo pré e pós cirúrgico. Ele possui um vasto conjunto de funcionalidades, permitindo aos profissionais a manipular: dados anatômicos, diagnósticos, planejamento e guia cirúrgico, todos armazenados em um arquivo estruturado no formato XML. Essa estratégia que o CMFApp possui permite compartilhar essas informações com outros softwares das áreas médicas. (CEVIDANES et al, 2010).

Desenvolvido utilizando a estratégia de componentes, de forma que possui um framework que permite estender a aplicação e trocar dados mais facilmente entre esses componentes internos.

Observa-se na Figura 15 o processo por completo de uma corticotomia óssea – corte ósseo. Assim como o sistema proposto por MORAIS (2013), o CMFApp se encaixa nos procedimentos de análise e simulação referente a corticotomia óssea e as movimentações pertinentes ao reposicionamento.

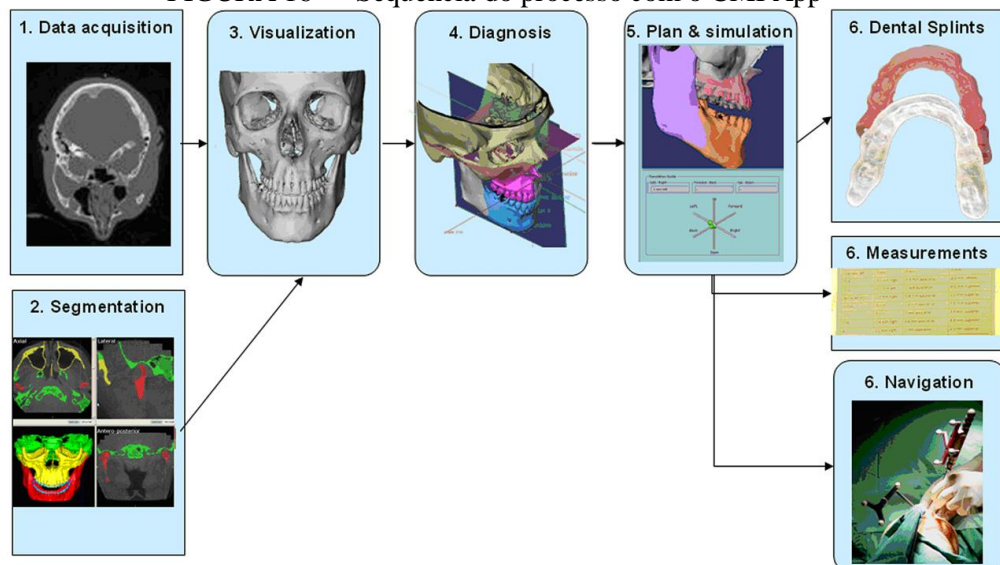
FIGURA 15 - Software CMFApp – no estudo de corticotomia óssea.



Fonte: Cevidanes, Lucia H. C. et al. (2010)

Segundo o sistema desenvolvido por MORAIS, e conforme o processo apresentado para análise do procedimento cirúrgico na Figura 16, a segmentação da imagem se faz imprescindível antes da simulação.

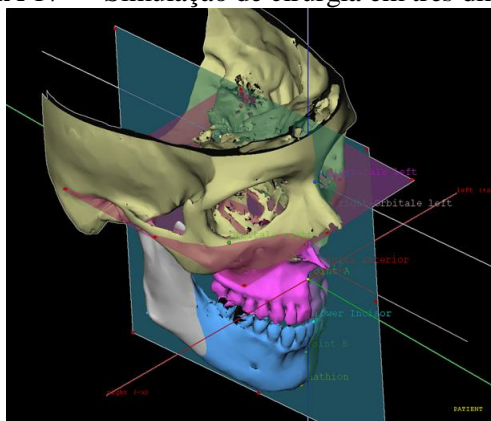
FIGURA 16 - Sequência do processo com o CMFApp



Fonte: Cevidanes, Lucia H. C., et al. (2010)

As medidas cefalométricas são realizadas em 3D no CMFApp, permitindo que o usuário defina marcações, desenho de linhas de planos e as próprias medidas cefalométricas (Figura 17).

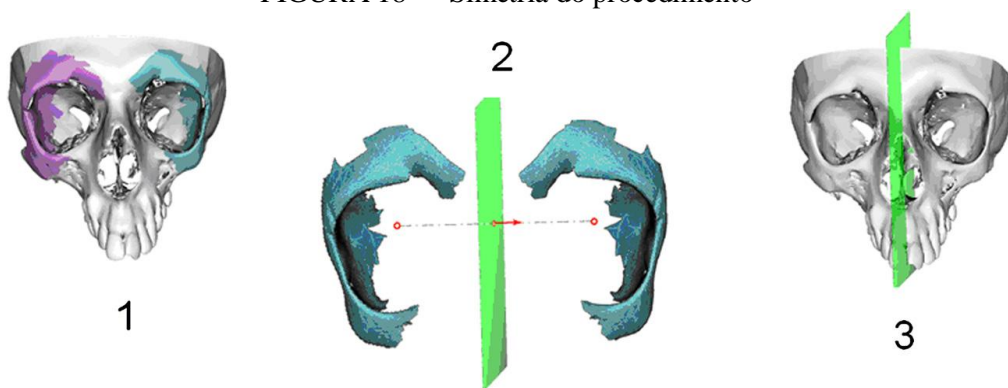
FIGURA 17 - Simulação de cirurgia em três dimensões



Fonte: Cevidanes, Lucia H. C. ; et al. (2010)

O software apresenta a função de espelhamento, onde o usuário trabalha em uma região da face, o lado oposto recebe de forma automática os mesmos procedimentos de seleção através do espelhamento, corte ou qualquer outro tipo de alteração que tenha ocorrido, se utilizando de planos e linhas para a análise dos pontos cefalométricos em um crânio obtido, através de tomografia *cone beam*, Figura 18, vale salientar que toda face não é simétrica em 100%.

FIGURA 18 - Simetria do procedimento



Fonte: Cevidanes, Lucia H. C. ; et al. (2010)

Em algumas situações, a técnica de espelhamento realizada através do CMFApp é utilizada para espelhar uma parte saudável na parte oposta que tenha sofrido alguma alteração.

O software suporta qualquer tipo de corticotomia óssea, com uma detecção e separação confiável das partes ou segmentos envolvidos. Um plano de corte é definido através

de 3 ou mais marcações. A intersecção entre os distintos planos de corte é calculada e a superfície das estruturas internas é separada em visões distintas (CEVIDANES et al, 2010).

No trabalho do Instituto Maurice, o rastreamento de medidas está presente, oferecendo a capacidade de atualizar as medidas cefalométricas prontamente a alteração de um marcador.

Entretanto, atualmente o CMFApp não possui a capacidade de simular alterações no tecido mole (pele).

### **3.2 Dolphin**

O Dolphin Imaging é um aplicativo comercial que possui a Visualização do Tratamento Ortodôntico (VTO) em 3D. Sendo vendido em módulos, onde um treinamento para cada módulo é necessário conforme sítio da Dolphin Imaging Featuring 3D, 2011.

O Dolphin Imaging vem sendo utilizado para pesquisa e ensino em vários centros de estudos, geração de teleradiografias cefalométricas e panorâmicas, para realizar análises tridimensionais das vias aéreas, análise das ATMs, e ainda possibilita medidas 2D e 3D angulares de distâncias e de áreas. Além de outras funcionalidades pertinentes a gestão do consultório e/ou clínicas.

Segundo Dr. Paul Goodman, engenheiro programador do Dolphin 3D Surgery, as soluções são marcantes na área acadêmica, segundo dados dos EUA:

97% dos cursos de odontologia usam o Dolphin regularmente.

50% dos programas de cirurgia buco maxilo facial usam o Dolphin regularmente.

25% dos programas pediátricos usam o Dolphin regularmente.

(JACOME, 2013 apud GOODMAN,2013)

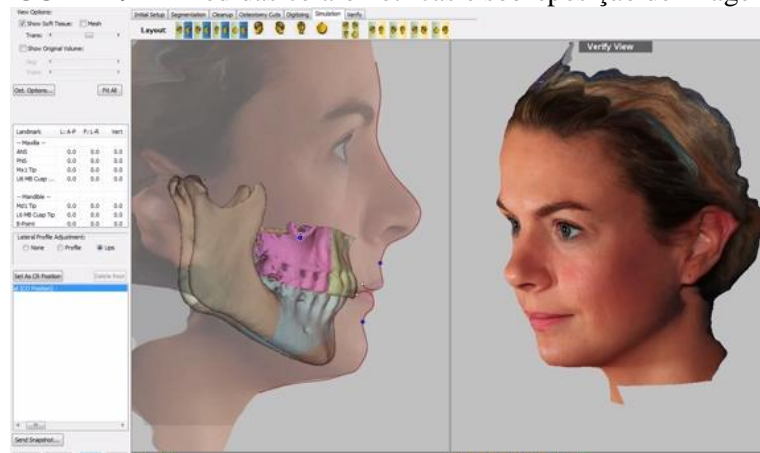
Em 1988, a Empresa californiana foi fundada e oferece diversas soluções de software para várias segmentações da área odontológica, médicos cirurgiões e educadores nas áreas de imagem, diagnósticos e soluções de gerenciamento de pacientes e especialistas, com distribuição significativa no Brasil

#### **a) Dolphin 3D Surgery**

O módulo 3D do Dolphin possui uma boa visualização da anatomia crânio facial 3D, pelos métodos computadorizados, além da obtenção das imagens através das câmeras digitais

médicas 3D, conforme Figura 19, permitindo um amplo diagnóstico em todas as especialidades da Odontologia.

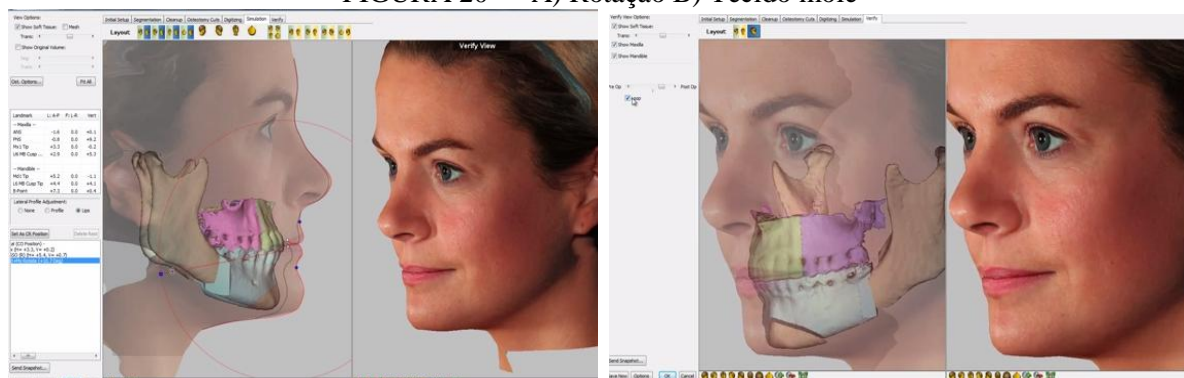
FIGURA 19 - Medidas cefalométricas e sobreposição de imagens.



Fonte: Dolphin imaging (2011).

As variações das movimentações ósseas das partes geradas a partir da segmentação se mostrou completa no módulo Dolphin 3D. Partes que formam o conjunto que será movimentado quando uma parte deste sofre reposicionamento e de forma transparente modificada pelo software, sem a necessidade de intervenção do profissional especialista.

FIGURA 20 - A) Rotação B) Tecido mole



Fonte: Dolphin imaging – 3D (2011)

A funcionalidade de girar as partes segmentadas, muito importante para o procedimento cirúrgico ortognático obter o sucesso esperado, é atendida pelo Dolphin 3D, conforme a Figura 20A e complementada pela simulação e movimentação no tecido mole, conforme Figura 20 B, utilizando para tanto a combinação obtida através da tomografia e a textura com a foto do rosto realizada pela câmera facial tridimensional.

Simular a movimentação do tecido mole e rotação das partes ósseas, são o foco desta dissertação de forma a complementar o trabalho desenvolvido por MORAIS (2013), vale lembrar que o estudo do VTO será exibido sem a textura da face, e estará sendo exibida a movimentação exclusivamente da pele, além de manter a liberdade total da movimentação das partes ósseas baseada na experiência do especialista.

Até a versão 11.5 do Dolphin 3D, não havia a opção de customizar *splint*, nem tão pouco um plano detalhado a ser utilizado na sala de cirurgia - intraoperativo.

O fato de oferecer grande capacidade de recursos e o custo envolvido para aquisição e o demanda de tempo necessária para o treinamento foram entendidos como obstáculos nas pesquisas realizadas nesse trabalho, conforme resultados apresentados no Capítulo 6.

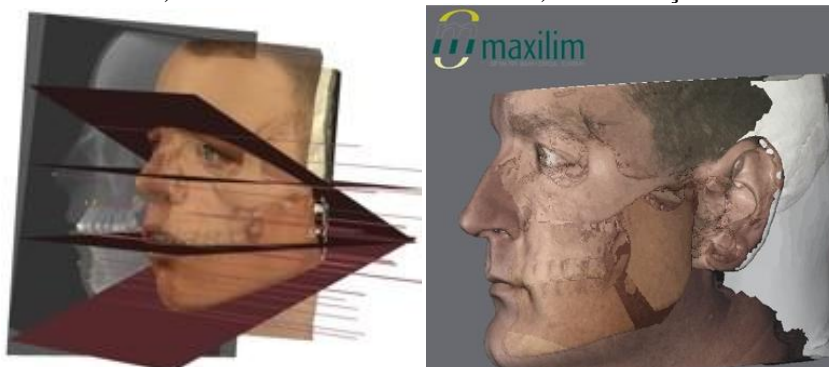
### 3.3 Maxilim

É uma plataforma que associa vários módulos de apoio ao especialista no planejamento pré-operatório de uma cirurgia maxilo facial (cirurgia ortognática), desenvolvido pela empresa Belga Medicim Medical Image Computing.

Para criar o paciente virtual O Modulo 3D Patient é o ponto de partida, nesse módulo o ortodontista e/ou cirurgião faz o carregamento da imagem tomográfica e das fotos 3D.

Após a criação do paciente virtual, o módulo Diagnose possui um visualizador 3D onde o especialista pode trabalhar com técnicas de espelhamento, definir marcações e visualizar os planos axial, sagital e coronal.

FIGURA 21 - A) análise cefalométrica B) Visualização do tecido mole



Fonte: Medical Imaging Computing (2008).

As funcionalidades das medidas euclidianas e a geração da cefalometria, em conjunto com as marcações também se fazem presente no Maxilim (Figura 21A) e são importantes no

módulo Orthognatic Surgery para planejar e compreender a corticotomia óssea, conforme é apresentado na Figura 21 B, que exhibe a movimentação do tecido duro incluindo a rotação e a consequência deste movimento é visualizada no tecido mole.

Todo o processo de corticotomia óssea é realizado através de assistentes, o profissional não possui a liberdade nos movimentos das partes. Após todo o estudo e análise das corticotomia ósseas virtual no Maxilim, no caso de cirurgias bi-maxilar, é a criação do modelo do *splint* intermediário e final que poderá ser utilizado durante a cirurgia.

O que diferencia o Maxilim do desenvolvido desta pesquisa é a liberdade oferecida ao profissional na movimentação das segmentações e a gratuidade do sistema.

### 3.4 InvivoDental

O Invivo Dental é um dos produtos desenvolvido e em desenvolvimento pela empresa californiana Anatomage fundada em 2004, especializada em desenvolvimento de software e hardware para a área médica.

O Invivo Dental5 é um software que busca ser bastante completo, uma vez que oferece funcionalidades interdisciplinares tais como simulações de cirurgias ortognáticas e planejamento para implantes.

FIGURA 22 - Invivo Dental Viewer



Fonte: Invivo5.1 Manual (2011)

No módulo de visualização cria uma modelo poligonal, permitindo que o tempo de resposta nas operações realizadas pelo usuário tais como zoom e rotação aconteçam de forma satisfatoriamente rápidas (Figura 22) (ANATOMAGE, 2011).



O foco do aplicativo Invivo Dental é o de implantes e tratamento de disfunção Temporomandibular. Entretanto, não deixa de atender o planejamento para cirurgia ortognática e a movimentação óssea ocorre através do assistente de forma automática, novamente dando pouca liberdade ao especialista

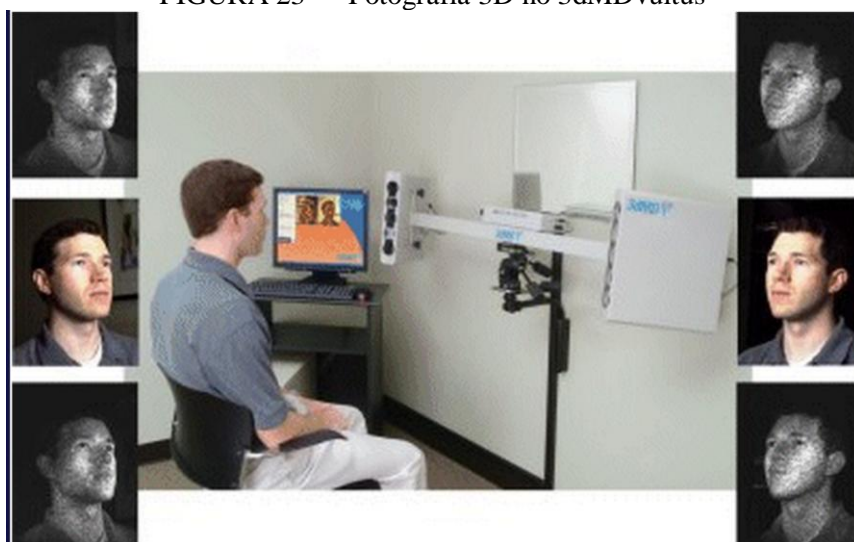
Para a geração das medidas cefalométricas é necessário a utilização 3D Ceph Analysis, outro software produzido pela mesma empresa. Os pontos são marcados automaticamente como na maioria dos softwares que possuem a aplicação.

Lembrando que nesta dissertação os pontos cefalométricos não são parte do estudo e nem mesmo serão gerados pelos especialistas, o que interessa é a movimentação da pele sobre a movimentação do tecido mole, o qual também ocorre de forma robotizada pelo software em análise.

### 3.5 3dMDvultus

No 3dMDvultus é explorado a combinação das imagens padrão DICOM com as imagens adquiridas por dispositivos de fotografia 3D, conforme Figura 23, gerando a sobreposição de imagens. Esta plataforma de software é desenvolvida pela empresa americana 3dMD focada em diagnóstico e visualização 3D do tratamento de pacientes.

FIGURA 23 - Fotografia 3D no 3dMDvultus



Fonte: Harrel (2008).

O 3dMDvultus rastreia o tratamento do paciente através de históricos de exames feitos na linha do tempo com a utilização de banco de dados.

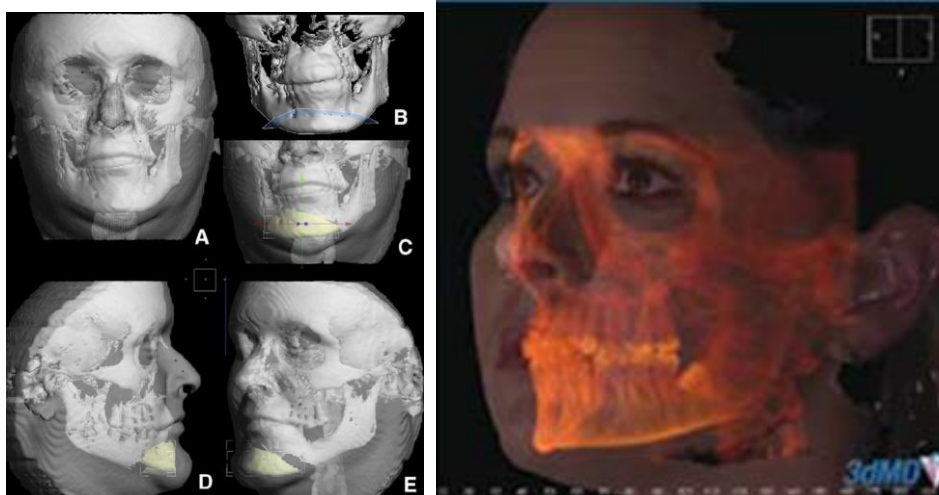


Conforme visto nos softwares anteriores, a imagem TC é carregada, e as segmentações ósseas são geradas automaticamente, assim, o especialista realiza movimentos de rotação e translação nas partes segmentadas (GRAUER, CEVIDANES e PROFFIT, 2009), podendo ser criadas marcações que serão úteis na sobreposição de imagens. Assim como no Dolphin, é possível também fazer a análise das vias áreas, bem como visualizar os resultados de uma segmentação óssea.

O 3dDMvultus permite a realização de um procedimento de corticotomia óssea e de movimentação das segmentações da mesma forma como o sistema base desta dissertação desenvolvido por MORAIS (2013), e fazendo a movimentação de rotação conforme o parte da proposta desta pesquisa. Todavia, todos os movimentos são presos aos marcadores.

Outro ponto que o sistema desenvolvido pela empresa 3dMD atende é a movimentação do tecido mole (Figura 24).

FIGURA 24 - Corticotomia óssea virtual no 3dDMvultus



Fonte: Grauer, Cevidanés e Proffit, (2009)

Na Figura 24, observa a transposição das camadas digitais (tecido mole e osso), através do controle da transparência de cada uma delas.

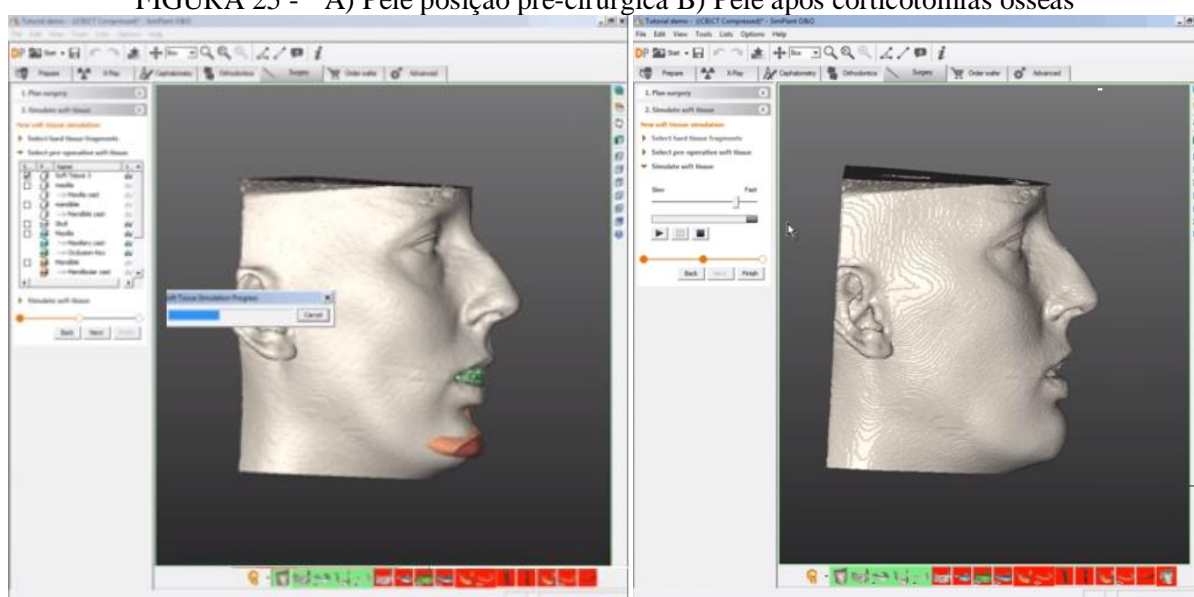
### 3.6 SimPlant O&O

Materialise Dental é uma empresa com 18 anos no mercado, em Leuven na Bélgica, que possui um conjunto de softwares na área de implantes dentários, construção de próteses e planejamento de uma cirurgia ortognática.

O módulo que está relacionado com a proposta deste trabalho de VTO é o SimPlant

O&O que contém medições cefalométricas, visualização isolada dos dentes da mandíbula ou maxila, efetua a simulação de cirurgia. A simulação consiste em procedimentos das segmentações ósseas, através de assistentes que são utilizados como guias para a movimentação do conjunto ósseo. Após as movimentações lineares e rotações (movimentação angular), o SimPlant O&O gera a visualização da movimentação do tecido mole causado pela movimentação do tecido duro dentro dos padrões de controle (observe a barra de processamento da Figura 25 A) e a movimentação após geração da movimento pelo sistema na Figura 25B, tendo a opção de inicializar a movimentação na forma de vídeo.

FIGURA 25 - A) Pele posição pré-cirúrgica B) Pele após corticotomias ósseas



Fonte: Materialise Dental (2012)

Após a simulação, o SimPlant pode projetar um *splint* que poderá ser utilizado durante o procedimento cirúrgico como guia para procedimentos bimaxilar (MATERIALISE DENTAL, 2012)

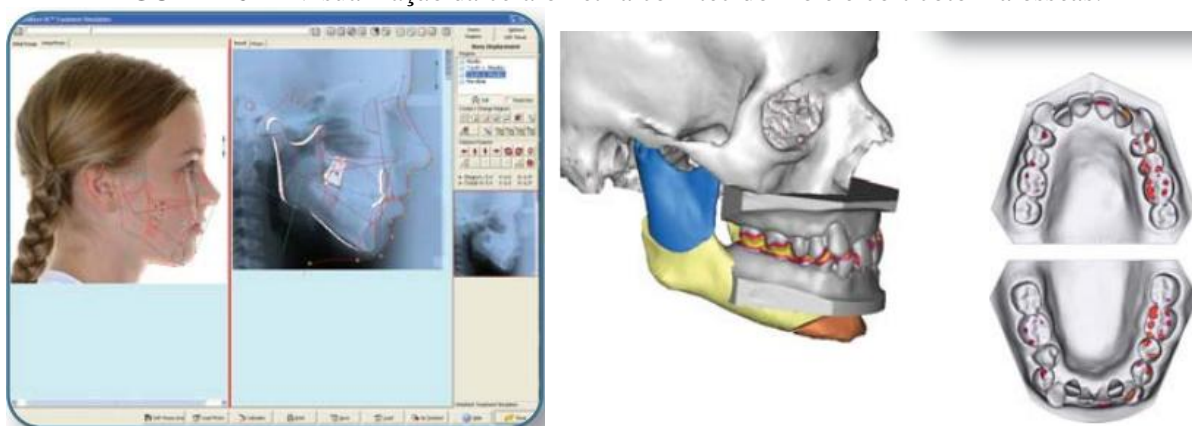
### 3.7 Vistadent 3D

O Vistadent 3D é um dos softwares desenvolvido pela GAC TechnoCenter que foi fundada em 1996 como a divisão de Tecnologia do GAC *International*, uma subsidiária da *Dentsply International*. (NASDAQ: XRAY). Atende a indústria ortodôntica no que se refere a geração de imagens, a educação do paciente, treinamento de pessoal e otimização prática.

O software Vistadent 3D permite a integração com outros softwares da mesma

fabricante, com o objetivo de unir um grupo de aplicações que juntas atende a todas as necessidades de um consultório e/ou clínica ortodôntica. O sistema executa a análise cefalométrica predefinida e permite a modificação e criação de novos padrões. Além disso, ele faz o VTO do tecido mole através dos pontos cefalométricos marcados, Figura 26. Finalmente, exibe o mapeamento antes e depois em forma de vídeo para exibição ao paciente.

FIGURA 26 - Visualização da cefalometria com tecido mole e corticotomia ósseas.



Fonte: (VistaDent® Orthodontic, GAC International Inc.)

O sistema VistaDent® Orthodontic permite o planejamento da cirurgia ortognática, através dos modelos digitais, gerando um traçado predictivo do perfil mole a partir das movimentações realizadas no posicionamento do tecido duro, conforme Quadro 1, fornecidos pelo fabricante.

QUADRO 1: Razões de alterações entre tecidos duros e moles.

ponto	esquelético		dentário		ponto	esquelético		dentário	
	x	y	x	y		x	y	x	y
maxila					mandíbula				
pronasal	1,00	0,15			estômio inferior	1,00	0,10	0,40	1,00
subnasal	0,24	0,28			lábio inferior	1,00	0,10	0,70	1,00
ponto A'	0,20	0,20	0,52	0,26	ponto B'	1,00	1,00		
lábio superior	0,62	0,31			pogônio mole	1,00	1,00		
estômio superior	0,62	0,25			gnátio mole	1,00	1,00		
ponto da linha do estômio	0,62	0,20			mento mole	1,00	1,00		
					ponto cervical	0,20	0,40		

Fonte: (Vistadent AT 2.1, GAC International Inc.)

Assistentes são utilizados para fazer as movimentações dentro dos padrões de controle pré estabelecido, conhecidos como proporções ou razões de alteração entre tecidos duros e

tecidos moles. Os valores indicam a proporção de alteração do tecido mole resultante do movimento esquelético ou dentário.

### 3.8 InVesalius<sup>TM</sup>

O software é continuamente desenvolvido pelo CTI (Centro de Tecnologia da Informação Renato Archer), uma unidade de pesquisa do Ministério da Ciência e Tecnologia, criada em 1982 para promover a pesquisa científica e desenvolvimento de tecnologia da informação.

Quase que simultaneamente e alinhado as tendências mundiais da época iniciou-se a criação do software público *InVesalius*<sup>TM</sup> para atender a necessidade da construção de réplicas de partes ósseas do corpo humano. Foi o início do projeto chamado hoje de ProMED - Prototipagem Virtual 3D e Rápida para a Medicina. O ProMED já forneceu aproximadamente 1300 biomodelos, gratuitamente, para hospitais particulares e públicos. A comunidade conta com mais de 1700 membros de 49 países.

Através das imagens médicas adquiridas por equipamentos específicos, são criados modelos em 3D correspondentes às estruturas anatômicas dos pacientes. É um software público (Figura 27), e vem sendo difundido em diversas áreas, tais quais medicina, odontologia, veterinária e engenharia.

FIGURA 27 - *Splash Screen* do InVesalius



Fonte: Software público Divisão 3D, 2013

Em uma homenagem ao médico belga Andreas Vesalius (1514-1564), considerado o pai da anatomia moderna, o nome *InVesalius*<sup>TM</sup> foi adotado.

O objetivo da criação do software foi de atender o planejamento cirúrgico detalhado e no diagnóstico de patologias. No entanto tem sido também utilizado na geração de biomodelos físicos construídos com mecanismos de prototipagem rápida, parafusamento de implantes e geração de próteses.

Dentre as aplicações oferecidas pelo software, pode-se destacar a visualização volumétrica, medições euclidianas - tanto lineares como angulares, reconstrução 3D, visualização 2D e 3D, visualização oblíqua, entre outras funcionalidades (BARTOLO et al,2008).

O modelo virtual gerado pelo *InVesalius<sup>TM</sup>* também pode ser utilizado para projetar próteses personalizadas para cada paciente antes do procedimento cirúrgico. É um software que oferece as seguintes aplicações, através de uma interface amigável:

- Suporte a DICOM, incluindo: Versões 1 e 2 do ACR-NEMA; Versão 3.0 do DICOM (incluindo diversas codificações de JPEG -lossless and lossy-, RLE).

- Segmentação baseada em fatias
- Valores pré-definidos de limiar, de acordo com o tecido de interesse
- Métodos para edição manual de fatia (semelhante ao Paint Brush)
- Criação de superfície 3D
- Métodos para conectividade de superfícies 3D
- Exportação de superfície 3D (incluindo: STL binário, OBJ, VRML, !Inventor)
- Projeção volumétrica de alta qualidade
- Configurações de projeção volumétrica pré-definidas
- Plano de corte de projeção volumétrica
- Exportação de telas (incluindo: BMP, TIFF, JPG, PostScript, POV-Ray). É possível

fazer o download do programa acessando <http://softwarelivre.org>

### 3.9 Estudo comparativo

A Tabela 2 foi criada com o objetivo de sintetizar as diferenças entre os softwares analisados nesse capítulo e principalmente o *InVesalius<sup>TM</sup>*, também visto e discutido brevemente nos capítulos anteriores.

A análise foi feita seguindo os seguintes critérios:

1. Exigência de pré-cadastro de dados do paciente.
2. Entrada de dados de Tomógrafo formato DICOM.
3. Medições cefalométricas.
4. Geração de imagem 3D.
5. Corte livres na imagem 3D.
6. Oferecido gratuitamente.
7. Movimentação tecido mole.

TABELA 2 - Funcionalidades analisadas em softwares correlatos.

	1	2	3	4	5	6	7
CMFApp	✗	✓	✓	✓	✗	✗	✗
Dolphin	✓	✓	✓	✓	✗	✗	✓
Maxilim	✓	✓	✓	✓	✗	✗	✓
InvivoDental	✗	✓	✓	✓	✗	✗	✓
3dmdvultus	✓	✓	✓	✓	✓	✗	✓
SimPlant O&O	✓	✓	✓	✓	✓	✗	✓
Vistadent	✓	✓	✓	✓	✗	✗	✓
<i>InVesalius<sup>TM</sup></i>	✗	✓	✓	✓	✗	✓	✗

Fonte: acervo próprio

Dos sete tópicos analisados o item 1 - cadastro completo do paciente como exigência prévia, não é considerado um fator positivo para alguns especialistas, para se chegar ao procedimento dentro de um ambiente em 3D, desviando o seu objetivo e consumindo maior tempo. No Capítulo 6 esse assunto é abordado com mais detalhes, onde são analisados os resultados das experimentações pelo profissional. Os itens 2, 3 e 4 são fundamentais para análise e visualização dos estudos de caso, apresentados na Tabela 2. Já a realização das quebras ósseas no ambiente 3D é oferecido apenas por dois deles, nos demais os cortes ocorrem através de linhas que é delimitado em cada canvas das imagens 2D e a intersecção destas geram as novas imagens segmentadas. Mesmo havendo a função de corte sem muita flexibilidade, em alguns casos também não existe a movimentação livre das segmentações, os deslocamentos ocorrem através de assistentes com limitações impostas pelo software.

O trabalho de MORAIS (2013) tratou a corticotomia, desenvolvendo com maior ênfase a liberdade de cortes e a movimentação no ambiente 3D, agregando o item 6 – custo, onde o *InVesalius<sup>TM</sup>*, base da pesquisa desenvolvida, é um software gratuito, que já possui várias outras funcionalidades discutidas, e atendendo ao primeiro item da tabela 2, não requer qualquer tipo de cadastro do paciente. Partindo da premissa que o *InVesalius<sup>TM</sup>* tem um

potencial futuro para incorporar as funcionalidades desenvolvidas no trabalho de MORAIS, tal acréscimo será de grande valor para a comunidade de especialistas interessados.

Da mesma forma o item 7, atendido por todos os softwares comerciais, exceto os softwares CMFApp (trabalho acadêmico) e *InVesalius<sup>TM</sup>* esta dissertação é baseada nos mesmo princípios citados por MORAIS. No entanto, com o objetivo de complementar a aplicação, indo ao encontro com as pesquisas subsequentes e as solicitações feitas nas experimentações pelos profissionais, onde 10 especialistas apontaram a necessidade deste item que se refere à movimentação do tecido mole e sua importância para uma completa análise do paciente a ser submetido ao procedimento cirúrgico ortognático.

Uma vez que o atual capítulo explorou trabalhos correlatos, na sequência a dissertação descreve em detalhes a sua proposta, incluindo *screenshots* do sistema desenvolvido.

## CAPÍTULO 4

### 4 ARQUITETURA DO SISTEMA

Após observações e análises de softwares para apoio a cirurgia ortognática no capítulo anterior, evidenciou-se na maioria dos softwares estudados a capacidade de simulações de movimento em tecido mole.

Nesse capítulo é apresentada a arquitetura do protótipo criado, onde as principais características são à de manter a simplicidade na sua utilização e busca complementar as funcionalidades e os resultados obtidos pelo trabalho de MORAIS (2013), como parte do objeto de estudo dessa dissertação, neste início de capítulo é importante resaltar as tecnologias computacionais ligadas à área médica e o preparo das imagens para a sua utilização de forma ideal.

#### 4.1 Formatos Digitais para Imagens Médicas - DICOM

O setor de saúde descobriu as novas tecnologias para atender as suas necessidades. Especialmente para o diagnóstico, tratamento e análise de imagem, estas novas tecnologias podem ser utilizadas para obtenção das imagens pelos aparelhos radiológicos que fornecem informações importantes sobre o quadro clínico do paciente e ajuda na localizar de anomalias. Após o período de descobertas e evolução tecnológica de hardware, um padrão internacional foi criado para esses tipos de imagens. O padrão DICOM (*Digital Imaging and Communications in Medicine*) foi desenvolvido de acordo com os Procedimentos do Comitê de Normas DICOM, e é estruturado como um multi - documento de peça com as diretrizes estabelecidas no seguinte documento:

Directivas ISO/IEC, 1989 Parte 3: Elaboração e Apresentação das Normas Internacionais utilizados pela grande maioria dos equipamentos que fazem obtenção de imagens médicas tais como tomografia computadorizada e ressonância magnética, define um conjunto de dados sobre o paciente, o equipamento, dados das imagens adquiridas etc.

Desta forma, o padrão DICOM tornou-se eficiente e direcionador para a criação, desenvolvimento e evolução dos equipamentos médicos de forma que as aplicações



desenvolvidas não se perderam a cada nova melhoria dos equipamentos. Os dispositivos usados geram uma série de imagens separadas, onde cada uma representa uma camada específica da parte do corpo em estudo. É vantajoso para os profissionais ver um modelo 3D de sua região de interesse, já que o ambiente virtual 3D permite aumentar, girar e manipular, em vez de reconstruir mentalmente. O principal trabalho para as aplicações, que constrói um modelo 3D a partir de imagens DICOM, é converter os dados de uma planilha para um formato que pode ser utilizado para a construção de um modelo 3D, incluindo interpolação e identificação de objetos. No melhor dos casos, as aplicações fazem uso da aceleração de hardware gráfico (GORETZKI, 2008).

Após a reconstrução do volume total pelo computador, são produzidas as imagens nos planos anatômicos (axial, Coronal e sagital) que possibilita a visualização das estruturas anatômicas em todos os ângulos e nuances, inclusive com a possibilidade de reconstrução em terceira dimensão, facilitando a elaboração de relatórios e hipóteses diagnósticas (CAVALCANTI, 2010).

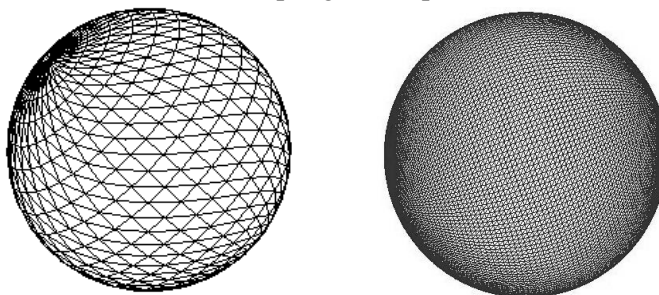
O padrão DICOM prevê várias modalidades de imagens médicas, provindas de equipamentos de tomografia computadorizada, ressonância magnética, ultrassom, eletrocardiograma, entre outras que gerem arquivos a partir deste padrão. Trata-se da padronização da transmissão, do armazenamento e do tratamento de imagens médicas. Uma matriz contendo os pixels da imagem e um conjunto de meta-informações as quais consiste dos dados do paciente, a modalidade da imagem e posição da imagem em relação ao espaço (no caso de tomografia e ressonância), de forma a fornecer informações complementares aos dados de principal relevância, a geração das várias imagens radiográficas, passíveis de formar a imagem 3D, é a composição da imagem DICOM sobre os 2 itens principais (Pianyk, 2007).

Do ponto de vista desse trabalho, o interesse é somente no conteúdo referente às imagens adquiridas. Fatores como a grande quantidade de informações presentes nos arquivos criados seguindo o padrão DICOM, além das imagens originalmente adquiridas (*raw data*) estarem em 2D, dificultam a sua utilização direta em softwares de RP (*rapid prototyping*) e CAD (*Computer Aided Design*). Uma alternativa, é fazer a conversão do *dataset* (conjunto de dados da imagem) presente no arquivo DICOM para o formato STL (*STereoLithography*), também conhecido por *Structure Triangular Language*, uma vez que esse formato representa uma malha de polígonos que representa a superfície de um objeto em 3D (IDEYAMA e CARVALHO, 2011).

O formato (STL) tem se tornado largamente utilizado como fonte para prototipagem rápida e para a criação de biomodelos físicos. A quantidade de pontos presentes na malha e

facetados como triângulos, chamados aqui por polígonos, pode variar determinando a suavização do modelo 3D gerado, conforme é possível observar na Figura 28, que apresenta uma esfera com diferentes números de polígonos.

FIGURA 28 - Malha de polígonos representando uma esfera.



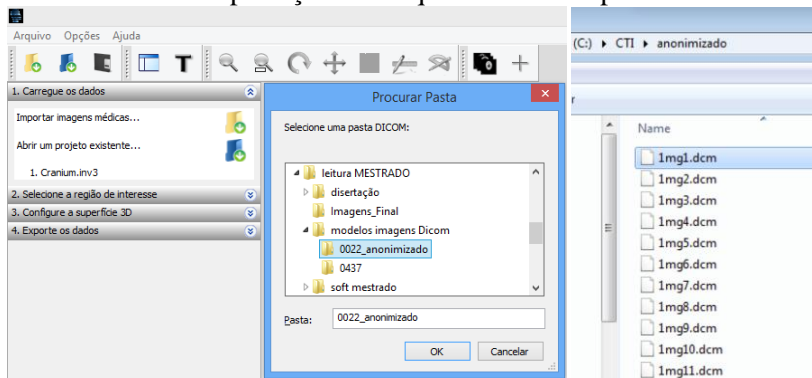
Fonte: Acervo Próprio.

Em contra partida, um excesso de suavização pode fazer com que um número exagerado de polígonos aumente o tamanho do modelo final, dificultando a sua manipulação, Figura 28.

#### 4.2 Conversão DICOM para STL com o *InVesalius*<sup>TM</sup>

No sistema proposto, a imagem original de uma tomografia computadorizada no formato DICOM será transformada para o formato STL, de forma que a composição de fatias em 2D presentes no arquivo DICOM sejam transformadas em uma malha de polígonos, conforme determinado pelo padrão STL, a fim de trabalhar de forma mais simples e eficiente. Neste caso, o software *InVesalius*<sup>TM</sup> é utilizado para realizar a transformação.

FIGURA 29 - Importação dos arquivos DICOM pelo *InVesalius*<sup>TM</sup>.



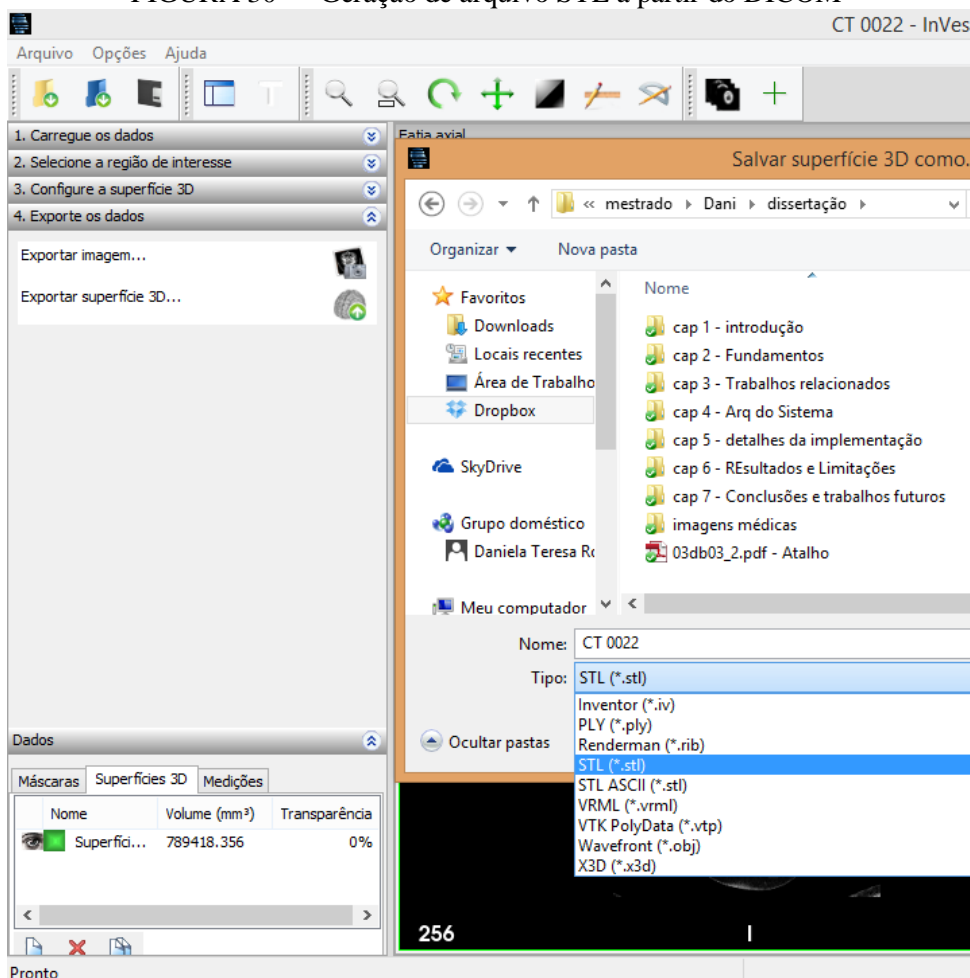
Fonte: Acervo Próprio.

Primeiramente, realiza-se a importação do arquivo DICOM, Figura 29, para

posteriormente transformá-lo em um arquivo no formato STL. A fim de obter um melhor resultado para esse trabalho, recomenda-se que a boca esteja semi aberta, de forma a obter uma separação suave entre os dentes. Caso não ocorra, chega-se a um resultado próximo fazendo a separação das partes grandes, mandíbula e maxila acompanhada do crânio, através da edição das imagens de forma manual utilizando o software *InVesalius*<sup>TM</sup> (ou similar).

Após a importação concluída, se faz necessário a criação da superfície 3D, escolhendo uma das opções existentes de osso, pele, vascular, vias aéreas, tecido mole que é composto pela pele, sistema vascular e musculatura, além das variações em relação a cores entre outros possíveis no item 2. Em seguida, selecionar a região de interesse utilizando a função Criar superfície. Opção exportar superfície 3D para o formato STL como destacado pela Figura 30.

FIGURA 30 - Geração de arquivo STL a partir do DICOM

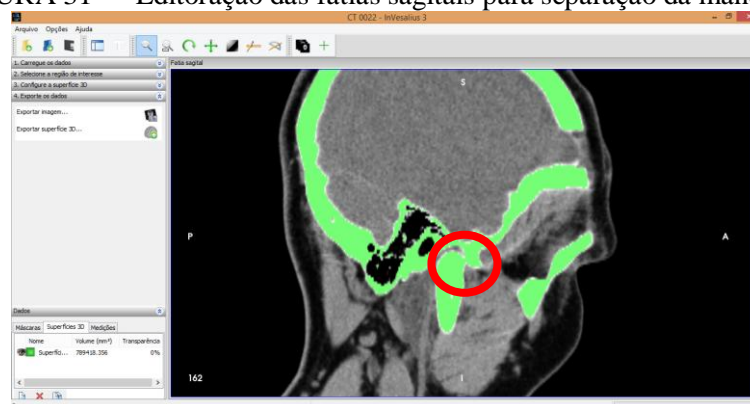


Fonte: Acervo Próprio

A fim de apresentar um fluxo completo, a imagem tomográfica possui a presença de ruídos. Percebe-se que a maxila esta grudada com a mandíbula, para que o procedimento de corticotomia óssea ocorra corretamente, é necessário separar esses dois conjuntos ósseos,

nesse caso a mandíbula da caixa craniana e a maxila, Figura 31.

FIGURA 31 - Editoração das fatias sagitais para separação da mandíbula

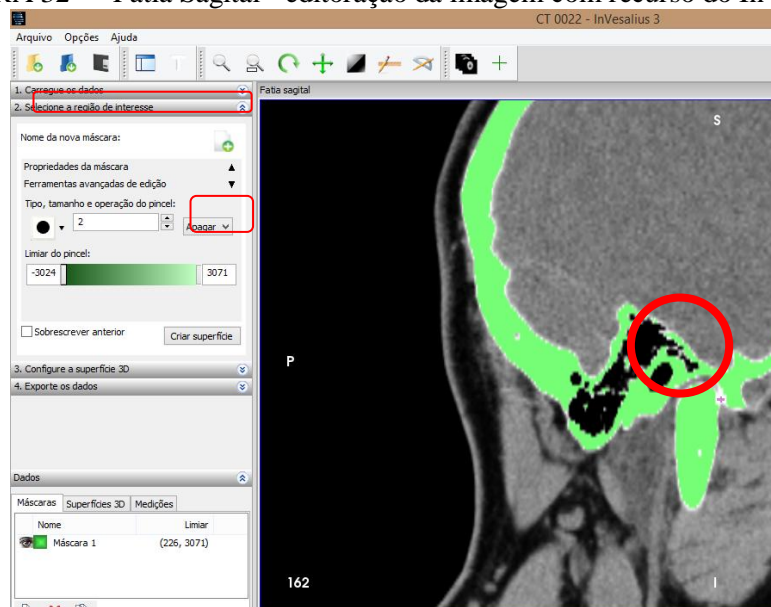


Fonte: Acervo Próprio

A Figura 32 destaca através do círculo em vermelho o local onde a imagem apresenta uma junção da maxila com a caixa craniana e mandíbula chamada de Articulação temporo-mandibular (ATM).

Dessa forma, através da visualização das fatias sagitais, e utilizando o modo de edição avançado do *InVesalius*<sup>TM</sup> para realizar a separação, conforme destacado na Figura 32.

FIGURA 32 - Fatia Sagital - editoração da imagem com recurso do InVesalius

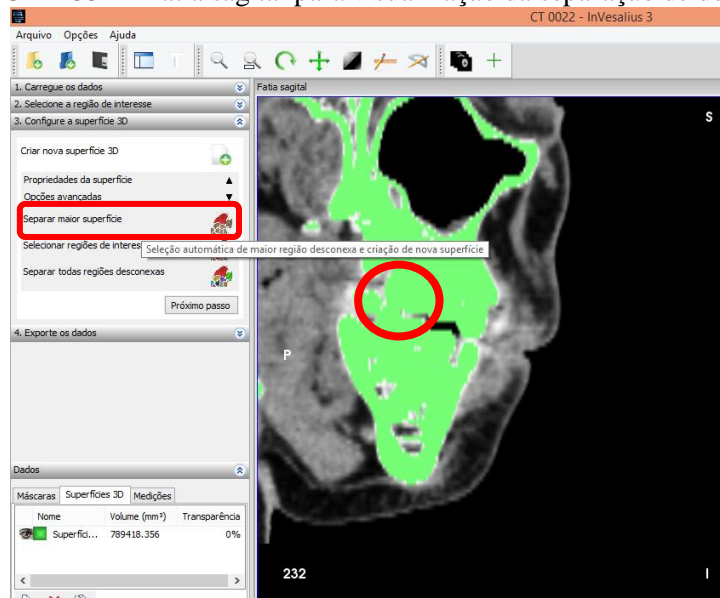


Fonte: Acervo Próprio

Repetindo o procedimento, em cada uma das fatias, também se faz necessário separar os dentes inferiores dos superiores. Esse passo poderia ser menos oneroso caso a tomografia tivesse sido realizada com a boca semi-aberta, não eliminando a necessidade de verificação.

A Figura 33 exemplifica uma visão diferente, facilitando a identificação dos dois conjuntos ósseos, maxila e crânio, conectadas através de pontos entre os dentes.

FIGURA 33 - Fatia sagital para visualização da separação de dentes.



Fonte: Acervo Próprio

O processo de separação é necessário em algumas situações. Em particular quando a imagem tomográfica original no formato DICOM não apresenta separação suficiente entre as partes (Crânio-maxila e mandíbula) para uma eficaz manipulação entre as partes no sistema proposto, que será detalhado funcionalmente na sequência.

O uso do software *InVesalius*<sup>TM</sup>, é indicado para reconstrução tridimensional de estruturas anatômicas e edição das mesmas. Por ser simples e intuitivo, esse software é indicado como uma forma viável para a utilização de especialistas buco maxilo facial que realizam o procedimento de correção da maloclusão dentária através da cirurgia ortognática, leva-se em conta para isso o enriquecimento de suas capacidades, com as funcionalidades desenvolvidas nesse trabalho.

Considera-se que o uso imagens de tomográficas computadorizadas colabora para se obter um maior realismo e precisão no estudo dos movimentos que ocorrerão durante o procedimento. Além disso, trazem significativas vantagens para a realização de análise e simulação do procedimento cirúrgico, mais precisamente para a realização e simulação do procedimento cirúrgico, mais precisamente para o processo de corticotomia óssea.

No capítulo a seguir, são estudados trabalhos correlatos, onde estudos e softwares são explorados, e por fim comparados com o sistema proposto pelo autor a ser possivelmente inserido no *InVesalius*<sup>TM</sup>.

### 4.3 Protótipo

Um dos principais objetivos do protótipo construído pelo autor foi a busca da realização e projeção de movimento em tecido mole ou pele.

Considera-se também que para tanto um conjunto mínimo de movimentos de corticotomia óssea devam ser realizados como pré-requisitos para que seja possível por meio destes observar e estudar os movimentos da pele, mediante movimentação do tecido duro.

A origem dos dados baseia-se em um conjunto de imagens tomográficas do paciente de forma a permitir que o cirurgião buco maxilo possa visualizar, movimentar e modificar tais imagens como preparação para uma cirurgia, simulação e projeção dos resultados da mesma. O foco do protótipo, entretanto, é oferecer ao cirurgião, uma ferramenta de apoio para um maior entendimento no comportamento da pele após movimentos realizados nas partes ósseas.

O sistema oferece ao profissional um ambiente total 3D, onde é possível trabalhar com diversos métodos e modos de visualização de imagem. Por tratar-se de um objeto de pesquisa, e principalmente com objetivo de trazer algo simples comparando com outros softwares estudados no capítulo anterior, esse protótipo oferece uma interface gráfica com o usuário bastante simplificada e minimalista.

Através de ferramenta de visualização e cortes ósseos, o software permite diferentes formas de interação para uma simulação de cirurgia buco maxilo facial, a qual consista principalmente em um reposicionamento ósseo das partes mandibular ou maxilar geradas pelo especialista.

Pode-se por meio do protótipo, movimentar, rotacionar, ampliar ou reduzir a cena através da manipulação da câmera, bem como de partes ósseas existentes na cena de forma independente, e por fim visualizar as implicações dos resultados dessas movimentações ósseas na pele do paciente, anteriormente adquirida por meio de exame tomográficos.

Por fim, com a simplicidade no uso do software espera-se trazer facilidades na preparação e simulação de uma cirurgia buco maxilo facial até um ponto onde é possível projetar alterações na pele do paciente em decorrência de movimentação óssea. Embora a projeção na pele seja realizada automaticamente, o protótipo em todo momento conta com a experiência trazida pelo cirurgião na realização dos movimentos ósseos sem muitas interferências, fator esse muito positivo visto a liberdade dada a cirurgião no uso do software. A arquitetura do protótipo é detalhada nas seções subsequentes. Detalhes de implementação e código fonte serão abordados no próximo capítulo.

#### 4.4 Atores

Identificou-se quais são os atores envolvidos durante a preparação para a cirurgia assistida pelo protótipo.

São eles:

Cirurgião  
Especialista de Tomógrafo  
Sistema para Preparação de Imagens  
Ferramenta de VTO

Na sequência será explicado de forma mais direta a participação desses atores durante o ciclo de vida do sistema, por meio de diagramas Unified Modeling Language -UML.

#### 4.5 Requisitos funcionais

Como parte de estudos de engenharia de software, para que fosse possível construir o protótipo, se fez necessário conhecer as principais funcionalidades a serem oferecidas pelo mesmo. Tais funcionalidades são listadas a seguir:

- 1 O sistema deve permitir importar imagens tomográficas digitais.
- 2 O cirurgião deve conseguir remover ruídos existentes na imagem.
- 3 O cirurgião poderá alterar a imagem de forma a facilitar seu uso durante o uso do protótipo para casos onde a imagem tomográfica não está adequada.
- 4 O cirurgião poderá carregar imagens de pele no sistema.
- 5 O cirurgião poderá carregar imagens ósseas no sistema.
- 6 O cirurgião poderá realizar cortes nos ossos representados pelas imagens carregadas.
- 7 O cirurgião poderá mover as partes ósseas de forma independente em qualquer eixo tridimensional.
- 8 O cirurgião poderá girar qualquer parte óssea em torno do próprio eixo.
- 9 O sistema deverá exibir alterações na imagem de pele em decorrência de movimento ou rotação de parte óssea.
- 10 O especialista e o paciente poderão avaliar o resultado do procedimento virtual.

Dos 10 requisitos funcionais listados à cima os itens 8 e 9 são o foco do estudo deste protótipo visando atender o apontamento constante e de suma relevância citada pelos 10

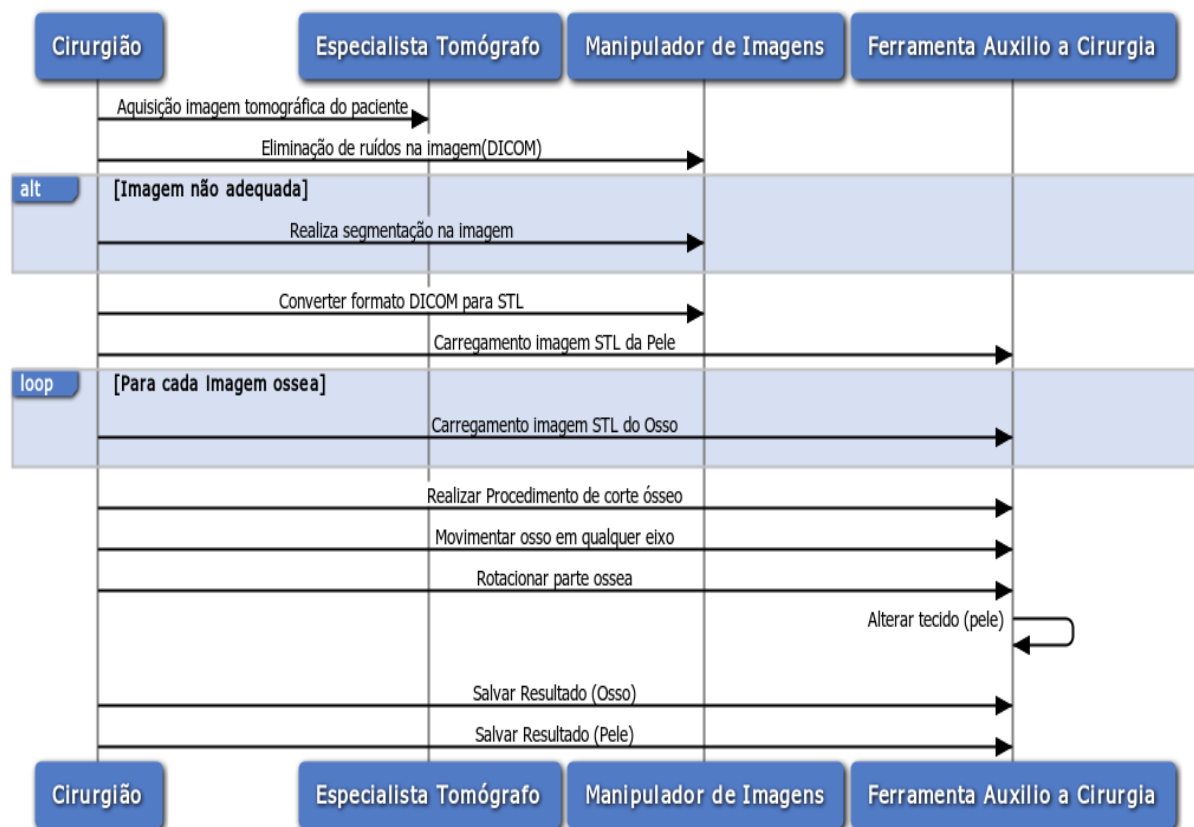
profissionais que foram entrevistados e manipularam o protótipo de Moraes (2013).

#### 4.6 Diagrama de Sequência

Antes de explorar os casos de uso para atender os requisitos funcionais listados acima, é exibido no diagrama UML de sequência, de forma a identificar os principais elementos da solução, bem como a relação entre os mesmos.

Observando através do diagrama da Figura 34, o bloco (ator) com a denominação Ferramenta Cirurgia, para fins práticos representa o sistema aqui desenvolvido nessa pesquisa.

FIGURA 34 - Diagrama de Sequência do Sistema



Fonte: Acervo Próprio.

Para esse estudo, o ator Manipulador de Imagens foi o software *InVesalius*<sup>TM</sup>, onde pode-se remover ruídos na imagens e alterá-la em situações onde a boca não estivesse em posição semi aberta durante a aquisição pelo tomógrafo.

Entende-se aqui também que o Especialista em Tomógrafo é um médico especialista fazendo uso de um equipamento de tomógrafo para aquisição de imagem tomográfica do paciente.



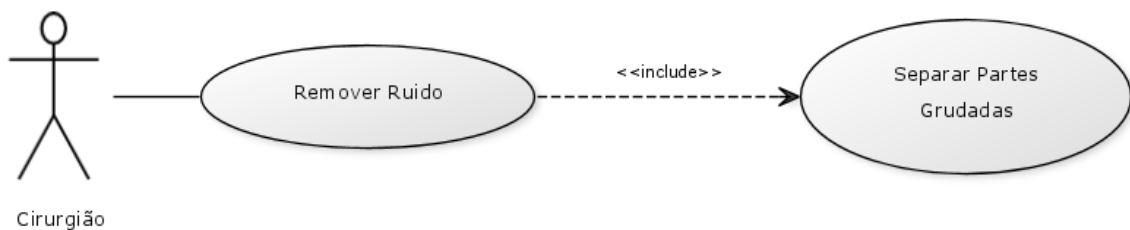
## 4.7 Casos de Uso

Após a identificação dos requisitos funcionais listados acima, as interações com o sistema de forma a atender esses requisitos são apresentadas a seguir através de casos de uso, bem como um exemplo dessa interação no protótipo, quando apropriado.

### 4.7.1 Caso de Uso – Remover Ruídos e Editar imagem

Analisando o diagrama de caso de Uso “Remover Ruídos e Tratar Imagem” observa-se os vários passos realizados posteriormente à obtenção de imagem tomográfica. Figura 35

FIGURA 35 - Diagrama de Caso de Uso Remover Ruídos e Editar imagem



Fonte: Acervo Próprio

Segue a Tabela 3 a descrição do caso de uso Preparar Imagem.

TABELA 3 - Descrição caso de Uso Preparar Imagem

Caso de Uso	Remover Ruídos e Separar Partes
Ator	Cirurgião
Fluxo de Sucesso	1. O Cirurgião identifica a ruídos na tomográfica
	2. O Cirurgião utiliza filtros no software para eliminar os ruídos
	3. O sistema aplica filtros na imagem.
	4. O especialista avalia a necessidade de separar partes ósseas
	5. O Cirurgião faz a edição na imagem para eliminar pontos que criam vínculos entre as partes
	6.O Cirurgião aplica a conversão do imagem no formato DICOM para STL
	7.O sistema gera novos arquivos com essas imagens convertidas

Fonte: Acervo Próprio

A forma utilizada para realizar esse caso de uso é detalhada a seguir. Utilizou-se o sistema *InVesalius*<sup>TM</sup> para eliminação de ruídos, bem como separação de partes ósseas, a fim

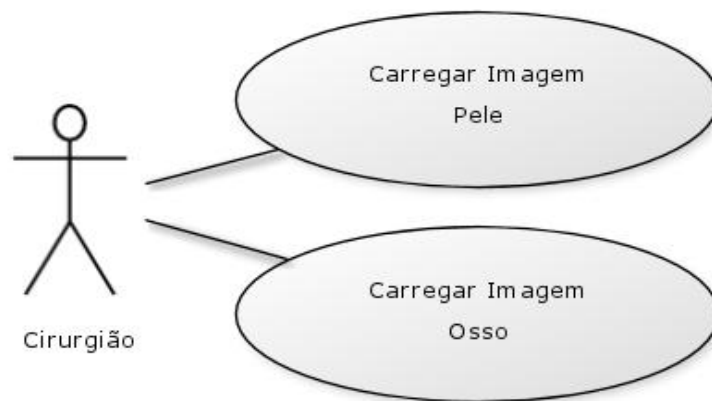
de facilitar a execução da simulação cirúrgica, demonstrado no capítulo 2.

Como pré-requisito para o uso do protótipo, também se fez necessário aplicar a conversão das imagens no formato DICOM para o formato STL como explicado no Capítulo 3.

#### 4.7.2 Caso de Uso – Carregar Imagem Osso e Carregar Imagem Pele

Esse caso de uso descreve a interação entre o Cirurgião e o sistema para carregar as imagens correspondentes a parte de pele e a parte óssea do paciente, (Figura 36), obrigatoriamente nesta sequência.

FIGURA 36 - Diagrama de Caso Carregar Imagem Osso e Pele



Fonte: Acervo Próprio

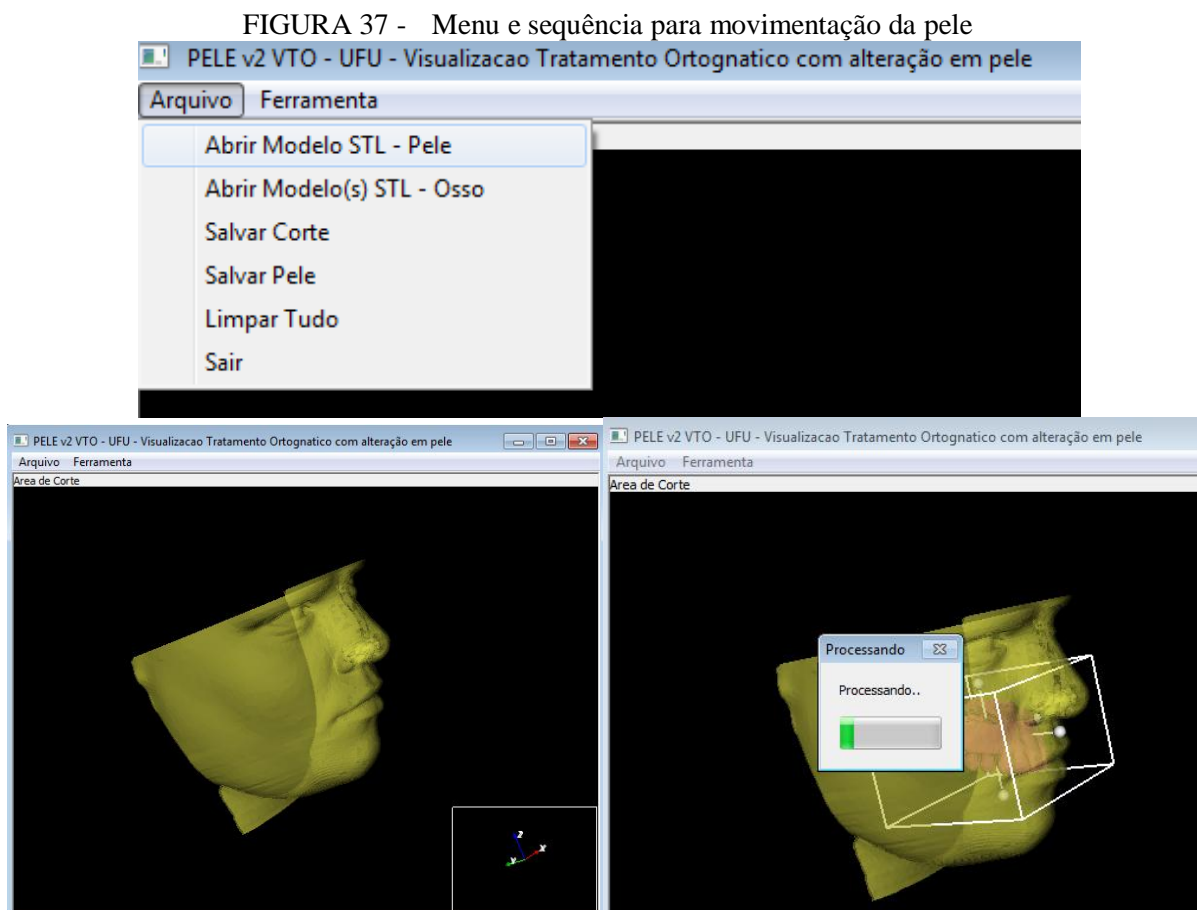
Segue a Tabela 4 a descrição do caso de uso Carregar Imagem.

TABELA 4 - Descrição Caso de Uso Carregar Imagem

Caso de Uso	Carregar Imagem Pele e Osso
Ator	Cirurgião
Pré-Requisito	Execução do caso de uso Remover Ruídos
Fluxo de Sucesso	1. O Cirurgião separa quais arquivos de pele e ossos são de interesse
	2. Para cada arquivo STL de interesse o Cirurgião solicita o carregamento da imagem no <i>Canvas</i>
	3. O sistema mapeia pontos do osso com pontos da pele
	4. O Cirurgião avalia se as imagens corretas foram carregadas
	5. O Cirurgião movimenta a câmera do Canvas para uma melhor visualização

Fonte: Acervo Próprio

O caso de uso CarregarImagem no protótipo, onde é feito o carregamento da imagem STL da pele já convertida do seu formato original DICOM pelo próprio *InVesalius*<sup>TM</sup>, sendo esta carregada com opacidade, pode ser observada pelas Figuras 37.



Fonte: Acervo Próprio

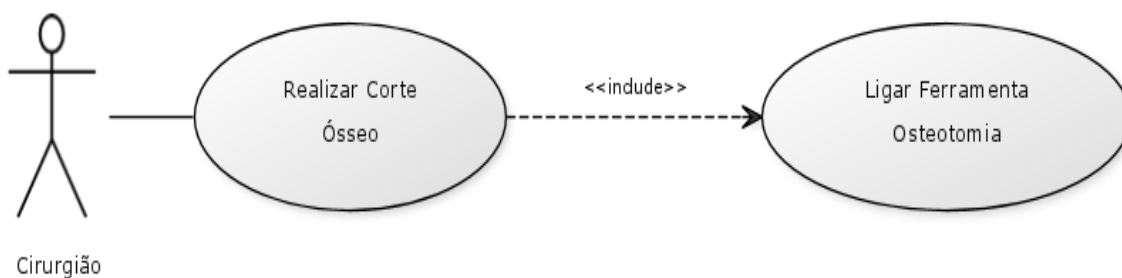
Na sequência, deve ser solicitado o carregamento de uma das partes ósseas a serem movimentadas, conforme Figura 37. É notório o processamento da imagem óssea que está sendo inserido no canvas onde já se localiza a pele. Neste momento, ocorre o relacionamento entre pontos do tecido duro com a pele, assim é necessário que sejam carregados quantas imagens ósseas forem necessária para a realização do posicionamento correto das partes a serem movimentadas, e para cada uma o processo de relacionamento ocorrera.

#### 4.7.3 Caso de Uso – Realizar Cortes Ósseos

O caso de uso Realizar Cortes Ósseos é fundamental para o estudo dessa dissertação, pois mediante a simulação da corticotomia óssea - cortes ósseos e da movimentação das partes cortadas é que pode-se interferir na formação do tecido (pele), acarretando a

visualização da deformação. Esse Caso de Uso descreve como ocorre esse corte ósseo. Exemplificado na Figura 38, através do Diagrama de Caso de Uso.

FIGURA 38 - Diagrama de Caso de Uso Realizar Cortes Ósseos



Fonte: Acervo Próprio

Segue a Tabela 5 que descreve o Caso de Uso Realizar Cortes Ósseos.

TABELA 5 - Descrição de Caso de Uso Realizar Cortes Ósseos

Caso de Uso	Realizar Cortes Ósseos
Ator	Cirurgião
Pré-Requisito	Execução do caso de uso Carregar Imagem Pele e Osso
Fluxo de Sucesso	1. O Cirurgião avalia e analisa qual procedimento será realizado
	2. O sistema apresenta a ferramenta de corte
	3. O Cirurgião movimenta a câmera para uma melhor posição de visualização
	4. O Cirurgião movimenta a ferramenta de corte para a área de interesse selecionando parte de algum osso
	5. O sistema realiza o corte na área em que esta posicionada a ferramenta de corte fracionando o osso
	6. Para cada fração, o cirurgião realiza o movimento
	7. O sistema permite salvar as partes ósseas segmentadas em suas novas posições

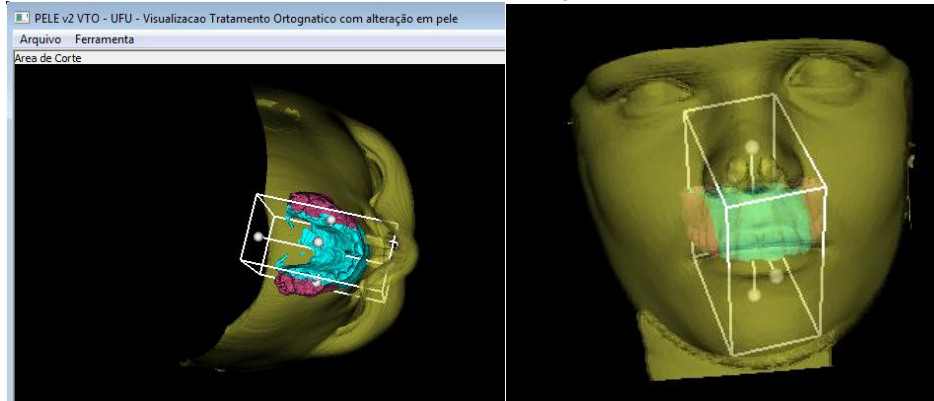
Fonte: Acervo Próprio

A realização Caso de Uso Realizar Cortes Ósseos é possível através do marco central, encontro dos 3 eixos, suportando a movimentação do cubo no espaço, de forma a delimitar a área de segmentação da imagem que ficará dentro do cubo em relação àquela que ficará fora do cubo. Ao salvar será necessário nomear as duas partes, gerando assim duas imagens

distintas e ambas serão carregadas novamente pelo protótipo.

Todos estes detalhes podem ser observado na Figura 39 com exceção do ponto ao encontro dos eixos para movimentação da ferramenta de corte.

FIGURA 39 - Ferramenta de seleção da área de corte.



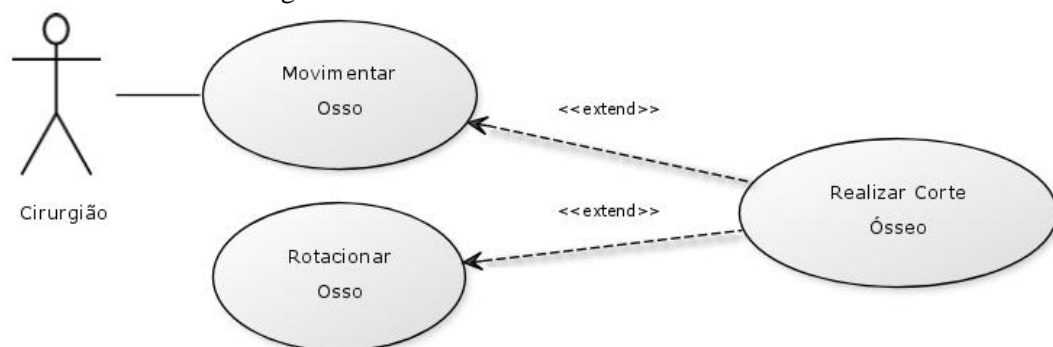
Fonte: Acervo Próprio

O ambiente criado permite a movimentação da câmera de forma a posicionar o canvas em uma melhor posição para visualização do movimento desejado e mesmo a verificação de detalhes utilizando ferramenta de aproximação ou de afastamento respectivamente ampliação da imagem ou redução.

#### 4.7.4 Caso de Uso – Movimentar e Rotacionar Partes Ósseas

Este Caso de Uso permite ao cirurgião realizar o movimento linear, bem como girar qualquer parte óssea que esteja apresentada no canvas, em qualquer eixo tridimensional, Figura 40.

FIGURA 40 - Diagrama de Caso de Uso Movimentar e Rotacionar Partes Ósseas



Fonte: Acervo Próprio

Segue a Tabela 6 a descrição do caso de uso Movimentar e Rotacionar Partes Ósseas.

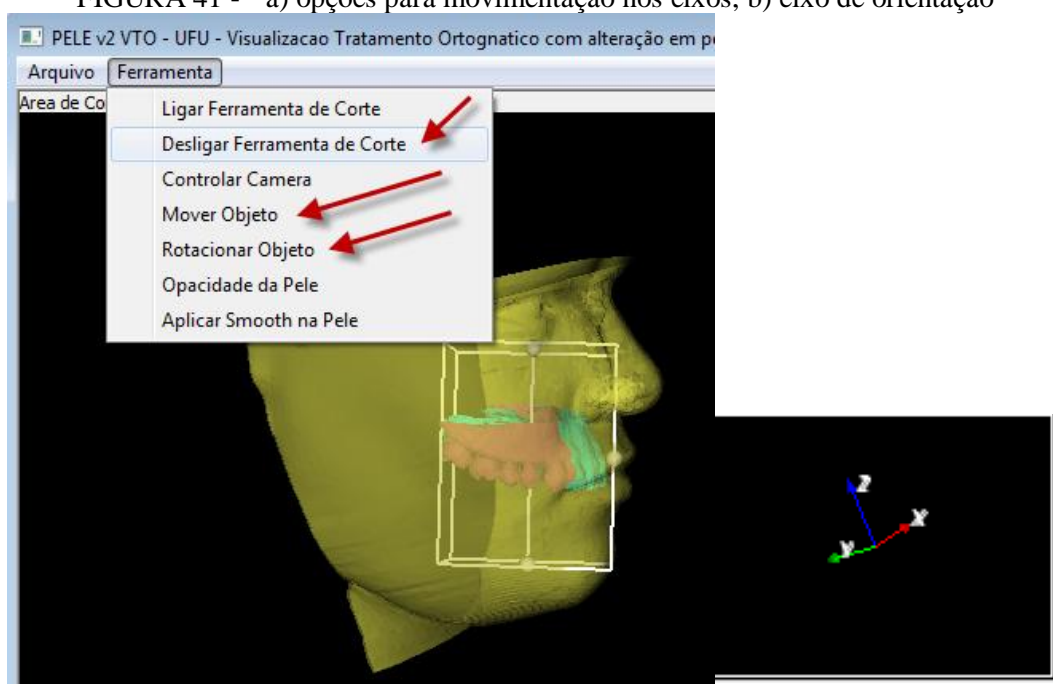
TABELA 6 - Descrição de Caso de Uso Realizar Movimentar e Rotacionar Partes Ósseas

Caso de Uso	Realizar Movimentar e Rotacionar Partes Ósseas
Ator	Cirurgião
Pré-Requisito	Execução do caso de uso Realizar Corte Ósseo
Fluxo de Sucesso	1. O Cirurgião avalia e analisa qual procedimento será realizado
	2. O Cirurgião solicita movimentar ou rotacionar o osso
	3. O sistema pede que seja escolhido um eixo
	4. O Cirurgião realizar o movimento ou rotação

Fonte: Acervo Próprio

A realização do Caso de Uso a cima, no protótipo pode ser observada pelas Figuras 41a, iniciando pelo desligamento da ferramenta de corte, para que seja possível na sequência optar entre Mover Objeto ou Rotacionar Objeto. O protótipo oferece ainda a barra de escolha do eixo para que as movimentações e rotação ocorra de forma controlada e planejada.

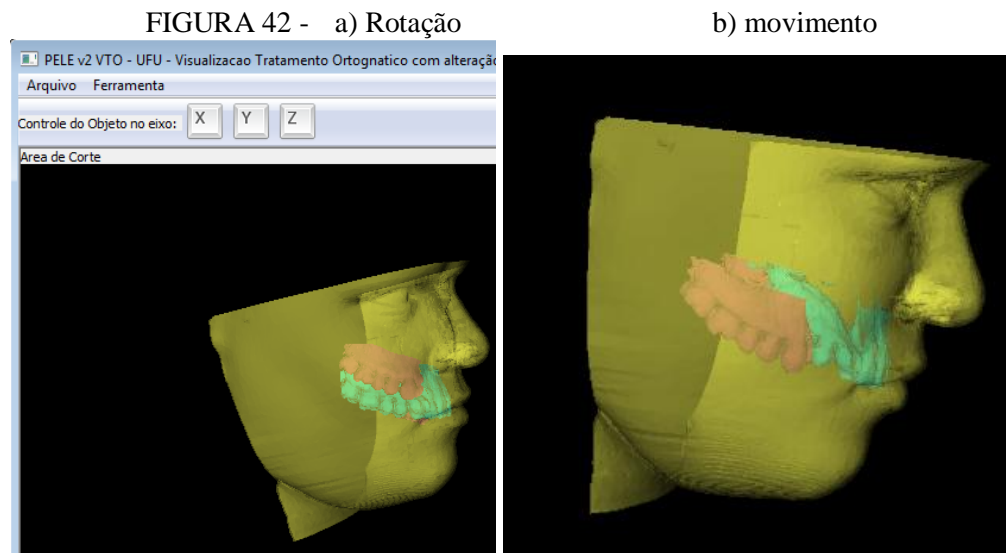
FIGURA 41 - a) opções para movimentação nos eixos, b) eixo de orientação



Fonte: Acervo Próprio

O bom posicionamento da câmera em relação a imagem que será analisada se torna fundamental para que os movimentos realmente ocorram dentro do esperado. Após o reposicionamento da visualização, é relevante a observação dos eixos orientadores localizados no canto inferior direito da aplicação, em destaque na Figura 41b.

A Figuras 42 a e b, respectivamente, estão exemplificando a função de rotação e de movimentação de uma das imagens, podendo ser alterada qualquer uma sem sequência definida.

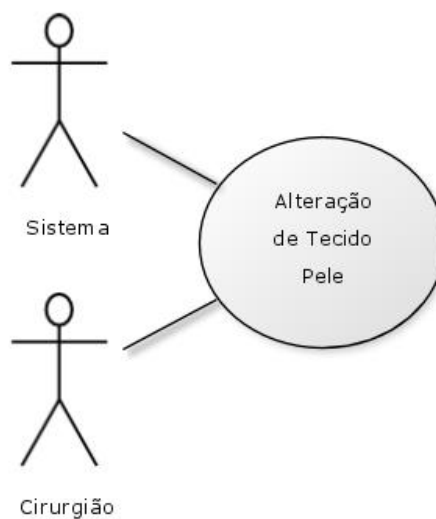


Fonte: Acervo Próprio

#### 4.7.5 Caso de Uso – Alteração de Tecido (Pele)

O caso de uso Alteração de Tecido (Pele) é fundamental para o estudo dessa dissertação, Figura 43.

FIGURA 43 - Diagrama de Caso de Uso Alteração de Tecido (Pele)



Fonte: Acervo Próprio

Após a alteração nas partes ósseas, durante a cirurgia, o sistema busca projetar como

essas alterações interferem na pele do paciente.

Segue a Tabela 7 a descrição do caso de uso Alteração de Tecido (Pele).

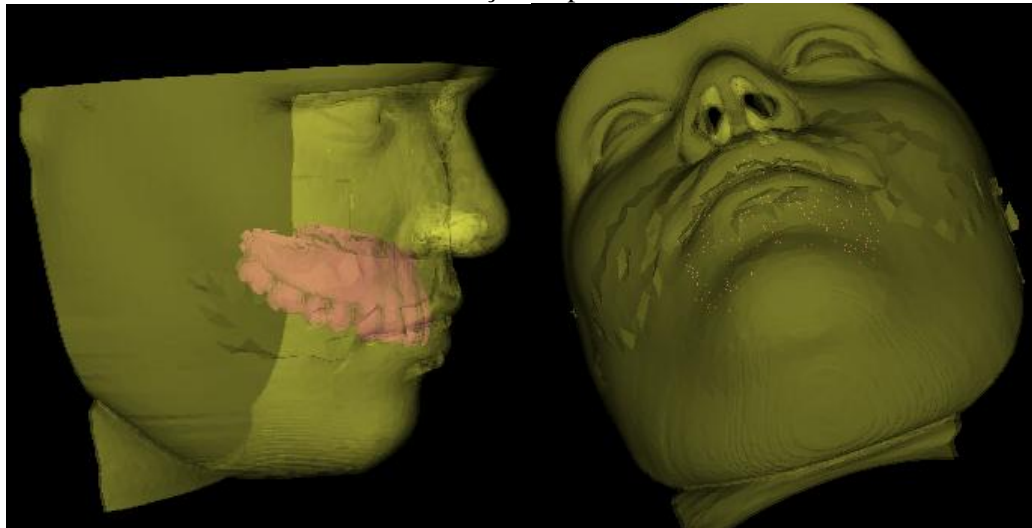
TABELA 7 - Descrição de Caso de Uso Alteração de Tecido (Pele)

Caso de Uso	Realizar Alteração de Tecido (Pele)
Ator	Sistema, Cirurgião
Pré-Requisito	Execução dos casos de uso Movimentar e Rotacionar Partes Ósseas
Fluxo de Sucesso	1. O sistema avalia se houve alteração em alguma parte óssea
	2. O sistema calcula qual parte da pele devera sofrer alteração por estar ligada a parte óssea
	3. O sistema aplica alterações na pele
	4. O Cirurgião suaviza os contornos da pele
	5. O Cirurgião avalia as alterações

Fonte: Acervo Próprio

A realização deste Caso de Uso no protótipo pode ser observada pela Figura 44 com a movimentação da pele mediante a movimentação do tecido duro em proporção direta

FIGURA 44 - Movimentação da pele mediante tecido duro.



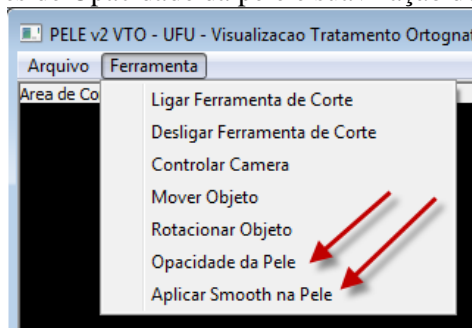
Fonte: Acervo Próprio

A Figura 44 ilustra o primeiro momento em que ocorre o avanço da maxila com a imagem da pele em opacidade. É possível detectar as alterações que foram provocadas pelo movimento. No entanto, ao utilizar a ferramenta de Opacidade e tornar a cor da pele sólida, ou seja colocar em 1, os detalhes do movimento sobressaem significativamente. Apesar de ser um movimento diretamente proporcional, ainda sim é um momento de análise relevante.



A Figura 45 exibe exatamente as opções que auxiliam na melhora da visualização da movimentação causada pela imagem que representa o tecido duro em relação a pele.

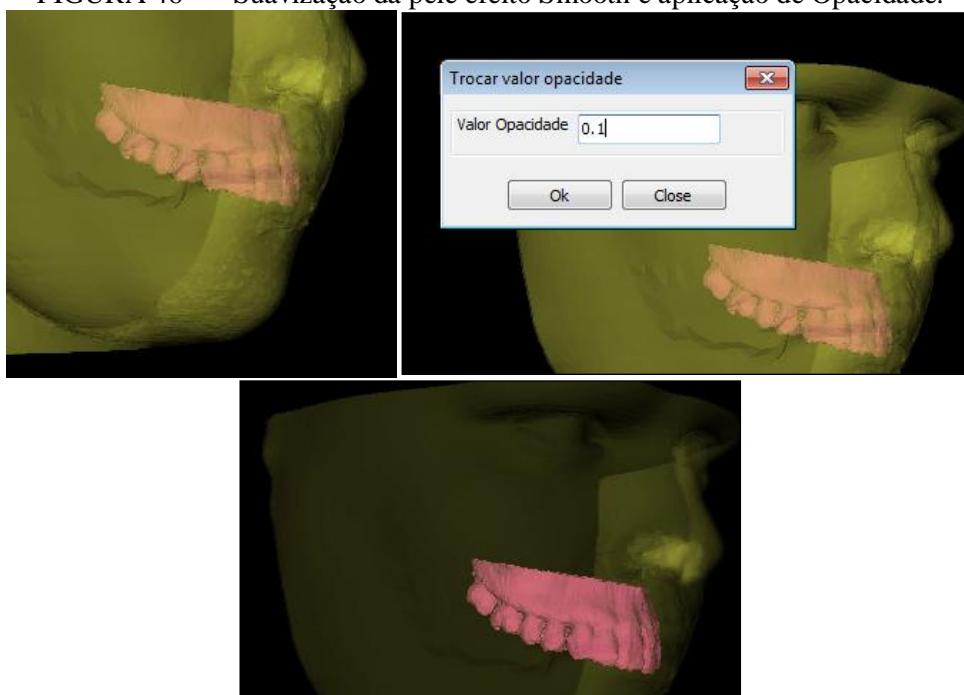
FIGURA 45 - Opções de Opacidade da pele e suavização dos polígonos (Smooth).



Fonte: Acervo Próprio

Na Figura 46 é exemplificado a funcionalidade para melhora da imagem com a utilização do efeito *Smooth*, que gera uma suavização nos contornos dos polígonos que possuem distorções exageradas.

FIGURA 46 - Suavização da pele efeito Smooth e aplicação de Opacidade.



Fonte: Acervo Próprio

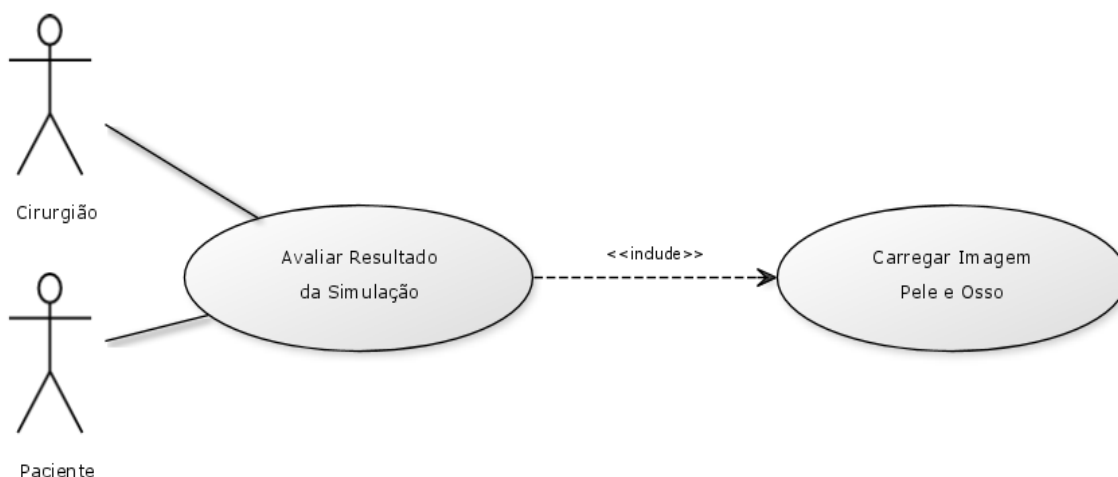
É possível aplicar o grau de opacidade na pele que pode variar de 0 totalmente translúcida até 1 que representa a cor sólida na pele, permitindo uma melhor visualização do resultado da movimentação.

Este Caso de Uso pode ser considerado a função de maior importância para a demonstração do que ocorrerá na face do paciente, de forma que ele venha a entender, mais claramente, o procedimento que estará sendo submetido.

#### 4.7.6 Caso de Uso – Avaliar Resultado da Simulação

O Caso de Uso Avaliar Resultado da Simulação envolve primariamente o Cirurgião e o Paciente. Aqui, os dois atores são responsáveis por avaliar o resultado da simulação da cirurgia, através do resultado dos movimentos ósseos e alterações na pele. Por meio do Caso de Uso Avaliar Resultado da Simulação o cirurgião tem a oportunidade de explicar e exemplificar o procedimento ao qual o paciente irá se submeter, e a projeção do resultado, Figura 47.

FIGURA 47 - Diagrama de Caso de Uso Avaliar Resultado da Simulação



Fonte: Acervo Próprio

Segue a Tabela 8 a descrição do caso de uso Avaliar Resultado.

TABELA 8 - Descrição Caso de Uso Avaliar Resultado da Simulação

Caso de Uso	Avaliar Resultado da Simulação
Ator	Cirurgião, Paciente
Pré-Requisito	Alteração de Tecido (Pele)
Fluxo de Sucesso	1. O especialista carrega na área de trabalho todas as partes de interesse para a sua avaliação, inclusive partes que não sofreram quebra, como por exemplo a caixa craniana.
	2. O sistema apresenta as imagens na área de trabalho
	3. O especialista solicita o desativação da ferramenta de corte
	4. O sistema desabilita a ferramenta de corte

	5. O especialista e o paciente interagem com o sistema rotacionando a câmera
	6. O especialista explica e avalia o resultado da simulação virtual com o paciente como uma forma de comunicação do procedimento

Fonte: Acervo Próprio

Nesse capítulo, o autor detalhou a arquitetura do sistema com base nos requisitos funcionais do mesmo, onde os diagramas de sequência e casos de uso foram apresentados, bem como as telas do protótipo apresentando uma interação real entre o usuário e o protótipo desenvolvido pelo autor.

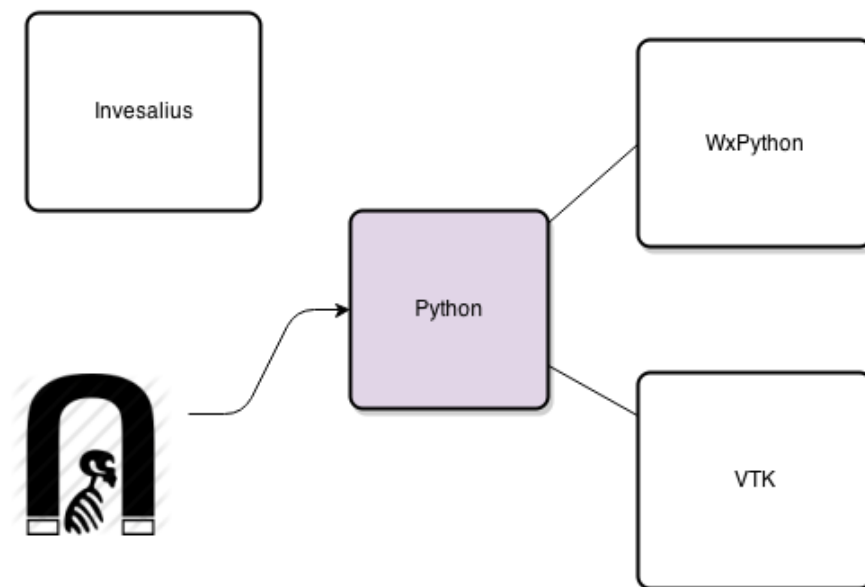
No próximo capítulo, serão conhecidos detalhes de implementação do sistema.

## CAPÍTULO 5

### 5 DETALHES DE IMPLEMENTAÇÃO

Este capítulo tem o objetivo de detalhar as tecnologias usadas no desenvolvimento do protótipo, bem como explicar algoritmos e técnicas de programação utilizadas pelo mesmo. Importante destacar também o foco dado no desenvolvimento utilizando projetos de código livre.

FIGURA 48 - Tecnologias utilizadas.



Fonte: Acervo Próprio

O protótipo envolveu em seu núcleo funcional os softwares Python, WxPython, VTK e InVesalius<sup>TM</sup> conforme Figura 48.

#### 5.1 InVesalius<sup>TM</sup>

Já citado anteriormente nos capítulos 2 e 3. O InVesalius<sup>TM</sup> se torna muito eficiente através do sistema *Map* com a utilização da memória RAM, que permite que somente os dados da matriz com as três dimensões das imagens convertidas estejam na memória. Havendo a necessidade em se trabalhar um novo conjunto de dados dos quais estejam carregados na memória naquele momento, novos dados são carregados do disco. Essa

estratégia permite trabalhar com arquivos de imagens médicas grandes, com muitas fatias, sem que toda a imagem esteja na memória. (AMORIM et al, 2011).

É possível visualizar uma imagem tomográfica navegando por cada fatia nas orientações axial, sagital e coronal, isso devido à implementação de uma matriz de três dimensões, conforme exibido na Figura 49, além da construção 3D através das fatias 2D (BARTOLO et al, 2008).

FIGURA 49 - Quadros de visualização no InVesalius



Fonte: Acervo Próprio

O *InVesalius*<sup>TM</sup> também permite a remoção de ruídos gerado na captação de um imagem tomográfica como pode ser observado nas Figuras 50A e 50B.

FIGURA 50 - A) Imagem com ruído



B) Imagem com ruído removido



Fonte: Manual do InVesalius

Na aplicação desenvolvida, é fundamental a utilização das funcionalidades disponíveis no *InVesalius*<sup>TM</sup>, como já mostradas no Capítulos 2, a partir da eliminação de ruídos,

separação de partes através da edição de imagens e a conversão dos arquivos no formato DICOM para o formato STL.

Python é uma linguagem de rápida aprendizagem, com uma sintaxe simples, que pode ser usada para construir sistemas grandes em um período curto de tempo. Segundo Paulo Jorge 2008, Python não seria a escolha natural para uma linguagem que envolvesse processamento de imagens (BARTOLO, 2008).

Para o desenvolvimento do protótipo desta dissertação, optou-se pelo Python a partir da observação do desenvolvimento do *InVesalius<sup>TM</sup>* e o uso da biblioteca VTK (Visualization Toolkit) tal motor de processamento, o wxPython como gerenciador de janelas, assim como outras bibliotecas para cálculos matemáticos, notoriamente o NumPy. Essa decisão também foi estratégica devido ao estreito contato com o time de desenvolvimento do mesmo, além de que a proposta é complementar às funcionalidades enfatizadas pelos especialistas entrevistados por MORAIS (2013).

Na sequência, serão apresentados os detalhes das tecnologias utilizadas focando a movimentação da pele.

## 5.2 Python

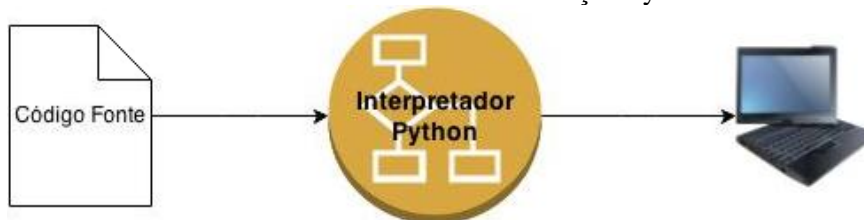
Python foi concebido no final dos anos 80, e sua primeira implementação foi iniciada em 1989 por Guido Van Rossum como uma linguagem sucessora para a linguagem de programação ABC. Sendo assim, Guido Van Rossum é o considerado o principal autor de Python (VENNERS,2003).

A evolução do Python chegou com a versão 2.0, a qual foi lançada Outubro de 2000, com muitos dos principais novos recursos, incluindo um coletor de lixo completo e suporte para o padrão UNICODE. Com a lançamento da versão 3.0, no final de 2008, muitas novas características foram incorporadas, porem naquele momento, o Python não oferecia compatibilidade com versões anteriores. Esse cenário mudou logo após quando as principais novidades da versão 3.0 (a mais recente) foram levadas para versões anteriores, especificamente as versões 2.6 e 2.7, muito disseminadas e populares até hoje.

O Python tem crescido muito, e isso tem ocorrido principalmente pela facilidade no seu aprendizado, e o seu grande poder na manipulação de estrutura de dados. É uma linguagem de natureza interpretada, o que a torna ideal para scripts e desenvolvimento rápido de aplicações (KINSER,2009).

O Python é considerada uma linguagem interpretada e de alto nível (Figura 51), pois programas escritos em Python são executados por um interpretador. Existem duas maneiras de usar o interpretador, são eles o modo interativo e o modo *script*. No desenvolvimento desse trabalho, como será abordado nesse capítulo, fez-se o uso constante do modo script.

FIGURA 51 - Processo de execução Python



Fonte: Acervo Próprio

A orientação a objetos é um dos modelos de programação suportados pelo Python, que oferece também suporte ao tradicional modelo procedural (KINSER,2009).

Algumas das principais características que simplificam a escrita de programas em Python são:

- Tipos de dados de alto nível, como por exemplo, listas de extensíveis
- Declaração agrupamento é feito por tabulação ao invés de chaves.
- Declaração da variável ou argumento não é necessário
- Oferece suporte para, estilo de programação procedural e funcional orientada a objeto

Na Figura 52, é apresentado uma tela onde o Python está sendo usado em modo interativo para exibir o resultado de uma operação matemática no console de saída.

FIGURA 52 - Operação de raiz quadrada em Python.

```

C:\>python
Python 2.6.6 (r266:84297, Aug 24 2010, 18:46:32) [MSC v.1500 32 bit (Intel)] on win32
Type "help", "copyright", "credits" or "license" for more information.
>>> import math
>>> raiz = math.sqrt(25)
>>> print "A raiz quadrada de 25 é " + str(raiz)
A raiz quadrada de 25 é 5.0
>>>
  
```

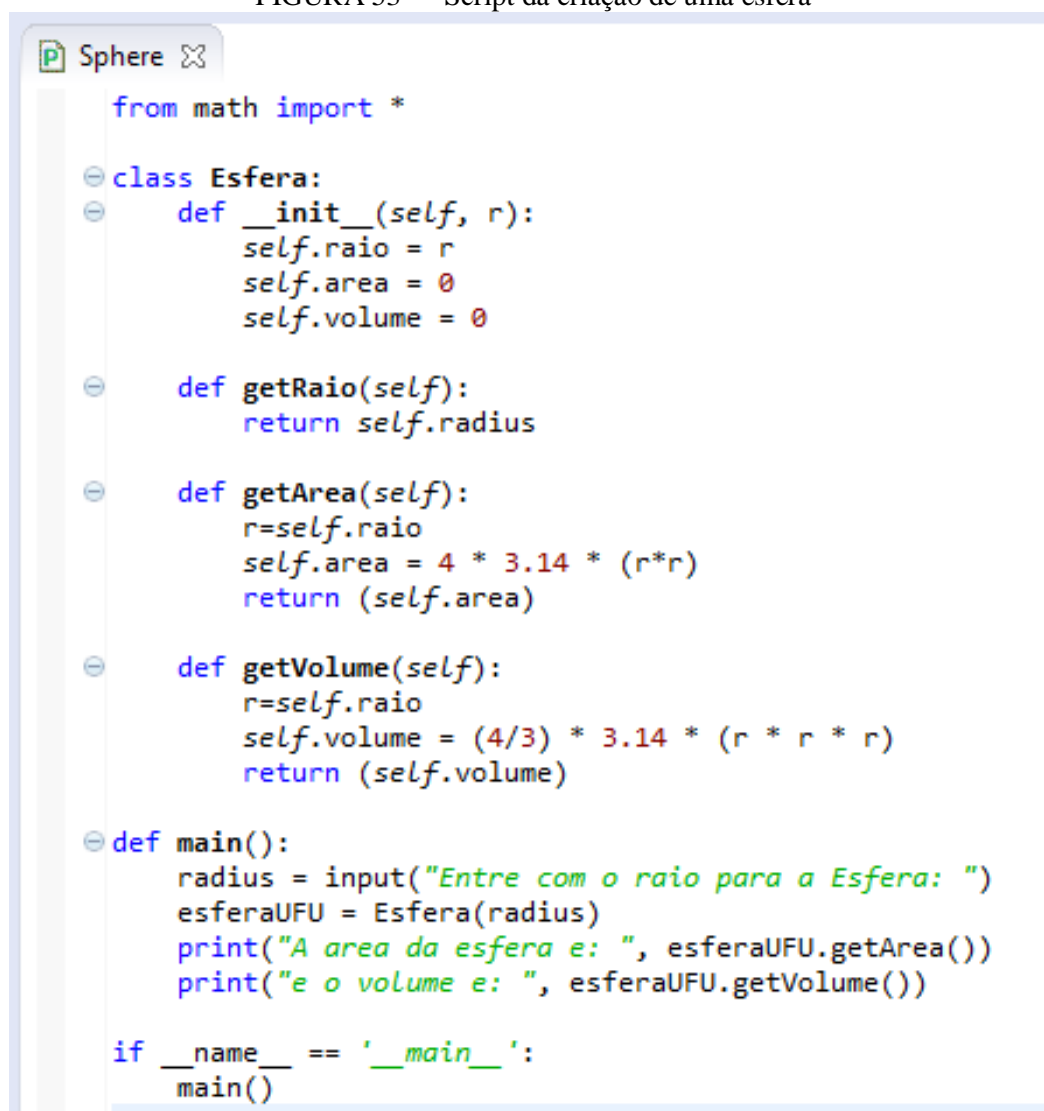
Fonte: Acervo Próprio

No exemplo a seguir, o autor apresenta um código Python para a definição de uma

classe chamada Esfera. Essa classe possui atributos e métodos, entre eles métodos para calcular área e volume. Isso demonstra entre outros fatores, que mesmo o Python tendo uma API extensa, ainda é possível aumentá-la através do desenvolvimento de tipos criados pelo programador, como a classe Esfera usada nesse exemplo.

Segundo (MELO, 2002), uma classe é a representação de um conjunto de objetos que compartilham a mesma estrutura de atributos, operações e relacionamentos dentro de um mesmo contexto.

FIGURA 53 - Script da criação de uma esfera



```

Sphere
from math import *

class Esfera:
    def __init__(self, r):
        self.raio = r
        self.area = 0
        self.volume = 0

    def getRaio(self):
        return self.radius

    def getArea(self):
        r=self.raio
        self.area = 4 * 3.14 * (r*r)
        return (self.area)

    def getVolume(self):
        r=self.raio
        self.volume = (4/3) * 3.14 * (r * r * r)
        return (self.volume)

def main():
    radius = input("Entre com o raio para a Esfera: ")
    esferaUFU = Esfera(radius)
    print("A area da esfera e: ", esferaUFU.getArea())
    print("e o volume e: ", esferaUFU.getVolume())

if __name__ == '__main__':
    main()

```

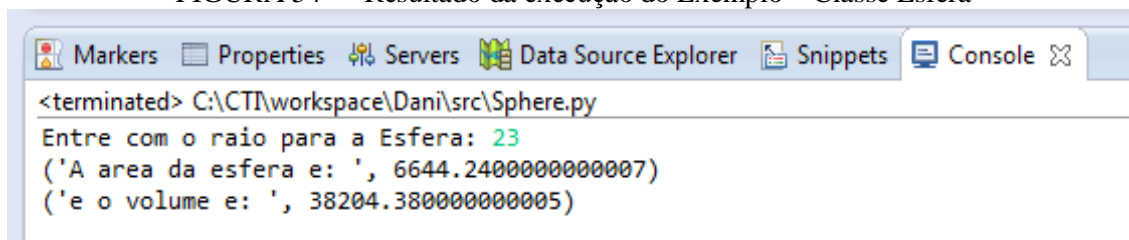
Fonte: Acervo Próprio

No código apresentado na Figura 53, pode-se observar a criação da classe Esfera e na definição do método *main*, uma instancia dessa classe é criada com o nome de esferaUFU.



Executando o código da classe Esfera obtêm o resultado exibido na Figura 54.

FIGURA 54 - Resultado da execução do Exemplo – Classe Esfera



```
<terminated> C:\CTI\workspace\Dani\src\Sphere.py
Entre com o raio para a Esfera: 23
('A area da esfera e: ', 6644.2400000000007)
('e o volume e: ', 38204.380000000005)
```

Fonte: Acervo Próprio

O Python é suportado e está disponível atualmente para as plataformas Windows, OSx e Linux. Um dos fatores de decisão pela adoção do Python além dos recursos destacados até aqui foi devido ao fato do mesmo ser utilizado no desenvolvimento do *InVesaliu*<sup>TM</sup>, onde espera-se que no futuro o código fonte desse protótipo possa ser aproveitado.

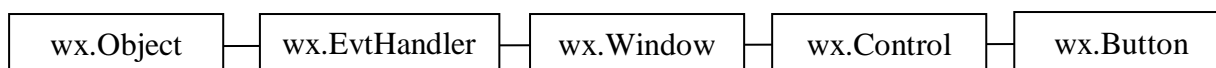
O WxPython, abordado na próxima seção também teve influencia do *InVesaliu*<sup>TM</sup> para a adoção no desenvolvimento do protótipo, uma vez que poderia ter sido usado como alternativo tanto o PyQt ou o PyGTK.

### 5.3 wxPython

O WxPython é um toolkit multi-plataforma para a criação de aplicações GUI desktop. Utilizando o wxPython, pode-se criar programas wxPython para as plataformas Mac, Windows e Unix (e suas variações). De forma simples, o wxPython é um *wrapper* em torno de wxWidgets (componentes visuais).

O WxPython é dividido em 5 grandes módulos, são eles: Windows, GDI, Core, Misc e Controls, conforme Figura 55.

FIGURA 55 - Hierarquia de Classes wxPython



Fonte: Acervo próprio

Windows: Esse modulo possui classes que representam janelas como Pannel, Dialogos, *Frame*, e Janela (*Window*) (SCHROEDER, ET AL, 2006).

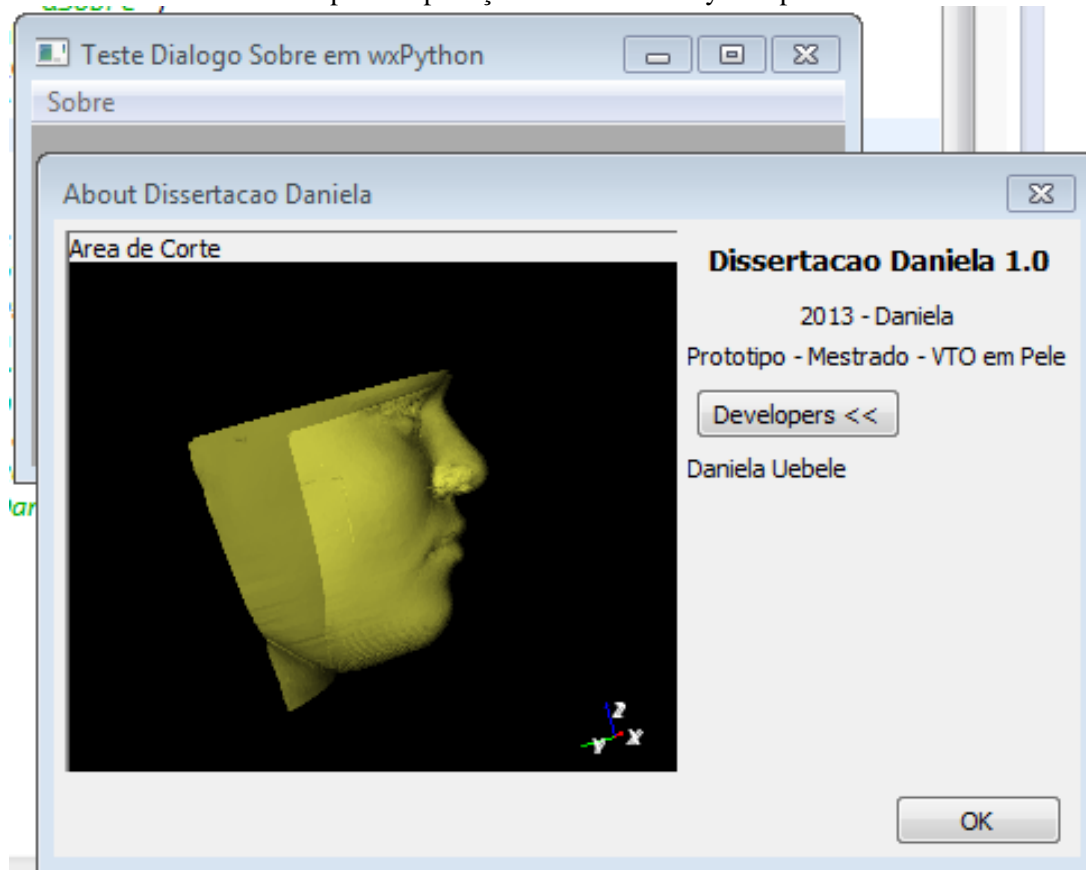
GDI (Graphics Device Interface): É um conjunto de classes usadas para desenhar sobre os componentes visuais. O módulo GDI contém classes para manipulação de fontes, cores, pincéis, canetas ou imagens.

Core: É formado por classes básicas usadas durante o desenvolvimento, entre elas a classe Object, considerada a classe base para todas as outras.

Misc: Contém classes diversas. Essas classes são usadas para registro, configuração do aplicativo, as configurações do sistema, trabalhando com exibição na tela e controles como *joysticks*.

Controls: Esse módulo traz os componentes visuais mais comuns encontrados em aplicações gráficas, como botões e barras de ferramentas, etc.

FIGURA 56 - Exemplo de aplicação utilizando wxPython para uma caixa Sobre



Fonte: Acervo Próprio

Conforme apresentado pela Figura 56 acima, o autor criou uma caixa de diálogo do tipo Sobre utilizando elementos visuais do wxPython. O código fonte utilizado é apresentado na Figura 57.

FIGURA 57 - Código dos *componentes* visuais

```

import wx

class Sobre(wx.Frame):
    def __init__(self, *args, **kwargs):
        super(Sobre, self).__init__(*args, **kwargs)
        self.inicializaGUI()

    def inicializaGUI(self):
        menubar = wx.MenuBar()
        help = wx.Menu()
        help.Append(100, '&Sobre')
        self.Bind(wx.EVT_MENU, self.DialogoSobre, id=100)
        menubar.Append(help, '&Sobre')
        self.SetMenuBar(menubar)
        self.SetSize((300, 200))
        self.SetTitle('Teste Dialogo Sobre em wxPython')
        self.Centre()
        self.Show(True)

    def DialogoSobre(self, e):
        description = "Prototipo - Mestrado - VTO em Pele"
        info = wx.AboutDialogInfo()
        info.SetIcon(wx.Icon('prototipo.png', wx.BITMAP_TYPE_PNG))
        info.SetName('Dissertacao Daniela')
        info.SetVersion('1.0')
        info.SetDescription(description)
        info.SetCopyright('2013 - Daniela')
        info.AddDeveloper('Daniela Uebele')
        wx.AboutBox(info)

def main():
    sobre = wx.App()
    Sobre(None)
    sobre.MainLoop()

if __name__ == '__main__':
    main()

```

Fonte: Acervo próprio

No código apresentado, o wxPython foi o principal responsável pelos componentes visuais, incluindo a própria janela, representada aqui pela classe Sobre.

## 5.4 VTK

VTK é uma biblioteca open-source e portátil em diferentes plataformas como Windows e Unix. Foram construídas com o paradigma de orientação a objetos, criando classes para softwares de computação gráfica 3D, visualização e processamento de imagens. Foi implementado em C++, mas o VTK também suporta TCL, Python e linguagem Java,

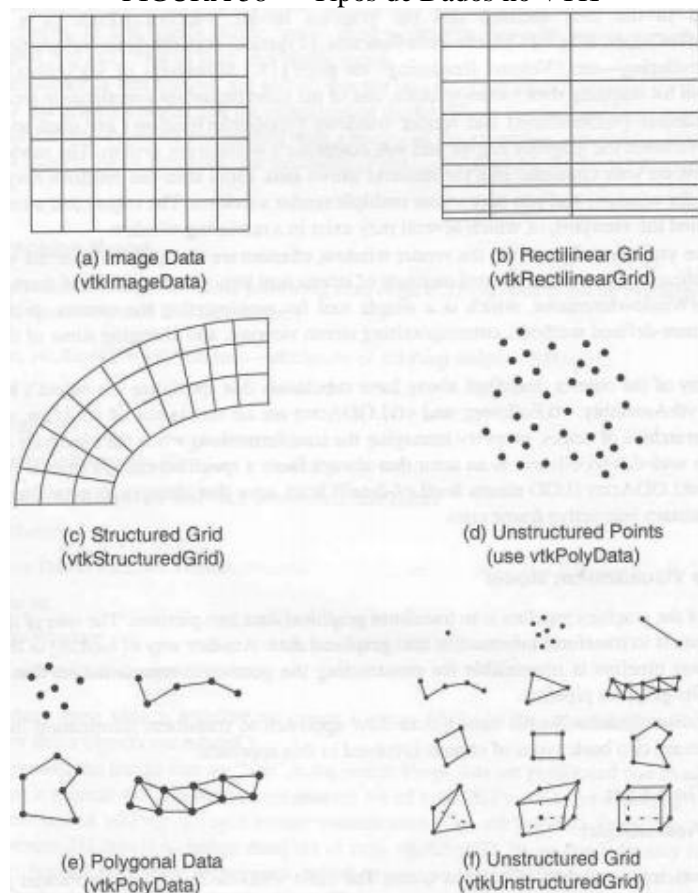
permitindo que aplicações complexas e prototipagem rápida (RP) sejam criadas com certa simplicidade.

VTK possui uma variedade de representações de tipos de dados, os quais incluem dados poligonais, imagens, volumes e grades não estruturadas. A biblioteca VTK inclui os conhecidos modelos de pipeline, contendo classes leitoras, escritoras para facilitar a troca de dados com outras aplicações (SCHROEDER, ET AL, 2006).

Centenas de filtros de processamento de dados estão disponíveis para operar com estes dados. O renderizador do VTK suporta processamento em 2D, poligonais e texturas, os quais podem ser usados de forma combinada.

Como citado anteriormente, o VTK suporta diferentes tipos de dados. A Figura 58 exhibe esses tipos de dados e sua representação gráfica para facilitar a compreensão.

FIGURA 58 - Tipos de Dados no VTK

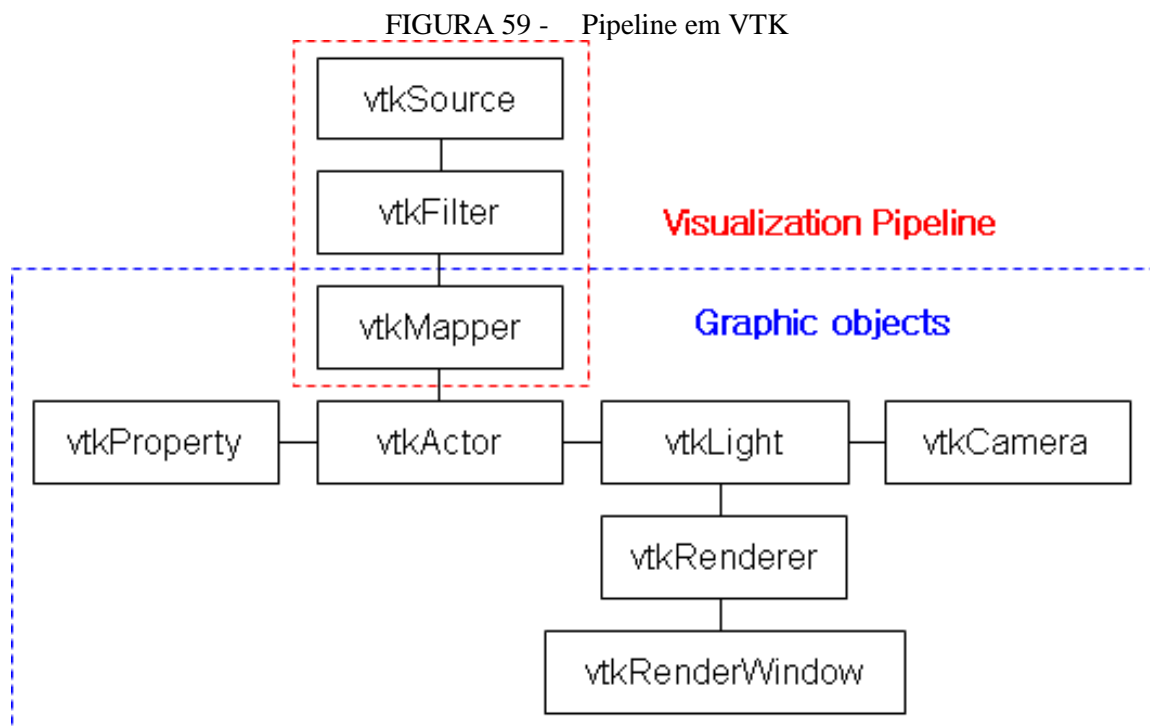


Fonte: Schroeder, et al (2006).

Segundo MORAIS (2013), o ponto chave para entender o VTK é a compreensão da sua estrutura de classes dentro da metodologia da orientação a objetos, e a sua arquitetura de *pipeline*, similar a existente em outros *frameworks* ou sistemas operacionais como o Linux,

onde múltiplos elementos são sequencialmente agrupados (ou encadeados) em busca de um resultado de uma tarefa maior e mais complexo.

A Figura 59 apresenta uma arquitetura de Pipeline compreendendo diversos objetos presentes na biblioteca do VTK (SCHROEDER, ET AL, 2006).



Fonte: <http://tcltk.co.kr/files/pipe.gif>, 2010.

Observado o diagrama da Figura 59, destacam-se as principais classes do VTK que compõem um fluxo de pipeline básico de acordo com a documentação oficial da biblioteca.

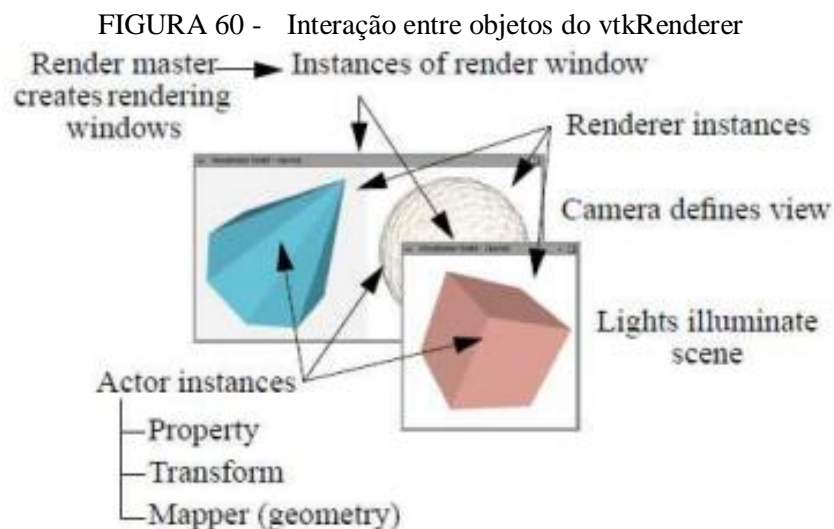
*vtkSource*: É uma classe abstrato que especifica o comportamento e a interface de objetos que representam a fonte dos dados, por exemplo, um arquivo de imagem no disco. São objetos dessa classe que iniciam um pipeline de visualização. Os objetos dessa classe também podem ser usados para gerar dados de saída, nesse caso, o *vtkSource* é usado como uma superclasse para *vtkFilter*.

*vtkFilter*: São classes do VTK que aplicam alguma modificação sobre o conjunto de dados oriundos do componente anterior na cadeia. A classe *vtkFilter* é uma classe abstrata que especifica a interface para filtros de dados. Cada filtro deve ter um método *Update* e *Execute*, que fará com que o filtro seja executado se houver alterações no dados representados pelo *vtkSource*.

*vtkMapper*: Uma classe abstrata para especificar a interface entre os dados e as primitivas gráficas. As subclasses de *vtkMapper* mapeiam dados através de uma tabela (*LookupTable*) e controlam a criação de primitivas de renderização que fazem interface com a camada da biblioteca gráfica. Esse mapeamento pode ser controlada através do fornecimento de uma tabela de referência e a especificação de um intervalo de escalar para mapear os dados.

*vtkActor*: É usado para representar uma entidade em uma cena de renderização. Ele herda as funções relacionadas com a posição de atores, e orientação de *vtkProp*. O agente também tem escala e mantém uma referência para a definição de geometria (ou seja, o mapeador), propriedades de processamento, e possivelmente, um mapa de textura. A classe *vtkActor* combina estes atributos do objeto em uma matriz de transformação 4x4 da seguinte forma:  $[x \ y \ z \ 1] = [x \ y \ z \ 1] \text{ Translate}(-\text{origin}) \text{ Scale}(\text{scale}) \text{ Rot}(y) \text{ Rot}(x) \text{ Rot}(z) \text{ Trans}(\text{origin}) \text{ Trans}(\text{position})$ .

*Render*: A classe *vtkRenderer* fornece uma especificação abstrata para suas subclasses, ou seja, outros renderizadores, Figura 60.



Fonte: (SCHROEDER, ET AL, 2006)

O *vtkRenderer* é a classe que controla o processo de renderização para objetos na cena, considerando sua geometria, propriedades de iluminação e da câmera. Essa classe também realiza a conversão entre as coordenadas do mundo (usada no ambiente computacional) e as coordenadas de exibição (usadas na tela do dispositivo em que a imagem é exibida). Além disso, alguns outros recursos podem ser aplicados, tais como controle total da iluminação em todas as faces do objeto (SCHROEDER, ET AL, 2006).

O código apresentado na Figura 61 traz um exemplo escrito em Python usando a biblioteca VTK. Nesse exemplo, uma glifo é criado por meio do uso da classe `vtkProgrammableGlyphFilter`, além da manipulação explícita de pontos do elemento gráfico.

FIGURA 61 - Código Exemplo para o Glifo

```
import vtk

# Python example translated directly from Tcl test
# [vtk_source]/Graphics/Testing/Tcl/progGlyphs.tcl

res = 6
plane = vtk.vtkPlaneSource()
plane.SetResolution(res, res)
colors = vtk.vtkElevationFilter()
colors.SetInputConnection(plane.GetOutputPort())
colors.SetLowPoint(-0.25, -0.25, -0.25)
colors.SetHighPoint(0.25, 0.25, 0.25)
planeMapper = vtk.vtkPolyDataMapper()
planeMapper.SetInput(colors.GetPolyDataOutput())
planeActor = vtk.vtkActor()
planeActor.SetMapper(planeMapper)
planeActor.GetProperty().SetRepresentationToWireframe()

# procedure for generating glyphs
def Glyph():
    ptId = glypher.GetPointId()
    pd = glypher.GetPointData()
    xyz = glypher.GetPoint()
    x = xyz[0]
    y = xyz[1]
    length = glypher.GetInput(0).GetLength()
    scale = length / (2.0*res)

    squad.SetScale(scale, scale, scale)
    squad.SetCenter(xyz)
    squad.SetPhiRoundness(abs(x)*5.0)
    squad.SetThetaRoundness(abs(y)*5.0)

# create simple poly data so we can apply glyph
squad = vtk.vtkSuperquadricSource()

glypher = vtk.vtkProgrammableGlyphFilter()
glypher.SetInputConnection(colors.GetOutputPort())
glypher.SetSource(squad.GetOutput())
glypher.SetGlyphMethod(Glyph)
glyphMapper = vtk.vtkPolyDataMapper()
glyphMapper.SetInputConnection(glypher.GetOutputPort())
glyphActor = vtk.vtkActor()
glyphActor.SetMapper(glyphMapper)

# Create the rendering stuff
ren1 = vtk.vtkRenderer()
renWin = vtk.vtkRenderWindow()
renWin.SetMultiSamples(0)
renWin.AddRenderer(ren1)
iren = vtk.vtkRenderWindowInteractor()
```

```

iren.SetRenderWindow(renWin)
ren1.AddActor(planeActor)
ren1.AddActor(glyphActor)
ren1.SetBackground(0, 0, 0)
renWin.SetSize(450, 450)
renWin.Render()

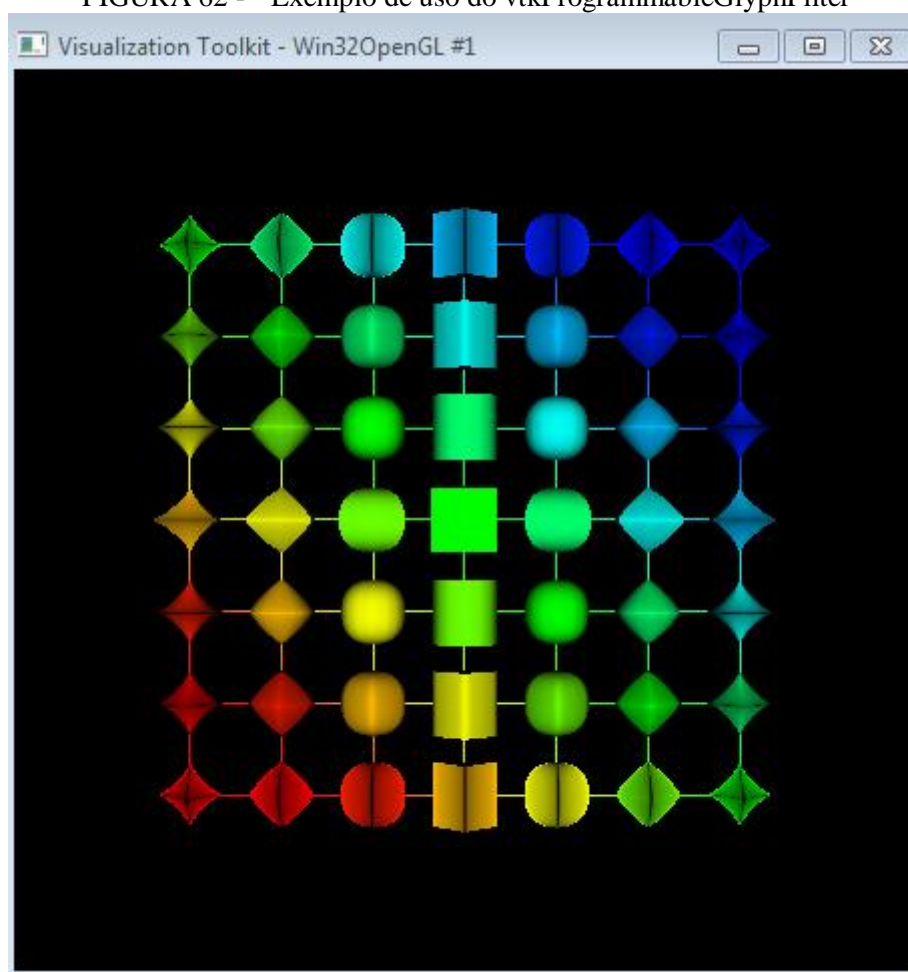
iren.Start()

```

Fonte: VTK - <http://www.vtk.org/Wiki/VTK/Examples/Python/Visualization/ProgGlyph>

O código apresentado pela Figura 61 produz a imagem apresentada na Figura 62.

FIGURA 62 - Exemplo de uso do vtkProgrammableGlyphFilter



Fonte: Acervo próprio

Observa-se na código da Figura 62 a estrutura de pipeline apresentada anteriormente sendo utilizada por meio dos objetos plane (Source – vtkPlaneSource), planeMapper (Mapper – vtkPolyDataMapper), planeActor (Actor – vtkActor), glyph (Filter – vtkProgrammableGlyphFilter) e ren1 (Render – vtkRenderer).



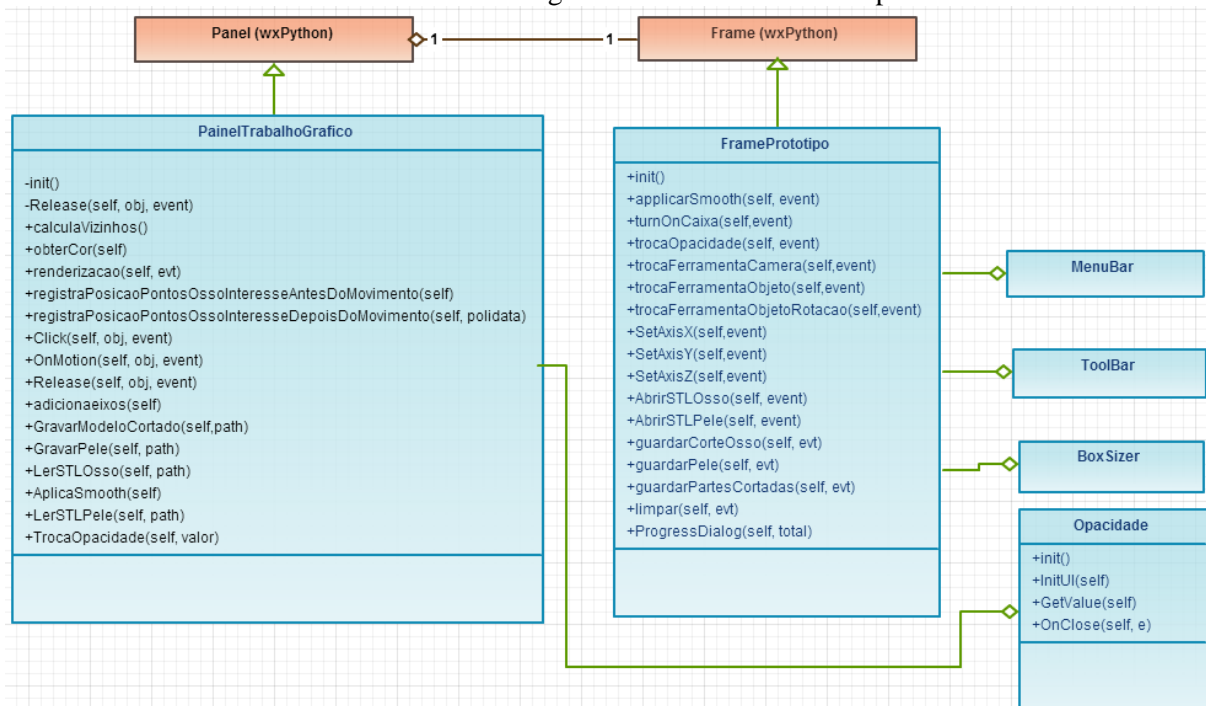
## 5.5 Detalhes da implementação do sistema proposto

Na próxima seção, será detalhado o código fonte utilizado para construção do protótipo para os fins de pesquisa dessa dissertação. Como esperado pelo andamento desse capítulo, as tecnologias apresentadas até aqui como o VTK, Python e wxPython foram combinadas para atender os requisitos identificados no capítulo anterior e detalhados em conjunto com a arquitetura.

### 5.5.1 Classes do Protótipo

Fazendo uso do paradigma do modelo orientado a objetos do Python, foram criadas 3 classes principais durante o desenvolvimento do protótipo conforme o diagrama de classes na Figura 63. Essas três classes serão detalhadas na sequência. São elas: PainelTrabalhoGrafico, FramePrototipo e Opacidade.

FIGURA 63 - Diagrama de Classes do Protótipo



Fonte: Acervo Próprio

O início da execução do protótipo acontece por meio da execução do método main, presente na classe FramePrototipo. Pode-se observar também a chamada do método Mainloop

no objeto app, essa é uma instancia de uma abstração da aplicação no wxPython, conforme exibido na Figura 64.

FIGURA 64 - Início da Execução

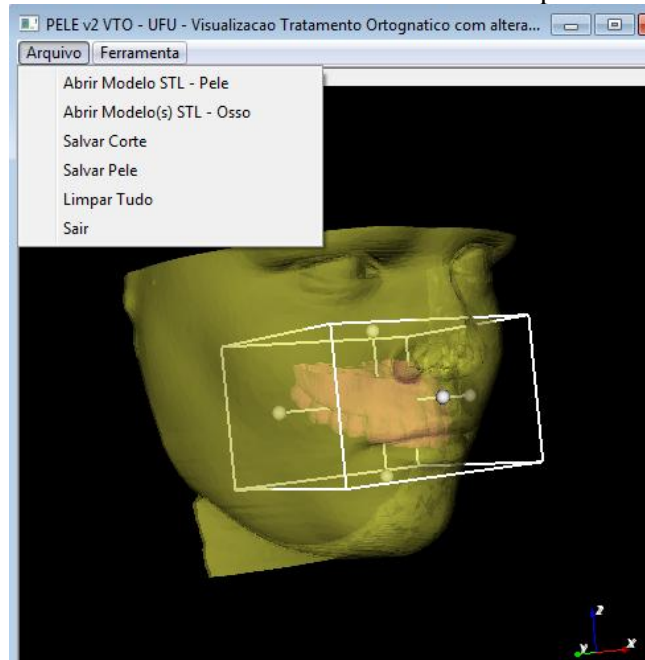
```
if __name__ == '__main__':
    app = wx.App(0)
    FramePrototipo(None, -1, 'Pele v2 - Prototipo VTO em Pele - UFU -
    Visualizacao Tratamento Ortognatico')
    app.MainLoop()
```

Fonte: Acervo Próprio

### 5.5.2 GUI (Graphical User Interface)

Como citado anteriormente, o núcleo da interface gráfica com o usuário e o protótipo usado para gerenciar a interação, bem como oferecer uma área de desenho gráfico para exibição e tratamento das imagens médicas, utilizou-se a biblioteca wxPython.

FIGURA 65 - Tela da ferramenta de corte com componentes gráficos.



Fonte: Acervo Próprio

Na Figura 65, são exibidos alguns desses componentes visuais, iniciando pelo Canvas (área de desenho) e um menu do FramePrototipo.

### 5.5.3 Classe FramePrototipo

Por suportar o modelo de desenvolvimento orientado a objetos, o Python permitiu que a classe FramePrototipo fosse uma subclasse de wx.Frame do wxPython, dessa forma a subclasse FramePrototipo, por meio da herança possui os mesmos atributos e métodos de sua superclasse, nessa caso wx.Frame.

O código apresentado na Figura 66 exibe a definição da classe FramePrototipo e seu vínculo de herança.

FIGURA 66 - Código da classe FramePrototipo

```
class FramePrototipo(wx.Frame):  
    def __init__(self, parent, id, title):  
        wx.Frame.__init__(self, parent, id, title, size=(1300, 700))
```

Fonte: Acervo Próprio

Dentro da biblioteca wxPython, a super classe wx.Frame fornece a estrutura básica de uma janela, pois a mesma já é uma subclasse de Window, a qual por sua vez possui diversos métodos e atributos para o gerenciamento do ciclo de vida de uma janela no ambiente gráfico.

### 5.5.4 Componentes Gráficos da Janela

Esta seção apresenta alguns componentes gráficos, conhecidos também por Widgets, usados para comparar a Frame principal do protótipo, nesse caso o FramePrototipo.

Alguns desses componentes visuais são:

- a) Menu - O menu integrado FramePrototipo é um instancia da classe wx.Menu().

O método Append da classe wx.Menu() é utilizado para acrescentar elementos no menu e sua respectiva descrição textual.

No código da Figura 67, está sendo construído um menu suspenso.

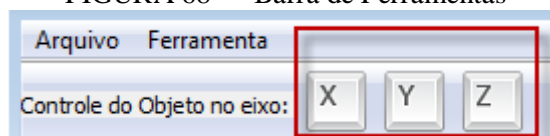
FIGURA 67 - Criação do menu na FramePrototipo

```
MenuBar=wx.MenuBar()
menu=wx.Menu()
AbrirModeloPele=menu.Append(-1, "&Abrir Modelo STL - Pele")
AbrirModeloOsso=menu.Append(-1, "&Abrir Modelo(s) STL - Osso")
salvarOsso=menu.Append(-1, "&Salvar Corte")
salvarPele = menu.Append(-1, "&Salvar Pele")
limparCanvas=menu.Append(-1, "&Limpar Tudo")
sair=menu.Append(-1, "&Sair")
MenuBar.Append(menu, "Arquivo")
```

Fonte: Acervo Próprio

- b) ToolBar – Como um Menu, o toolbar (barra de ferramentas) permite que o usuário faça seleção por meio de botões em uma barra de ferramentas, Figura 68.

FIGURA 68 - Barra de Ferramentas



Fonte: Acervo próprio

O código apresentado na Figura 69 detalha o código para que essa barra de ferramentas seja criada.

FIGURA 69 - ToolBar

```
self.toolbar1 = wx.ToolBar(self, id=-1, style=wx.TB_HORIZONTAL |
wx.NO_BORDER | wx.TB_FLAT | wx.TB_TEXT)
texto = wx.StaticText(self.toolbar1, -1, 'Controle do Objeto no eixo:
', (1, 1))
self.toolbar1.AddControl(texto)
self.toolbar1.AddSimpleTool(808, wx.Image('x.png',
wx.BITMAP_TYPE_PNG).ConvertToBitmap(), 'Eixo X', '')
self.toolbar1.AddSimpleTool(809, wx.Image('y.png',
wx.BITMAP_TYPE_PNG).ConvertToBitmap(), 'Eixo Y', '')
self.toolbar1.AddSimpleTool(810, wx.Image('z.png',
wx.BITMAP_TYPE_PNG).ConvertToBitmap(), 'Eixo Z', '')
```

Fonte: Acervo Próprio

Utilizou-se a classe wx.ToolBar para criar e definir o componente visual da barra de ferramentas, com alguns atributos como orientação e tipo de borda. Observando o código,

após a criação do objeto `wx.ToolBar`, são agregados os botões a essa barra de ferramentas por meio de chamadas consecutivas ao método `AddSimpleTool` do objeto `toolbar1`.

- c) *Event Handler* ou Manipuladores de Eventos – Para que o protótipo possa definir o comportamento para cada escolha de menu ou toolbar que o usuário realize se faz necessário vincular métodos para ações do usuário nesses componentes visuais. Esse objetivo é alcançado por meio da chamada do método `Bind` da classe `wx.Frame`, onde esses vínculos entre evento e comportamento são criados na Figura 70.

FIGURA 70 - Event Handlers

```
self.Bind(wx.EVT_MENU, self.turnOnCaixa, ligarcaixa)
self.Bind(wx.EVT_MENU, self.turnOffCaixa, desligarcaixa)
self.Bind(wx.EVT_MENU, self.trocaFerramentaCamera, ferramentaCamera)
self.Bind(wx.EVT_MENU, self.trocaFerramentaObjeto, ferramentaObjeto)
self.Bind(wx.EVT_MENU, self.trocaFerramentaObjetoRot, ferramentaObjetoRot)
self.Bind(wx.EVT_MENU, self.trocaOpacidade, troca_opacidade)
self.Bind(wx.EVT_MENU, self.aplicarSmooth, smooth)
```

Fonte: Acervo Próprio

### 5.5.5 Métodos Manipuladores de Eventos

Aqui são listados alguns dos principais métodos manipuladores dos eventos da classe `FramePrototipo`, que atuam em resposta a ações de comportamento do usuário

- a) `AbrirSTLOsso` e `AbrirSTLPele` – Métodos que permitem ao usuário selecionar um ou mais arquivos no formato STL que serão carregados na área de desenho. Utiliza-se para essa tarefa a classe `wx.FileDialog`, classe essa responsável por apresentar uma caixa de dialogo padrão do sistema operacional, permitindo que o usuário selecione um ou mais arquivos no formato STL disponíveis no sistema de arquivos, exibido na Figura 71.

FIGURA 71 - Selecionar e abrir arquivos STL

```
def AbrirSTLPele(self, event):
    dlg_abrir=wx.FileDialog(self, message="Selecione o arquivo (Pele)",
                           defaultDir=self.currentDirectory,
                           defaultFile="",
                           wildcard=wildcard,
```

```

        style=wx.OPEN | wx.MULTIPLE | wx.CHANGE_DIR
    )
    if dlg_abrir.ShowModal()==wx.ID_OK:
        paths=dlg_abrir.GetPaths()
        for arquivo in paths:
            self.PainelCorte.LerSTLPele(arquivo)
    dlg_abrir.Destroy()

```

Fonte: Acervo Próprio

- b) GuardarPele – Similarmente ao manipulador de evento detalhado na seção anterior, o método GuardarPele exibido na Figura 72, apresenta a caixa de diálogo que permite ao usuário gravar um novo arquivo referentes a camada de pele que recebeu alterações.

FIGURA 72 - Manipulador de evento responsável por salvar pele e osso modificados

```

def guardarPele(self, evt):
    dlg = wx.FileDialog(
        self, message="Salvar Pele - Save file as ...",
        defaultDir=self.currentDirectory,
        defaultFile="", wildcard=wildcard, style=wx.SAVE
    )

    if dlg.ShowModal() == wx.ID_OK:
        path = dlg.GetPath()
        self.PainelCorte.GravarPele(path)
        self.parte1 = path
    dlg.Destroy()

```

Fonte: Acervo Próprio

O método que efetivamente faz a gravação da camada que representa a pele no sistema de arquivos, é o método GravarPele. O caminho e nome do arquivo definido pelo usuário na caixa de dialogo são passados como parâmetro para esse método para que seja possível escolher o arquivo e o diretório de destino.

- c) Ligar e desligar a ferramenta de corte – A ferramenta de segmentação óssea pode ser removida ou acrescentada na área de desenho pelo usuário. O usuário pode decidir por remover a ferramenta da tela para ter um maior controle e poder de manipulação das partes ósseas na tela, sem a interferência dessa ferramenta, Figura 73.

FIGURA 73 - Manipulador de evento para ligar e desligar a ferramenta de corte

```

def ligarCaixa(self, event):
    self.PainelCorte.BoxWidget.On()

```

```

        self.Bind(wx.EVT_IDLE, self.PainelCorte.Restabelecer(event))
#para funcionar o editor de corte
def desligarCaixa(self, event):
    self.PainelCorte.BoxWidget.Off()
    self.Bind(wx.EVT_IDLE, None) #para funcionar o editor de corte

```

Fonte: Acervo Próprio

Na Figura 73 são apresentados os métodos On() e Off() sobre o objeto BoxWidget, que é a instancia da classe `vtk.vtkBoxWidget2()`, que é o componente visual para realizar segmentação nos ossos.

- d) Outros manipuladores de eventos também foram incluídos no protótipo, entre eles um que permite ao usuário definir o nível de opacidade da camada de pele sobre o osso, Figura 74.

FIGURA 74 - Manipulador de evento para trocar a opacidade

```

def trocaOpacidade(self, event):
    opac = TrocaOpacidade(None)
    opac.ShowModal()
    self.PainelCorte.TrocaOpacidade(opac.GetValue())
    opac.Destroy()

```

Fonte: Acervo próprio

### 5.5.6 Classe PainelTrabalhoGrafico

A classe `PainelTrabalhoGrafico` é responsável por criar a área de trabalho onde o usuário irá interagir com os ossos e observar as alterações na camada de pele. As alterações sofridas na pele é um dos maiores objetivos desse estudo, e mais detalhes serão apresentados na sequência do capítulo. A interação com o usuário pode acontecer de diferentes formas, tais como segmentação óssea, controle de opacidade, movimento e rotação óssea e controle da câmera. O código é apresentado na Figura 75

FIGURA 75 - Classe `PainelTrabalhoGrafico`

```

class PainelTrabalhoGrafico(wx.Panel):
    """ Painel onde os cortes são feitos e a pele é movimentada """
    def __init__(self, parent, id, style):
        wx.Panel.__init__(self, parent, id, style=style)

```

```

self.parent = parent
""" Renderer é um objeto que controla o processo de renderização dos objetos. """
self.renderer = vtk.vtkRenderer()
""" Faz a ponte entre o vtk e o wx (gui) com interação mouse/teclado """
self.Interactor = wxVTKRenderWindowInteractor(self,-1, size = self.GetSize())
self.Interactor.GetRenderWindow().AddRenderer(self.renderer)
self.Interactor.Render()
"""Inicia como eixo x para rotação e translação"""
self.currentSelectedAxis = "x"
"""Inicia como controle de câmera"""
istyle = vtk.vtkInteractorStyleTrackballCamera() # mexe a camera
"""Seta o estilo como câmera"""
self.Interactor.SetInteractorStyle(istyle)
"""Plano de corte"""
self.VerPlano= False # inicializar o plano
"""Inicia variável de seleção do ator"""
self.SelectActor=None
hbox=wx.BoxSizer(wx.VERTICAL)
hbox.Add(wx.StaticText(self,-1, 'Area de Corte'))
hbox.Add(self.Interactor,1, wx.EXPAND)
self.SetSizer(hbox)
self.adicionaeixos()
self.Picker=vtk.vtkPropPicker()
pub.subscribe(self.Renderizacao, 'Renderizar')
self.contadorcores = 0
"""Lista de cores para os atores"""
self.cores = [ [0.9, 0.9, 0.3],
               [0.0, 1.0, 1.0],
               [0.8, 0.3, 0.5],
               [0.5, 0.5, 1.0],
               [0.3, 0.3, 0.0],
               [0.9, 0.9, 0.1],
               [0.1, 0.3, 0.5],
               [0.7, 0.5, 0.3],
               [0.7, 0.8, 0.3],
               [0.9, 0.8, 0.5],
               [0.1, 0.3, 0.1],
               [0.7, 0.3, 0.3],
               [0.7, 0.2, 0.5],
               [0.4, 0.4, 0.5],
               [0.3, 0.3, 0.3] ]
"""Inicializa variavel para guardar os vértices vizinhos"""
self.listaVizinhos = {}
"""Inicializa variavel para posição do osso antes de realizar movimentos"""
self.listaPontosOssoAntesMovimento = []
"""Inicializa variavel para posição do osso depois do movimento"""
self.listaPontosOssoDepoisMovimento = []
"""Inicializa variavel para guardar a diferença entre o movimento inicial e final"""
self.listaDeltaPontosAntesDepois = []
"""Inicializa variavel para guardar os polydatas"""
self.polyOsso = None
self.polyPele = None
"""Inicializa variavel para guardar o click do mouse"""
self.pInicial = None
self.pFinal = None

```



Por meio da declaração class **PainelTrabalhoGrafico**(wx.Panel), observa-se que a classe **PainelControleGrafico** é uma subclasse de wx.Panel.

O **PainelTrabalhoGrafico**(wx.Panel) é a principal classe do protótipo, uma vez que o código dessa classe permite que as segmentações ósseas, bem como o resultado dessas movimentações sejam calculados e realizados.

### 5.5.7 Métodos da classe **PainelTrabalhoGrafico**

Sendo o **PainelTrabalhoGrafico** classe responsável por toda interação do usuário com o área de desenho, a biblioteca VTK tem papel de destaque nesse código. Por meio da biblioteca VTK a ferramenta de segmentação óssea é controlada, e as estruturas de polígonos que representam a pele são manipulados e alterados. Em sua essência os métodos da classe **PainelTrabalhoGrafico** estão divididos em três grupos distintos. São eles:

- a) Gerenciamento, leitura, gravação e carregamento dos arquivos STL

GravarPele e LerSTLPele – Uma vez que o arquivo STL foi selecionado através da **FramePrototipo**, a operação é delegada para os métodos **LerSTLOsso** e **LerSTLPele** (Figura 76). Esses métodos é responsável pela criação e inclusão do objeto (ator) na cena (canvas), além da criação e posicionamento inicial da caixa de corte.

FIGURA 76 - Metodos LerSTLPele e GravarPele

```
def LerSTLPele(self, path):
    meshPele= vtk.vtkSTLReader()
    meshPele.SetFileName(path)
    meshPele.Update()
    self.polyPele = meshPele.GetOutput()

    self.mapperPele = vtk.vtkPolyDataMapper()
    self.mapperPele.SetInput(meshPele.GetOutput());

    self.atorPele = vtk.vtkActor()
    self.atorPele.SetMapper(self.mapperPele);
    self.atorPele.GetProperty().SetColor(self.obterCor())
    self.atorPele.GetProperty().SetOpacity(0.4)
    self.atorPele.SetPickable(0)

    self.renderer.AddActor(self.atorPele)
    self.renderer.ResetCamera()
    self.Interactor.Render()
    self.VerPlano= True
```

```
def GravarPele(self, path):
    write = vtk.vtkSTLWriter()
    write.SetInput(self.polyPele)
    write.SetFileTypeToBinary()
    write.SetFileName(path)
    write.Write()
    write.Update()
```

Fonte: Acervo próprio

- b) Cálculos alteração da Pele – Como observado no capítulo anterior, o principal objetivo do protótipo é permitir que a camada de pele seja alterada automaticamente pelo software dado qualquer movimento na parte óssea. As alterações na camada de pele são visualmente alcançadas durante a movimentação dos ossos realizadas pelo usuário por meio do mouse, entretanto existe um trabalho de cálculos e preparações para que isso seja possível. Durante o carregamento das camadas na área de desenho, o protótipo realiza uma série de cálculos para identificar quais são os pontos mais próximos entre as duas camadas nesse caso, o osso e a pele, partindo do princípio que existe um limiar mínimo para ajudar na identificação desses pontos próximos. No código esses pontos próximos são chamado de vizinhos. Utilizou um simples calculo por meio do teorema de Pitágoras para calcular a distância entre os pontos das duas camadas, e para os pontos próximo criou-se então uma lista de mapeamento entre eles, fazendo uma relação pontos da camada óssea com a camada de pele.
- c) calculaVizinhos – Método que faz uma varredura entre todos os pontos das partes ósseas confrontando com todos os pontos da pele em busca de encontrar pontos que estejam próximos por meio do critério de uma distancia mínima, conforme código da Figura 77.

FIGURA 77 - Método Calcula Vizinhos para gerar mapeamento entre pele e osso

```
def calculaVizinhos(self, obj):
    """Inicializa o limiar maximo de distancia entre pele e osso"""
    distancia = 1000
    ossoData = obj
    peleData = self.polyPele

    """Distância minima para localizar os pontos"""
    limiar = 100
    np = obj.GetNumberOfPoints()

    """Número de pontos do osso"""
    dlg_cont = int(ossoData.GetNumberOfPoints())
```

```

"""Inicializa o ProgressDialog com valor maximo de 100"""
self.parent.ProgressDialog(100)

"""Seta o contador que sera usado no progressdialog em 0"""
contador = 0

"""Para cada ponto do osso"""
for iOsso in xrange(ossoData.GetNumberOfPoints()):
    """Pega a posição x,y,z do ponto"""
    xOsso,yOsso,zOsso = ossoData.GetPoint(iOsso)

    """Atualiza a barra de progresso"""
    self.parent.UpdateProgress(int(contador*100/dlg_cont))
    contador += 1

    """seta o limiar de distancia"""
    min_distancia = limiar
    """Percorre cada ponto da pele"""
    for iPele in xrange(peleData.GetNumberOfPoints()):
        """Pega o x,y,z da pele"""
        xPele,yPele,zPele = peleData.GetPoint(iPele)
        """Calcula a distância entre o ponto da pele e osso (por pitagoras)"""
        distancia = math.sqrt((xPele-xOsso)**2+(yPele-yOsso)**2+(zPele-zOsso)**2)

        """Verifica se a distancia está dentro do limiar"""
        if distancia <= limiar and distancia < min_distancia:
            """Se sim, adiciona no indice o valor"""
            self.listaVizinhos[(iOsso, np)] = iPele

            """Atualiza o limiar entre pele e osso"""
            min_distancia = distancia

"""Fecha a barra de progresso"""
self.parent.CloseProgress()
print "Acabou - Pode interagir com o programa!!!"

```

Fonte: Acervo próprio

- d) registraPosicaoPontosOssoInteresseDepoisDoMovimento – Após a movimentação da parte óssea, e a consequente alteração da camada de pele, novamente se faz necessário conhecer a nova posição final das partes ósseas para que seja possível realizar novos cálculos e novas movimentações por parte do usuário. Esse método portanto permite que os novos pontos sejam atualizados após uma movimentação. O código é apresentado na Figura 78

FIGURA 78 - Método para atualizar os pontos apos um movimento

```

def registraPosicaoPontosOssoInteresseDepoisDoMovimento(self, polidata):
    self.pFinal = polidata.GetCenter()
    ja_processado = set()
    np = polidata.GetNumberOfPoints()
    for vizinhos, obj in self.listaVizinhos:

```

```

try:
    idponto = self.listaVizinhos[(vizinhos, np)]

    if idponto not in ja_processado:
        """Adiciona o ponto em uma lista de pontos já visitados"""
        ja_processado.add(idponto)

        """Pega o ponto da região que foi clicada na pele"""
        ponto = self.polyPele.GetPoint(idponto)

        """Pega o ponto da região que é vizinha do osso"""
        pontoOsso = self.polyOsso.GetPoint(vizinhos)

        """Realiza o calculo para saber a diferenca entre osso e pele"""
        vMovimento = [pontoOsso[0] - self.pInicial[(vizinhos, np)][0],
        pontoOsso[1] - self.pInicial[(vizinhos, np)][1], pontoOsso[2] -
        self.pInicial[(vizinhos, np)][2]]
        """Seta o novo ponto"""
        novo_ponto = [vMovimento[0] + ponto[0], vMovimento[1] + ponto[1],
        vMovimento[2] + ponto[2]]
        self.polyPele.GetPoints().SetPoint(idponto, novo_ponto[0],
        novo_ponto[1], novo_ponto[2])
    except:
        pass

    self.polyPele.Modified()

```

Fonte: Acervo próprio

- e) Reações a eventos do mouse – O dinamismo do protótipo ocorre por meio da interação do usuário com a área de trabalho ou por seleções em menu e barra de ferramenta, ou principalmente por movimentos na caixa de corte ósseo e nos ossos diretamente. Para tanto foi necessário interceptar eventos realizados pelo mouse, pois um comportamento extra foi incluído em decorrência dessas movimentos, onde o principal objeto dessa dissertação foi é realizar e analisar alterações na camada de pele.

O vínculo entre evento de mouse e código é realizado por meio de observadores, conforme código da Figura 79.

FIGURA 79 - Métodos observadores

```

istyle.AddObserver("LeftButtonPressEvent", self.PainelCorte.Click)
istyle.AddObserver("LeftButtonReleaseEvent", self.PainelCorte.Release)
istyle.AddObserver("MouseMoveEvent", self.PainelCorte.OnMotion)

```

Fonte: Acervo próprio

- f) Click – Reage ao evento de clique no mouse pelo usuário selecionando a parte que sofrerá a ação, Figura 80. Essa seleção acontece através da verificação das coordenadas X e Y onde ocorreram o evento de click. Isso ocorre por meio do objeto Picker. Destaca-se que a camada de pele foi definida de forma a não receber e responder por eventos de click do mouse uma vez que somente a parte óssea pode ser manipulada diretamente pelo usuário. A definição foi feita no método LerSTLPele com o código `self.atorPele.SetPickable(0)`. Uma vez que foi determinado que o *click* foi sobre uma parte óssea, e não somente no *canvas*, o elemento clicado (Ator) é definido como valor para o atributo `SelectActor`. Esse ator selecionado e referenciado pelo `SelectActor` será usado no código para processar o movimento de arrastar e soltar da parte óssea definido no método `OnMotion`

FIGURA 80 - Apresenta o código do método Click

```
def Click(self, obj, event):
    """Trata o clique no objeto"""
    iren =self.Interactor
    ren = self.renderer
    x, y = iren.GetEventPosition()
    actualY = y
    actualX = x
    self.Picker.Pick(actualX , actualY, 0, ren)
    actor=self.Picker.GetActor()
    """Se ocorrer o clique no objeto"""
    if actor is not None:
        """Registra a posição do osso antes do movimento"""
        self.registraPosicaoPontosOssoInteresseAntesDoMovimento()
        """Pega a representação em malha de triang. do objeto que foi clicado"""
        polidata=actor.GetMapper().GetInput()
        """Pega o centro da malha de triang."""
        cx, cy, cz = polidata.GetCenter()
        """Pega as coordenadas do objeto em relação a cena"""
        self.renderer.SetWorldPoint(cx, cy, cz, 0)
        self.renderer.WorldToDisplay()
        dx, dy, dz = self.renderer.GetDisplayPoint() # dz é a profundidade do objeto
        com relação à camera
        self.renderer.SetDisplayPoint(x, y, dz)
        self.renderer.DisplayToWorld()
        """Pega o ponto que foi clicado em relação a cena"""
        w = self.renderer.GetWorldPoint()

        """Grava o ponto temporariamente para realizar a diferença posteriormente
        (na hora do movimento)"""
        self.LastPosition= w
        self.SelectActor=actor
        self.polyOsso = polidata
```

Fonte: Acervo próprio

- g) OnMotion – Método que reage ao comportamento de arrastar e soltar de uma parte da camada óssea para posterior movimentos de translação em seções da camada de pele. O método OnMotion é utilizado também para gerenciar o movimento da câmera, bem como realizar movimentos de rotação em torno de algum eixo previamente selecionado pelo usuário. O autor utilizou nesse método a classe vtkTransform da biblioteca VTK para criar as matrizes de translação e rotação. O código para o método OnMotion é apresentado na Figura 81

FIGURA 81 - Método OnMotion

```
def OnMotion(self, obj, event):

    """Se ocorrer o clique no objeto"""
    if self.SelectActor is not None:
        """Pega a representação em malha de triang. do objeto que foi clicado"""
        polidata=self.SelectActor.GetMapper().GetInput()

        """Pega o x,y em que o mouse está em cima"""
        x, y = self.Interactor.GetEventPosition()
        """Pega o x,y,z que foi guardado no passo anterior"""
        Lx,Ly,Lz= self.LastPosition[0], self.LastPosition[1], self.LastPosition[2]
        """Pega o centro do objeto"""
        cx, cy, cz = polidata.GetCenter()
        self.renderer.SetWorldPoint(cx, cy, cz, 0)
        self.renderer.WorldToDisplay()
        dx, dy, dz = self.renderer.GetDisplayPoint()

        self.renderer.SetDisplayPoint(x, y, dz)
        self.renderer.DisplayToWorld()
        w = self.renderer.GetWorldPoint()

        """STATE 0 = Mover câmera
        STATE 1 = Mover o objeto
        STATE 2 = Rotacionar objeto
        """
        if self.parent.STATE == 1:

            """vtkTransform é responsável por criar as matrizes
            de translação"""
            transform = vtk.vtkTransform()
            if self.currentSelectedAxis == "x":
                transform.Translate(w[0]-Lx,0,0)
            if self.currentSelectedAxis == "y":
                transform.Translate(0,w[1]-Ly,0)
            if self.currentSelectedAxis == "z":
                transform.Translate(0,0,w[2]-Lz)

            """Aplica a matriz de translação na malha"""
            transformFilter=vtk.vtkTransformPolyDataFilter()
            transformFilter.SetTransform(transform)
            transformFilter.SetInput(polidata)
            transformFilter.Update()

            self.SelectActor.GetMapper().SetInput(transformFilter.GetOutput())
```

```

self.polyOsso = transformFilter.GetOutput()
self.LastPosition=w

elif(self.parent.STATE == 2):
    fator_rot = (Lx - w[0]) + (Ly - w[1])

    """vtkTransform é responsável por criar as matrizes de rotação"""
    transform = vtk.vtkTransform()

    """PostMultiply é para fazer a operação somente depois
    que a matriz estiver montada"""
    transform.PostMultiply()

    """Para poder rotacionar em relação ao centro do objeto,
    translada ao centro negativo"""
    transform.Translate(-cx, -cy, -cz)

    """Rotaciona a matriz"""
    if self.currentSelectedAxis == "x":
        transform.RotateX(fator_rot)
    if self.currentSelectedAxis == "y":
        transform.RotateY(fator_rot)
    if self.currentSelectedAxis == "z":
        transform.RotateZ(fator_rot)

    """Aplica novamente a translação, mas dessa vez ao centro
    positivo"""
    transform.Translate(+cx, +cy, +cz)

    """Agora é aplicado a transformação na malha"""
    transformFilter=vtk.vtkTransformPolyDataFilter()
    transformFilter.SetTransform(transform)
    transformFilter.SetInput(polidata)
    transformFilter.Update()

    self.SelectActor.GetMapper().SetInput(transformFilter.GetOutput())
    self.polyOsso = transformFilter.GetOutput()

self.SelectActor.Modified()
pub.sendMessage('Renderizar')

```

Fonte: Acervo próprio

Percebe-se nesse método o uso da estrutura de pipeline da biblioteca VTK, onde é possível observar o encadeamento das classes `vtkTransform` e `vtkTransformPolyDataFilter`.

- h) Release – Esse método é executado no instante em que o usuário termina um evento de arrastar e soltar do mouse. É um gatilho para recalcular a nova posição do osso e movimentar a pele caso seja aplicável nesse momento. A Figura 82 exhibe o código, onde percebe-se a chamada para o método `registraPosicaoPontosOssoInteresseDepoisDoMovimento` explicado anteriormente.

FIGURA 82 - Método Release

```
def Release(self, obj, event):  
    if self.SelectActor is not None:  
        polidata=self.SelectActor.GetMapper().GetInput()  
        self.registraPosicaoPontosOssoInteresseDepoisDoMovimento(polidata)  
        self.SelectActor= None
```

Fonte: Acervo próprio

No capítulo seguinte serão explorados os resultados e limitações conhecidos através de uma pesquisas com cirurgões buco maxilo facial com base em suas experiências de uso com o protótipo apresentado pelo autor.



## CAPÍTULO 6

### 6 RESULTADOS E LIMITAÇÕES

O protótipo foi apresentado para 10 especialistas da área de cirurgia buco maxilo facial, todos da região da Baixada Santista - Santos e São Vicente - SP, destes, 5 já haviam sido entrevistados e testado o aplicativo desenvolvido por MORAIS (2013) que atendia exclusivamente a corticotomia óssea. É importante destacar que todos os entrevistados por MORAIS citaram a importância da existência da movimentação da pele no VTO. Com uma média de 14,1 anos de experiência, 8 foram entrevistados em Hospitais públicos: Pronto Socorro Municipal de São Vicente da prefeitura de São Vicente e no Hospital Guilherme Álvaro do Governo do estado de São Paulo e 2 em consultórios próprios, onde todos atuam em Hospitais diversos particulares e públicos. As entrevistas e experimentações, ocorreram no período de Dezembro de 2013 a Janeiro de 2014.

Para os 5 profissionais que já conheciam a pesquisa por meio de MORAIS (2013) apenas foi exposto a funcionalidade de rotação das partes ósseas já cortadas previamente e a movimentação refletindo na imagem da pele, além da Opacidade e o efeito Smooth. Para os 5 novos entrevistados, foi explicada a proposta e feito a demonstração de todos o processo, iniciando pela corticotomia óssea, a gravação das imagens, a rotação e a movimentação do tecido duro refletindo o movimento em proporção na imagem da pele, a Opacidade aplicada a pele e o efeito Smooth.

Após o processo de demonstração, o especialista foi convidado a manusear o protótipo simulando de forma livre e arbitrária. Após a exposição e a resolução de dúvidas sobre manuseio e discussão do procedimento o especialista foi convidado a responder um questionário (Apêndice B).

O dialogo durante as entrevistas e explanação da pesquisa foram proveitosas no sentido de melhorar a compreensão de ambos os universos técnicos envolvidos e uma melhor compreensão referente aos questionamentos documentados.

Na sequência, são apresentados os resultados desses questionários através de gráficos e conclusões da autora mediante não só ao que está documentado pelos especialistas, mas também levando em conta as explicações e justificativas verbais feita por alguns dos entrevistados.

## 6.1 Procedimentos

Dentro do campo de cirurgia buco maxilo facial existem inúmeros procedimentos que podem ser executado pelos profissionais. Segundo o gráfico da Figura 83, os especialistas entendem que os procedimentos diretamente ligados a cirurgia ortognática: avanço de mento, redução de retrognatismo mandibular ou maxilar, redução do prognatismo mandibular ou maxilar, impactação e disjunção da maxila foram unanimemente considerados por todos os entrevistados como atendidos pelo protótipo, que já havia sido comprovado por MORAIS, 2013, com o aprimoramento da angulação (rotação) e o movimento da pele mediante a movimentação do tecido duro, mesmo que na proporção direta, aproximando do VTO esperado pelos profissionais, atendendo de forma mais completa e satisfatórias as expectativas.

FIGURA 83 - Procedimentos possíveis de simulação através do sistema



Fonte: Acervo Próprio

No entanto, nesta pesquisa houve um aumento da aceitação do protótipo para procedimentos Le Fort I, II e III, aumentando de 3 para 7 especialistas em uma comparação com pesquisas anteriores (MORAIS, 2013).

Dentre os 10 entrevistados pelo autor, 3 desses especialistas consideram não haver aplicação desses procedimentos, pois acreditam não ser necessário uma simulação, uma vez

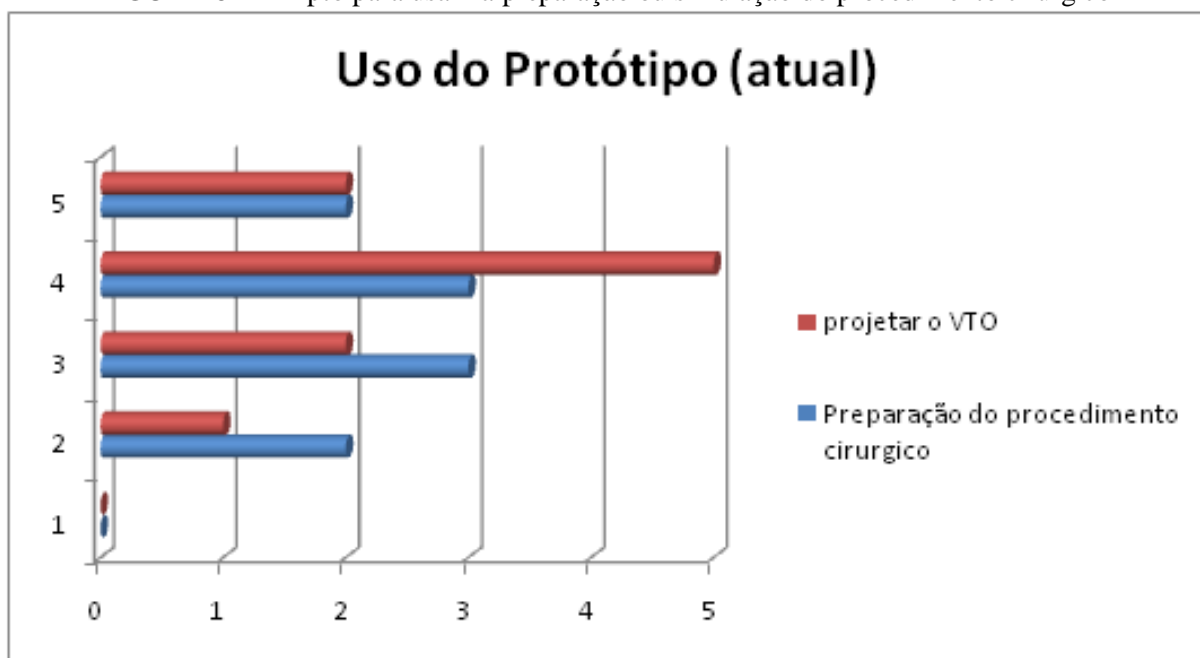
que esse tipo de procedimento pode ser realizado sem a mesma, segundo esses 3 profissionais, por tratar-se de uma recolocação dos ossos em suas posições de origem.

Apesar de 3 especialistas apontarem que o software pode atender a correção de desvio de septo eles também concordam com os demais que não é um procedimento que cabe aos cirurgiões buco maxilo facial e sim aos otorrinos. Foi também justificado a não utilização do protótipo para o septo, pois consideram que não ocorre movimentação da pele no procedimento de reposicionamento do septo.

### 6.1.2 Procedimento Cirúrgico e VTO

O objetivo do questionamento referente a utilização do protótipo na forma como se encontra desenvolvido até o momento da entrevista, visa quantificar a maturidade em relação a sua aplicação no preparo e simulação para o procedimento cirúrgico. Visa também observar o atendimento das premissas apontadas no início desta dissertação para a Visualização do Tratamento Ortodôntico após o procedimento cirúrgico. Inclusive com a capacidade de visualização da movimentação da pele na percepção dos entrevistados.

FIGURA 84 - Apto para usar na preparação ou simulação do procedimento cirúrgico



Fonte: Acervo Próprio

Observando a Figura 84, o gráfico deixa claro que metade dos entrevistados considera que o VTO é satisfatório na forma como se encontra, 2 deles consideram muito satisfatório e

outros 2 o classificam como intermediário, sendo que apenas 1 considera um nível acima de insatisfatório, alegando que o protótipo não possui a textura da pele, requisito esse não identificado como parte desta pesquisa.

Já no que se refere ao preparo do procedimento observa-se um equilíbrio nas opiniões dos especialistas entrevistados onde dois deles classificam como muito satisfatório, atendendo as necessidades mínimas para a simulação do procedimento cirúrgico.

Considerando a inexistência do insatisfatório, entende-se que ainda é necessário o aperfeiçoamento da ferramenta no que se diz respeito a desempenho computacional e inserção de mais funcionalidades, muitas destas já existentes no software *InVesalius*<sup>TM</sup>. Em dialogo realizado com 3 especialistas, foi identificada a possibilidade de uma visualização antes e depois da simulação, com imagens lado a lado ou com a sobreposição de imagens. Conhecendo-se a ausência de tal funcionalidade, o software em seu atual estágio de desenvolvimento é capaz de alcançar resultados próximos por meio da função de carregamento de imagens e controle de opacidade já existente.

Por meio da entrevista, a alegação do Dr. Fued Samir Salmen, experiente especialista com 25 anos de experiência e mais de 3800 cirurgias ortognaticas realizadas, aponta que o uso de textura em softwares comerciais não trazem uma real fidelidade no mapeamento entre a camada que representa a pele capturada por equipamentos médicos e o textura, essas obtidas por fotos convencionais ou tridimensionais. Tal falta de fidelização, muitas vezes implicam em distorções que podem comprometer a avaliação do especialista.

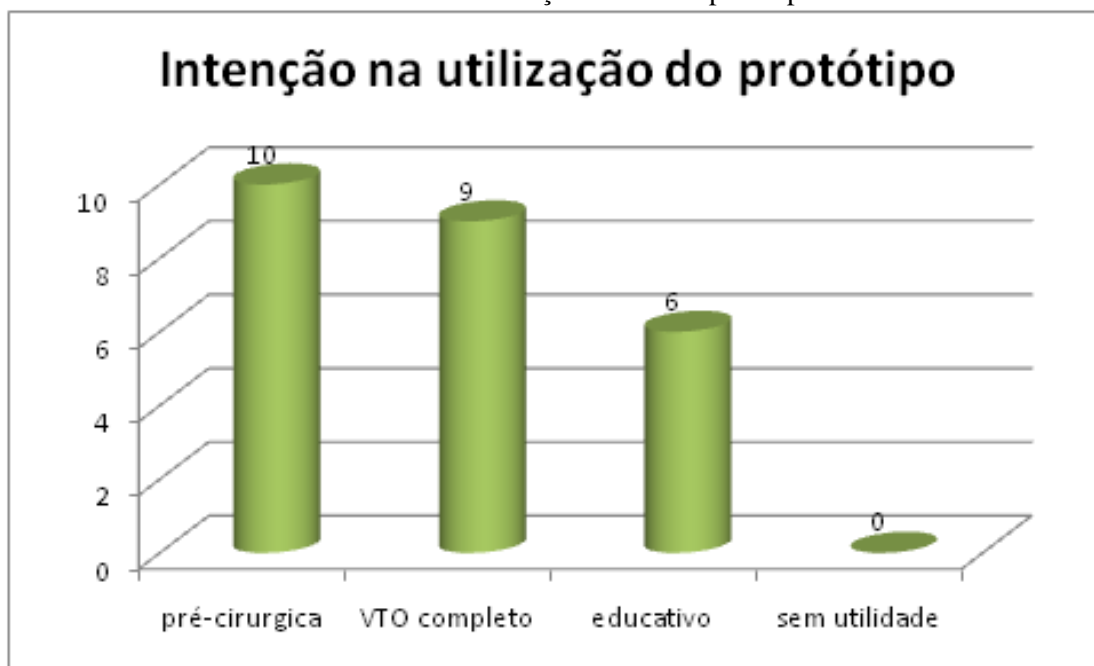
### **6.1.3 Intenção no uso do software**

Todos os entrevistados apontaram alguma utilidade no protótipo, de forma a concordarem que é possível utilizar para o processo pré-cirúrgico e 9 concordam que também é útil para o VTO. A exceção ocorrida no VTO se dá devido à falta de textura sobre a pele e as proporcionalidades citadas no Capítulo 3.

Observou-se ainda que 6 especialistas consideraram o protótipo como útil na área educativa, de forma que o protótipo pode atender diretamente a alunos da área odontológica, médica e profissionais ligados a saúde, como auxiliar os especialistas na explicação do procedimento cirúrgico, passando ao seu cliente maior compreensão, confiança e estimulando o paciente a se submeter ao procedimento. Foi citado pelo Dr Fued a possibilidade de se implantar a construção de guias cirúrgicas.

A Figura 85 exibe os diferentes interesses no uso do sistema desenvolvido.

FIGURA 85 - Intenção de uso do protótipo



Fonte: Acervo Próprio

Como afirmado em capítulos anteriores, o protótipo tem como um dos principais objetivos, o de esclarecer o procedimento cirúrgico ao paciente e exibe os resultados esperados VTO. Os especialistas expressaram-se positivamente quanto à capacidade do software em trazer real benefício de compreensão e aceite para o paciente envolvido.

#### 6.1.4 Valor para o paciente

Nesta questão, todos os especialistas concordam que o protótipo atende o objetivo de auxiliar na explicação do procedimento aos seus pacientes e exibir visualmente os resultados possíveis de serem atingidos (VTO).

Considerando os comentários apontados neste item, é relevante a exposição dos mesmos. As afirmações estão em ordem cronológica:

Dr. Eduardo Fischer Cristofalo - "Tudo que é "visual" enche os olhos dos pacientes".

Dr Rafael Antonio de Campos - "Maior visualização da cirurgia".

Dr Rogélio Fernandes Peres Junior - "As imagens/projeções são de valor inestimável para elucidação e entendimento do procedimento".

Dr. Fernando Regioli - "É interessante mostrar ao paciente uma possível imagem pós cirúrgica".

Dr. Luiz Carlos de Mesquita Cabral - "Facilitando o entendimento do tratamento proposto".

Dr<sup>a</sup>. Marcela Guerra de Oliveira - "Primeiramente na praticidade do planejamento cirúrgico com visão próxima à realidade, também de uso para demonstração ao paciente na provisão de seu tratamento".

Dr. Carlos Alberto Tavares da Silva - "Por poder mostrar as projeções estéticas do paciente, após o ato cirúrgico, porém com cuidado quanto as expectativas".

Dr<sup>a</sup> Patrícia de Fátima Leite Fogaça - "Para que ele possa visualizar como seria o procedimento cirúrgico e o resultado final (perspectiva)".

Dr. Delcio Ildefonso Abreu Branco - "Poderá ser utilizado para simulação da cirurgia a ser realizada e portanto demonstrar ao paciente as particularidades do procedimento".

Dr. Fued Samir Salmen - "Somente na parte estrutural e não para fator".

Em vista dos comentários feitos por cada um dos especialistas, nota-se a grande preocupação de todos em não afirmar, em hipótese nenhuma, que de fato ficará exatamente como a imagem gerada pelo protótipo ou de qualquer outro software que atenda este objetivo, pois o procedimento cirúrgico é inerente de complicações, lembrando que o pós cirúrgico que depende exclusivamente do paciente também poderá causar variações nos resultados esperados.

#### **6.1.5 Relevância da projeção da modificação da pele.**

Conforme já exposto anteriormente, nesta pesquisa os mesmos profissionais entrevistados por Moraes foram procurados, conseguindo se a exposição das funções acrescidas á 5 deles, e para uma avaliação completa outros 5 foram entrevistados com demonstração completa do protótipo. Tanto a corticotomia óssea como as funcionalidades aqui desenvolvidas e já explicadas nos capítulos anteriores, como organizado anteriormente será transcrito a avaliação de 1 a 5 (insatisfatório à satisfatório), como mostra a Figura 86.

Dr. Eduardo Fischer Cristofalo - 4 - "Sim, aproxima mais da realidade os movimentos ósseos".

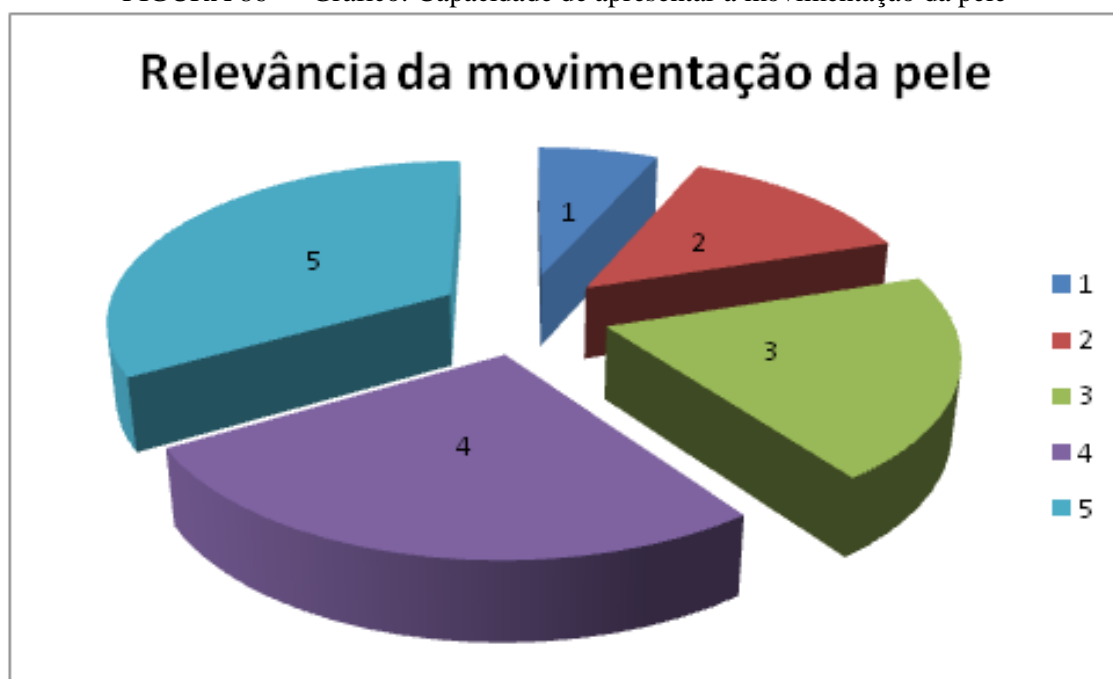
Dr Rafael Antonio de Campos - 3 – sem comentários.

Dr Rogélio Fernandes Peres Junior - 4 "O perfil de tecidos moles se torna importante ferramenta do planejamento/resultado".

Dr. Fernando Regioli - 3 "A projeção só da pele dá uma ideia aproximada, tem referências com tecido moles já estabelecida que podem dar maior precisão ao resultado".

Dr. Luiz Carlos de Mesquita Cabral - 5 "Para demonstração ao paciente a textura "pele" fica mais agradável e real".

FIGURA 86 - Gráfico: Capacidade de apresentar a movimentação da pele



Fonte: acervo próprio

Dr<sup>a</sup>. Marcela Guerra de Oliveira - 5 sem comentários.

Dr. Carlos Alberto Tavares da Silva - 4 "Por poder mostrar as projeções estéticas do paciente, após o ato cirúrgico, porém com cuidado quanto as expectativas".

Dr<sup>a</sup> Patrícia de Fátima Leite Fogaça - 2 sem comentários.

Dr. Delcio Ildefonso Abreu Branco - 5 "Sim, extremamente relevante pois mostra ao paciente modificações não apenas no tecido osso, mas no tecido mole, portanto mostra o mais próximo possível o resultado da cirurgia".

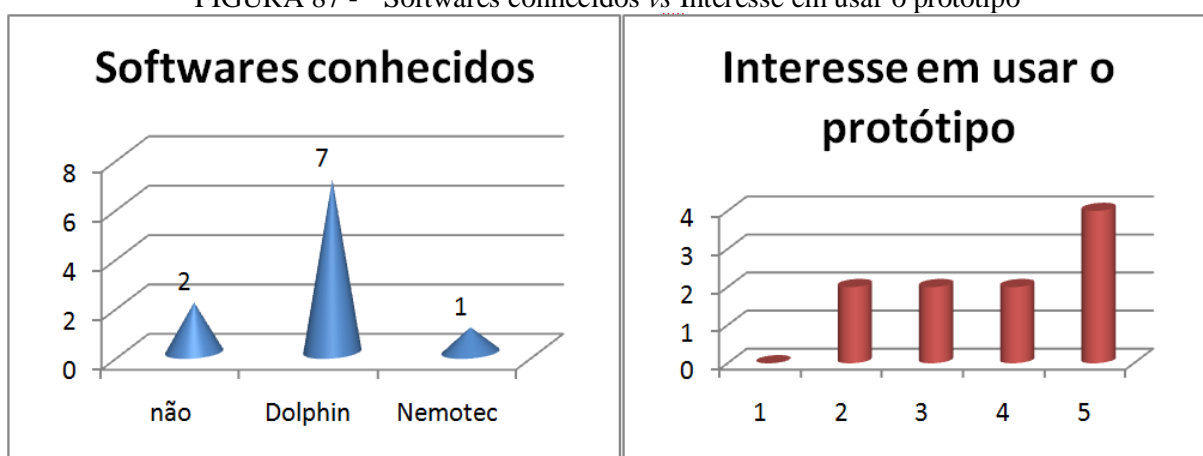
Dr. Fued Samir Salmen - 5 "Muito melhor do que fotografia".

### 6.1.6 Uso de softwares similares vs utilização do protótipo

Ao questionar os entrevistados do conhecimento de softwares similares, 7 deles citaram conhecer o Dolphin. No entanto, apenas 3 realmente utilizam o software, os demais tiveram algum tipo de contato ou informação a respeito.

Ao perguntar sobre o interesse em usar o protótipo demonstrado e manuseado (Figura 87), 4 deles se apresentaram muito satisfeitos com a possibilidade, e os demais (seis) ficaram divididos proporcionalmente entre 2, 3 e 4 em nível de satisfação.

FIGURA 87 - Softwares conhecidos vs Interesse em usar o protótipo



Fonte: Acervo Próprio

Da mesma forma como apresentado anteriormente, seguem as justificativas em relação ao interesse de utilizar o protótipo nos casos em que sentiram necessidade de justificar.

Dr. Eduardo Fischer Cristofalo - 4 - "Para ajudar em forma educacional e profundidade cirúrgica".

Dr Rafael Antonio de Campos - 4 - sem comentários.

Dr Rogélio Fernandes Peres Junior - 5 "O software apresentado apresenta ferramentas suficiente para o uso indicado".

Dr. Fernando Regioli - 2 "Como demonstração genérica para pacientes pode ser interessantes, mas para planejar o caso é necessário maior precisão".

Dr. Luiz Carlos de Mesquita Cabral - 3 "Achei muito interessante o trabalho apresentado, mas precisa de mais aperfeiçoamento".

Dr<sup>a</sup>. Marcela Guerra de Oliveira - 5 sem comentários.

Dr. Carlos Alberto Tavares da Silva - 3 sem comentários.

Dr<sup>a</sup> Patrícia de Fátima Leite Fogaça - 2 "Precisa de um refinamento".



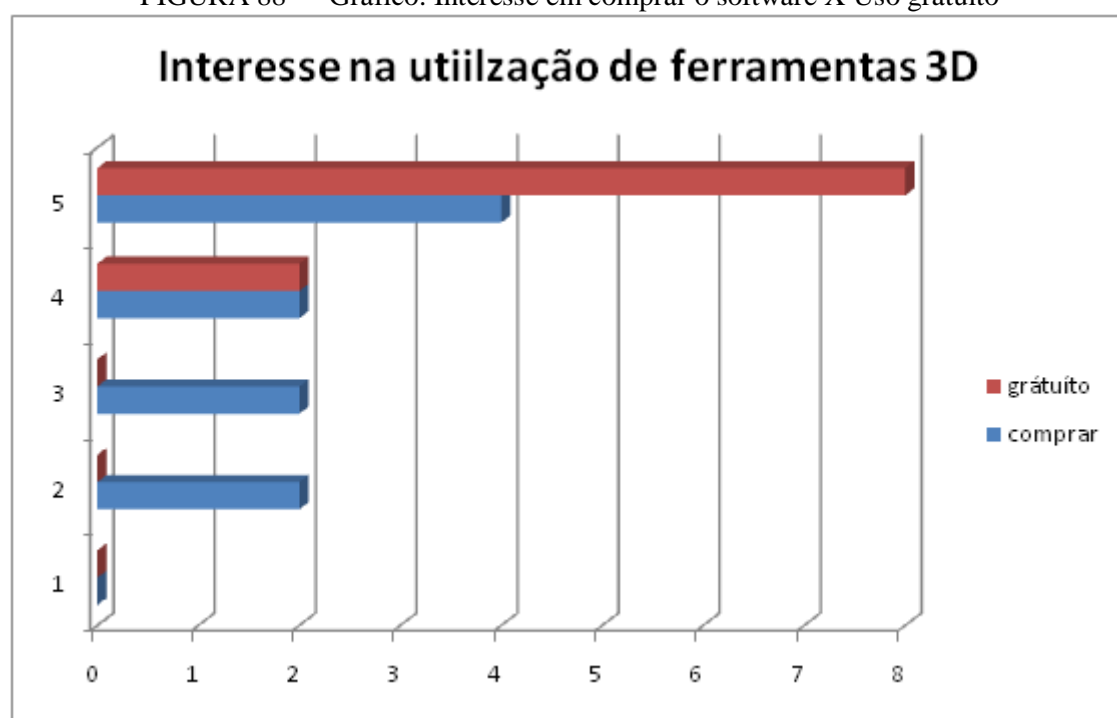
Dr. Delcio Ildefonso Abreu Branco - 5 sem comentários.

Dr. Fued Samir Salmen - 5 sem comentários.

### 6.1.7 Interesse em adquirir software

Visando entender a necessidade dos especialistas em utilizar aplicações 3D para a análise e simulação do procedimento cirúrgico em questão, foram questionados sobre a possibilidade de comprar um software existente e a possibilidade de se utilizar um software gratuito, não especificamente a aplicação apresentada.

FIGURA 88 - Gráfico: Interesse em comprar o software X Uso gratuito



Fonte: Acervo Próprio

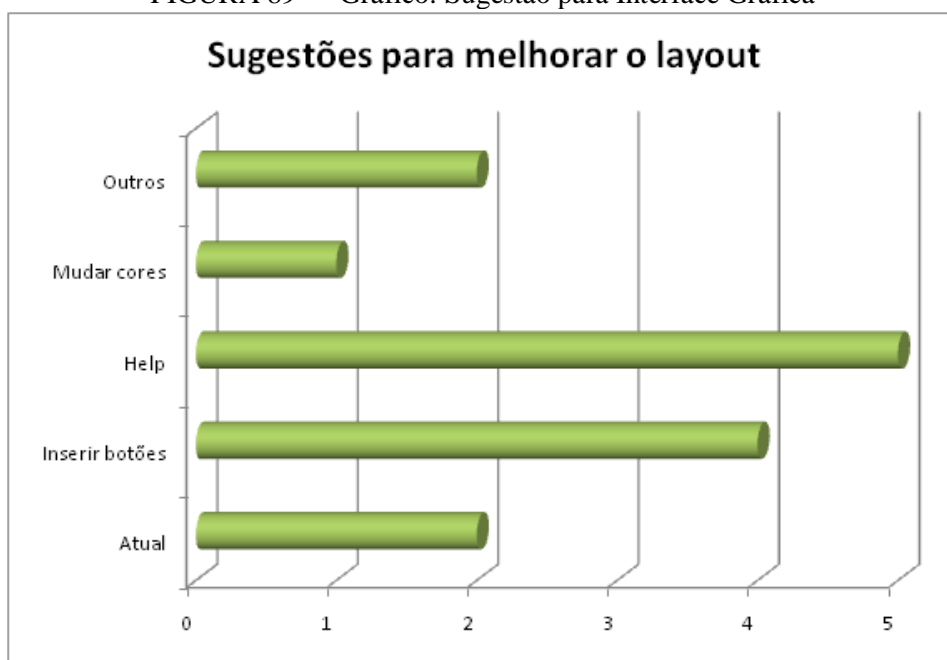
Conforme Figura 88 quando se fala em uma ferramenta gratuita oito deles se mostram interessados na utilização do software; no que se refere a compra, supondo que nenhum deles tenha algum software em utilização, quatro ficaram muito satisfeito e dois parcialmente muito satisfeito com a possibilidade de comprar realmente um software, provando o seu real interesse em aplicações computacionais para auxílio em suas análises de procedimentos. Os demais (quatro) se dividem proporcionalmente entre o pouco satisfeito e satisfeito com a possibilidade de aquisição de um produto com as características discutidas nesta dissertação vale expor que não houve a escolha de insatisfação.

### 6.1.8 Sugestões para a interface gráfica

Foram expostos 4 possíveis modificações em relação ao layout e deixado a 5ª em aberto para os profissionais se sentirem a vontade na possibilidade de apontar melhorias.

Dentre os dois que apontaram outras sugestões se encontra o Dr. Cabral "melhorar a "qualidade" da imagem facial e tornar as alterações de perfil dentro da realidade cirúrgica" e a da Drª Marcela "Parte de tecido mole e demonstração principalmente na área educativa, área de incisão, inserção muscular e visão de cirurgia de ATM". Mediante estes apontamentos é relevante expor que esta dissertação não se propôs a tratar cirurgia de ATM nem a textura sobrepondo a imagem tomográfica da pele, quando a inserção muscular, área de incisão, tornar as alterações dentro da realidade cirúrgica - proporção de deslocamento já discutido no Capítulo 3, referente ao tecido mole, já fazem parte das propostas futuras.

FIGURA 89 - Gráfico: Sugestão para Interface Gráfica



Fonte: Acervo Próprio

Segundo a Figura 89, dentro das possibilidades sugeridas, sendo essas opções de múltipla escolha, dois dos profissionais indicam que a interface pode permanecer da forma como se encontra, 1 sugeriu a possibilidade de mudança de cor, 4 apontaram a inserção de botões (ícones) de comando em uma barra lateral para ligar e desligar a ferramenta de corte, ativar a câmera, ativar a movimentação das imagens e a rotação e observou-se também que a um guia de instruções é de grande interesse, os dois últimos foram sugestões marcantes de

melhorias para a interface gráfica, nota-se uma grande semelhança destes resultados com os resultados obtidos por MORAIS (2013) anteriormente.

## 6.2 Sugestões e Avaliação do Protótipo

Foi solicitado aos especialistas que apontassem limitações e contribuíssem com sugestões de melhorias gerais para o sistema desenvolvido até o momento. A Figuras 90 apresenta a avaliação do sistema pelos profissionais.

Nota-se através dos resultados que apesar das limitações, o *feedback* foi positivo, indo ao encontro com as expectativas referentes ao acréscimo das funcionalidades solicitadas pelos profissionais na pesquisa feita por MORAIS.

FIGURA 90 - Gráfico: Avaliação do protótipo



Fonte: Acervo Próprio

Segue a avaliação individual de cada profissional com o seus apontamentos de melhoria:

Dr. Eduardo Fischer Cristofalo - 4 - "Sobreposição de Imagem (antes/depois)".

Dr Rafael Antonio de Campos - 4 - "Praticidade de uso e definições melhor de imagem".

Dr Rogélio Fernandes Peres Junior - 5 "coma introdução dos movimentos de rotação o software acomoda as necessidades".

Dr. Fernando Regioli - 3 sem comentários.

Dr. Luiz Carlos de Mesquita Cabral - 3 "continuar nesta linha de trabalho!".

Dr<sup>a</sup>. Marcela Guerra de Oliveira - 5 "Parte de tecido mole e demonstração principalmente na área educativa, área de incisão, inserção muscular e visão de cirurgia de ATM".

Dr. Carlos Alberto Tavares da Silva - 3 sem comentários.

Dr<sup>a</sup> Patrícia de Fátima Leite Fogaça - 3 "Fazer um refinamento, incluir tecido mole".

Dr. Delcio Ildefonso Abreu Branco - 4 "Talvez melhorar a textura da imagem, cor de pele, com todas as características naturais do paciente".

Dr. Fued Samir Salmen - 4 "Testar resultados de forma adequada".

Considerando os resultados obtidos, conclui-se que a interação entre o pesquisador, especialista e software trouxeram valiosas trocas de experiências, sugestões e principalmente aprendizagem. O protótipo pode trazer valor significativo e satisfatório para todos os envolvidos no processo, paciente e especialista.

O próximo capítulo apresenta as conclusões e sugestões de trabalhos futuros desta pesquisa.

## CAPITULO 7

### 7 CONCLUSÕES E TRABALHOS FUTUROS

Serão apresentadas sugestões para trabalhos futuros e a contribuição científica desta dissertação, destacando os aspectos da pesquisa e a conclusão do trabalho em questão.

#### 7.1 Conclusões

Face ao objetivo geral dessa dissertação, referente à análise e visualização do tratamento ortodôntico para o procedimento cirúrgico ortognático no que se diz respeito à movimentação da pele, compreende-se que o mesmo foi atendido utilizando a técnica de proporção de movimento por coordenada um pra um (1:1). Segundo os resultados das entrevistas, a função de corte (corticotomia óssea) foi atendida de forma satisfatória pela pesquisa desenvolvida por MORAIS (2013) com livre manuseio das corticotomias.

O complemento das funcionalidades de rotação e inserção da movimentação da pele adquirida na mesma tomografia, atendida por este trabalho veio ao encontro das reais necessidades de profissionais da área. Além disso, as funcionalidades acrescentadas de manipulação do grau de opacidade da pele e efeito de suavização da imagem, através da função Smooth, contribuirão significativamente para a aplicabilidade da ferramenta proposta.

O protótipo foi desenvolvidas utilizando as mesmas aplicações para a criação e manutenção do software InVesalius®, seguindo uma interfase similar a já utilizada, atendendo o objetivo de manter uma ferramenta de manuseio simples e intuitivo pelos profissionais e interessados e com o objetivo de integrar tais funcionalidades no software InVesalius®.

Conclui-se que o protótipo desenvolvido apresentou-se adequado para simular o procedimento cirúrgico dos pacientes, mesmo que contendo algumas restrições. Tais como movimentação da pele com as devidas proporções pré-definidas por estudos da área, assim suavizando de forma próxima a realidade do pós cirúrgico e a sobreposição de textura citada por um dos profissionais. As restrições apresentadas não estavam previstas na proposta inicial, e é observado que a continuação do estudo através de trabalhos futuros se faz significativamente importante, no entanto tais restrições não impediram que o resultado esperado pela proposta inicial fosse alcançado.

Com base no *feedback* dos especialistas, a ferramenta pode atuar como uma forma de comunicação não somente entre o cirurgião e o próprio paciente, mas com outros profissionais envolvidos: ortodontistas, protéticos e afins.

Ciente de que a movimentação das partes ósseas e pele são de origem fidedigna do paciente em estudo (nesse caso a tomografia), o protótipo dá uma maior confiabilidade ao especialista. Alguns cuidados devem ser realizados no processo de aquisição das imagens, trazendo facilidades a importação das mesmas para o ambiente virtual em 3D usado pelo especialista.

Considerando o objetivo de planejar, preparar e simular a cirúrgica ortognática comprovou-se através das experimentações dos profissionais que é viável trabalhar em prol dos objetivos supra citados, em um ambiente gráfico 3D, de forma absolutamente intuitiva e não intrusiva do ponto de vista do paciente, já que os dados oriundos do exame tomográfico são a única fonte de dados, sem qualquer outro procedimento que possa trazer prejuízo ou incômodo ao paciente.

## 7.2 Trabalhos futuros

Mediante o protótipo criado, são elencados os apontamentos para melhoria do sistema, considerando as limitações identificadas pelo autor ou através dos resultados apresentados durante as entrevistas com os profissionais.

- Gerar barra de ferramentas lateral. Considerando os cuidados para ativar métodos que estejam relacionadas a determinado momento no uso do sistema.
- Guia de ajuda (HELP) - documentação para auxiliar no uso do sistema
- Disponibilizar o sistema para os vários sistemas operacionais.
- Incluir ferramenta de régua para realizar medições e cefalometria.
- Melhoria na Interface Gráfica ou GUI (Graphical User interface) de forma a oferecer diferentes visões do mesmo objeto na tela.
- Melhoria na Interface Gráfica ou GUI (Graphical User interface) possibilitar a visualização da imagem antes e depois do procedimento, podendo ser em duas janelas distintas ou na mesma janela com sobreposição das imagens
- Utilização do código massa mola, de forma a criar a movimentação da pele já com as proporcionalidades de movimento sem necessitar da suavização, não se pode garantir a sua eficiência nos resultados.

- Acrescentar o controle da colisão entre o conjunto dentes superior e inferiores durante a movimentação, para não haver a sobreposição das partes.
- Melhorar o desempenho do protótipo em relação ao carregamento e movimentação da pele mediante movimentação dos ossos.
- Geração de Guias cirúrgicos.

Adicionalmente, o estudo aqui apresentado admite um amplo campo de melhorias a serem pesquisadas e desenvolvidas. É notório através dos resultados obtidos no Capítulo 6, que a implantação de movimentos proporcionais e já suavizados no processo de movimentação do tecido mole, e não somente a movimentação da pele como foi desenvolvido, em relação ao tecido duro se tornará bem mais interessante e agradável a utilização do aplicativo. No caso deste desenvolvimento ocorrer, os resultados da movimentação do tecido mole e de suas proporções trará um ganho significativo ao protótipo, tornando uma aplicação mais completa no que se refere aos ganhos estéticos.

Visando o campo educacional, seria relevante a criação de um tutorial com o escopo de orientar o aluno no estudo do procedimento cirúrgico em discussão através de treinamento guiado visando à redução de falhas nos procedimentos reais. Outra área a ser atendida pelo mesmo protótipo baseado em cortes e visualização de imagens seria a criação na geração de modelos de enxerto ósseo.

As funcionalidades apresentadas nesta dissertação podem atender necessidades de outros profissionais que não seja exclusivamente da área de buco maxilo facial.

### **7.3 Considerações Finais**

Mediante conclusões relacionadas anteriormente, relativas aos frutos adquiridos a partir do protótipo desenvolvido, associado ao feedback expresso por parte dos profissionais entrevistados, é possível delinear as principais colaborações desse trabalho:

- Apresentar mais uma possibilidade de usar e construir aplicações médicas utilizando tecnologias abertas.
- Compreender e comunicar através de um ambiente de computação gráfica, o procedimento cirúrgico para as partes envolvidas.

## REFERÊNCIAS

- 3dmd – disponível em <<http://www.3dmd.com/>> - Acesso em 1 dezembro 2013
- Accorsi, M.; Velasco, L. “ **Diagnóstico 3D em Ortodontia: a tomografia cone-beam aplicada**”. 1ªed, Editora Napoleão Ltda, São Paulo – Nova Odessa 2011.
- Amorim, P. H. J. , et al, **Software InVesalius - Guia do Usuário** - CTI (Centro de Tecnologia da Informação Renato Archer), unidade do Ministério da Ciência e Tecnologia (MCT)
- Amorim, Paulo H. J.; MORAIS, Thiago F. de; Azevedo, Fábio de S.; Silva, Jorge V. L. da **InVesalius: Software Livre de Imagens Médicas** -, Centro de Tecnologia da Informação Renato Archer - CTI, campinas/SP – 2011 - CSBC2011
- Anatontage, Inc - **Invivo5.1 Reference Manual - 2011** - San Jose, CA (2011)
- Andersen V. **Nombegriff und Optimumsbegriff**. Fortsch Orthod 1931;1:276-286
- Bartolo, P. J. da S. - **Virtual and Rapid Manufacturing: Advanced Research in Virtual and Rapid Prototyping (Balkema-Proceedings and Monographs in Engineering, Water and Earth Sciences)** [Hardcover] 2008 - Copyright (coffee) 2006 Sun Microsystems, Inc.
- Broadbent, B. H. **A New x-ray technique and its application to orthodontia**. Angle Ortho 1931;1:45-66
- Brons, A.A.; Scarfe, W C.; et al. “**Precisão da tomografia linear Cone Beam CT derivadas de imagens 3D**”. In: Angle Orthodontist, artigo de 2009, University of Louisville School of Dentistry, Louisville, Ky.
- Brown K.; Daniel, P.**Ready-to-Run Java 3D** (Wiley Computer Publishing, 1999)
- Cavalcanti, M. “**Tomografia Computadorizada por feixe cônico – Interpretação e Diagnóstico para o Cirurgião-dentista**”, Livraria Santos Editora Ltda, São Paulo – SP, 2010
- Centro de cirurgia Odontológica – disponível em <<http://www.odontologiamt.com.br/procedimentos/item.asp?id=50> – 2010>. Acesso em 1 Novembro 2013
- Cericato G.; Garbin D.; Fernandes, A. “**Uso dos Sistemas Especialistas em Odontologia**”, CBIS'2006. Costão do Santinho, Florianópolis, SC, 14-18 de outubro,
- Cevidanes, Lucia H. C., et al. **Three-dimensional surgical simulation**, 2010
- Costa, F., “**Utilização da Realidade Virtual em Odontologia. Sociedade Brasileira de Informática em Saúde**”, X Congresso Brasileiro de Informática e Saúde. Campos do Jordão, São Paulo, 2007. 29 – 3 dez.



CFO (Conselho Federal de Odontologia) – **“Quase 10 milhões de brasileiros precisam de cirurgia nos maxilares”** <<http://cfo.org.br/imprensa/saiu-na-imprensa/quase-10-milhoes-de-brasileiros-precisam-de-cirurgia-nos-maxilares-2/>>, Copyright 2009-2013

Dennis J Bouvier, **Getting Started with the Java 3D™ API - Chapter 2 Creating Geometry**, 2000

DICOM – Digital Imaging and Communications in Medicine – disponível em - <<http://medical.nema.org/Dicom>> - Acesso 5 janeiro 2012

Dolphin Imaging Featuring 3D – disponível em <http://www.dolphinimaging.com/3d.html> – Acesso em 15 fevereiro de 2012

Dows, W.B. **Analysis of the dentofacial profile**. Angle Orthod 1956;26:192-212

Farman, A. et al. **“Education in the round: multidimensional imaging in dentistry”**. Inside Dentistry. Louisville, Kentucky January 2008, (1):39-41

Gimenez, C.M.M. ; et al. **“Avaliação cefalométrica do perfil mole de pacientes face longa submetidos à cirurgia ortognática: estudo retrospectivo”**. In: Rev. dental press ortodon. ortopedi. facial; vol.11(6): 91-103, Maringa - PR, nov.-dez. 2006.

Graber, Dan; Cevidanes, Lucia S.H.; Proffit, William R. - **Working with DICOM craniofacial images, AJO-DO - American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics**, Vol. 136, Issue 3, Pg 460-470, 2009

Harrel Jr, Willian E. – disponível em <[http://drharrell.com/images/d/645/Fig6\\_Camera-4000-th.gif](http://drharrell.com/images/d/645/Fig6_Camera-4000-th.gif)> - Acesso em 1 Dezembro 2013

Hofrath, H. **Die Bedeutung der Röntgenfern und Abstandsaufnahme für die Diagnostik der Kieferanomalien**. Forstschr Orthod 1931; 1:231-258

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Disponível em: <<http://saladeimprensa.ibge.gov.br/>> – Acesso em 23 de Março de 2013

Jacobson, A., & vlahos, C. (2010). **Cefalometria Radiográfica - Imagens Básicas e 3D. Avaliação do Tecido Mole – cap19**. São Paulo: Quintessence editora Ltda.

Jacobson, A.; Jaconson, R. **“Cefalometria Radiografica: Imagens Básicas e 3D”**. 2ªed, Quintessence editora Ltda., São Paulo – São Paulo 2010.

Kinser, J. **Python for Bioinformatics**. Jones and Bartlett Publishers, (2009).

Materialise dental – SimPlant O&O Disponível em - <<http://www.materialisedental.com/materialise/view/en/600383-SimPlant+O%26O+.html>> - Acesso em 10 novembro 2013

MediaWiki - Public Wiki - Disponível em: <http://www.vtk.org/Wiki/VTK/Examples/Python/GeometricObjects/Display/Hexahedron> - Acesso em 21 de abril 2012

Melo, Ana Cristina. **Desenvolvendo aplicações com UML: Do conceitual à implementação**, Ed Brasport 2002 Rio de Janeiro - RJ

Menezes, M.; Sforza, C.; **“Morfometria tridimensional (3D) da face”**. In: **Artigo 2010, Dental Press Journal Orthodontics**, Departamento de Morfologia Humana e Ciências Biomédicas da Universidade de Milão, Itália.

Metzger, M C; et al. **“Fabricação de Splints para Cirurgia Ortognática Utilizando Impressora Tridimensional”**. In: Artigo 2008, Revista Oral Surgery, Oral Medicine, Oral Pathology, Oral Radiology & Endodontics, Freiburg, Germany; and Aarau, Switzerland Albert-Ludwig University Freiburg and Hirslanden Medical Center.

Morais, Giuliano D. de. **“sistema de auxílio visual do reposicionamento ósseo por meioda cirurgia ortognática.”** – Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, Minas Gerais, 2013

Motta, A.T.S. da, Brunharo, I.H.P. et al., **“Simulação computadorizada do perfil facial em cirurgia ortognática: precisão cefalométrica e avaliação por ortodontistas”**. In: Rev Dental Press Ortodon Ortopedi Facial; Maringa – PR, set./out. 2007, vol.12, n. 5, p. 71-84.

Nunes, Fátima L. S. **Capítulo 2 - Introdução ao Processamento de Imagens Médicas para Auxílio ao Diagnóstico – Uma Visão Prática** -. () – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2006

Ortodontia Contemporanea BLOG - Loiola, Marlos – disponível em - <http://www.ortodontiacontemporanea.com/2009/02/historia-da-ortodontia-sebastiao.html> - Acesso 17 agosto 2011

Paccini, A. J. **Roentgen ray antropometry of the skull. J Radiol** 1922;3:230,322-331,418-426.

Papademetris, Xenophon ; Joshi, Alark, **An Introduction to Programming for Medical Image Analysis for Medical Image Analysis with the Visualization Toolkit**, 2009, 2ª ed, BioImage Suite

Pianyk, O. S. (2007). **Digital Imaging and Communications in Medicine (DICOM)**. Springer Publishing, 1th edition.

R., B. **Facial Harmony: Standards for Orthognathic Surgery and Orthodontics**. London: Quintessence, 1998.

Rappin, N. and Dunn, R. (2006). **wxPython in action. Manning Pubs Co Series. Manning.**

Ribas, M.de O. et al. **“Cirurgia ortognática: orientações legais aos ortodontistas e cirurgiões bucofaciais”**. Dental Press Ortodon Ortop Facial. v. 10, n. 6, p. 75-83, Maringá – PR, nov./dez. 2005

Rodrigues, M.A.F.; Silva, W.B. , Barbosa Neto, M.E.. **“Um Sistema de Realidade Virtual para Tratamento Ortodôntico”**. (Mestrado em Informática Aplicada) – Universidade de Fortaleza, Fortaleza-CE, 2006.

Santin, R; Kirner, C. **“Detecção em tempo real de objetos em vídeo usando Realidade Aumentada”**. In: Anais do WRA`2005 – II Workshop de Realidade Aumentada, 2005, Piracicaba, SP, v1, p.25-28.

Schendel, Stephen A.; Lane, Chris, **3D Orthognathic Surgery Simulation Using -** Seminars in Orthodontics, Vol 15, No 1 (March), 2009: pp 48-56, Published by Elsevier Inc.

Schroeder, W; Martin, K. M. Lorensen, W. E., **The visualization toolkit (2nd ed.): an object-oriented approach to 3D graphics: Prentice-Hall, Inc., 1998.**

Schroeder, W; Martin, K. M. Lorensen, W. E., **Visualization Toolkit: An Object-Oriented Approach to 3D**, 4th Edition, Hardcover 2006

SERAGUSA, F. - Folha Online Home Page, **"Quase 10 milhões de brasileiros precisam de cirurgia nos maxilares"** disponível em <<http://www1.folha.uol.com.br/folha/ciencia/ult306u585704.shtml>> - Acesso em: 15 de julho de 2010.

TIOBE Software - the software quality company – disponível em: <<http://www.tiobe.com/index.php/content/paperinfo/tpci/index.html>> - Acesso 21 Novembro, 2013

van Loon, J.A.W. **A new method in demo-facial orthopedic, Parts 1 and 2.** Dent Cosmos 1915;57:1093-1101,1229-1235

Venners, Bill. **The Making of Python Conversation with Guido van Rossum**, January 13, 2003 - disponível em <<http://www.artima.com/intv/pythonP.html>> - Acesso em 19 de dezembro de 2013

Visualization ToolKit. - disponível em <<http://www.vtk.org/>>. – Acesso em 19 de dezembro 2011

Volume Viewer - disponível em <<https://volumeviewer.kenai.com/>>. Acesso em 1 Novembro 2013

Zagottis, D. L., **“Técnica, tecnologia e engenharia: conceituação”**, Notas de Aula, Escola Politécnica da USP, São Paulo, SP, 1987.

Zeising, A. **Neue Lehre van den Proportionen des menshlichen Korpers, Bus einem bisher unerkant gebliebenen, die gauze Natur und Kunst durchdringenden morphologisichen Grudgesetze entwickelt und mit einer vollständigen historischen Uebersicht der bischerigen Systeme .** begleitet. Leipzig:Weigel. (1854)

## APENDICE A

### **Avaliação do Perfil**

A análise da face em perfil é rica em mensurações a serem avaliadas. É, principalmente, através da análise do perfil os especialistas conseguem identificar e classificar as maloclusões dentárias e traçar boa parte do tratamento, a maioria dos registros faciais e radiografias em ortodontia é baseada no perfil (GHAFARI, 2010, cap 23, p.267).

### **Proporções do terço facial médio – inferior**

Na dimensão vertical, a proporcionalidade facial anterior é avaliada tomando-se a proporção da altura do terço facial médio pela altura do terço facial inferior medida perpendicularmente ao PH. A proporção das distâncias G-Sn e SN-Me' deveria ser de aproximadamente 1:1. Essa proporção também é conhecida como proporção da face superior à inferior.

### **Proporção da Altura do lábio Superior – Labio Inferior**

O comprimento do lábio superior, ou a distância de Sn a Sts, deveria ser de, aproximadamente, um terço do terço inferior total da face (Sn-Me'); a distância de Sti a Me' deveria ser de cerca de dois terços. Isso pode ser resumido pela seguinte proporção:

$$\frac{\text{Sn-Sts}}{\text{Sti-Me'}} = \frac{1}{2}$$

### **Avaliações a partir do Nariz**

Existe a preocupação da análise facial mediante as movimentações que ocorre no nariz, conforme movimenta-se a maxila e os conjunto de dentes superiores. Os pontos de referência utilizados para avaliar o nariz incluem G, raiz e dorso nasal, depressão supra-pontal, Pn, columela e ângulo nasolabial. A projeção nasal é avaliada pelo ângulo formado pela intersecção de uma linha traçada a partir de G ao Pog' com uma linha traçada ao longo do eixo da raiz do nariz, chamado de ângulo nasofacial e mede aproximadamente 30 a 35 graus. Rohrich e Bell preconizam a avaliação da inclinação da base nasal, ou seja, o ângulo formado

entre o plano vertical real e uma linha que passa pelo longo eixo da narina. O ângulo varia de cerca de 90 graus em homens a até 105 graus em mulheres.

O ângulo Nasomental é construído por uma linha traçada ao longo do eixo da raiz e uma linha traçada de Pn a Pog'. Varia entre 120 e 132 graus em faces bem equilibradas.

Scheideman ET al. avaliaram a proeminência nasal em relação a altura nasal (G-Sn) e o comprimento do lábio superior (Sn-Sts). Idealmente, a proeminência nasal horizontal (G ao Pn) deveria ser de aproximadamente um terço da altura vertical do nariz (G-Sn), e o comprimento da columela (Sn ao Pn) deveria ser de aproximadamente 90% do comprimento do lábio superior (Sn-Sts)

O ângulo nasolabial é formado por duas linhas: uma tangente da columela e tangente do lábio superior. Um valor arbitrário de 90 a 110 graus foi determinado como a norma. Legan e Burstone relatam um valor médio de  $102 \pm 4$  graus. Este ângulo é influenciado tanto pela inclinação da columela do nariz quanto pela posição do lábio superior. Scheiman et al. desenharam uma linha horizontal postural por meio do Sn e dividiram o ângulo nasolabial em tangente da columela até a linha horizontal postural, e tangente do lábio superior até a linha horizontal (aproximadamente 85 graus). Eles argumentam que cada um desses ângulos deveria ser analisado individualmente à medida que eles sofrerem uma variação independente. Um ângulo nasolabial aparentemente normal pode ser orientado de forma anormal, um fato que ocorreria se os ângulos componentes fossem medidos individualmente.

### **Prognatismo Maxilar e Proeminência do Lábio Superior**

Uma linha perpendicular ao PHc é traçada a partir de G. A distância de Sn dessa linha vertical deveria ser de  $6 \pm 3$  mm. Se uma linha é traçada de Sn ao Pog', a quantidade de proeminência do lábio superior é medida com a distância perpendicular de Ls a essa linha. Legan e Burstone calculam a média da proeminência do lábio superior como sendo de  $3 \text{ mm} \pm 1 \text{ mm}$ . Bell et al. utilizam uma linha de referência vertical por meio de Sm, em que o lábio superior deveria estar de 1 mm a 2 mm a frente dessa linha.

### **Prognatismo Mandibular e Proeminência do lábio Inferior**

Uma linha perpendicular ao plano horizontal construído é traçada a partir de G. A distância de Pog' a partir dessa linha vertical é medida. Para o equilíbrio facial, a medida da distância é de  $0 \text{ mm} \pm 4 \text{ mm}$ .

De acordo com Legan e Burstone, o Li deveria estar  $2\text{ mm} \pm 1\text{ mm}$  anterior à linha Sn-Pog'. Similarmente, Bell et al. calculam que o lábio posterior deveria estar na linha SnV ou 1 mm posteriormente à ela (0 mm a -1 mm). Scheideman et al. corroboram com os achados de Bell et al.

Não é possível deixar de citar as informações relevantes a movimentação do nariz. No entanto, não será tratado nesta pesquisa. Vale salientar que é um assunto de ampla discussão entre os profissionais com relação aos softwares que se propõem a tratar o problema.

### **Proeminência e Espessura do Tecido Mole do Queixo**

A proeminência do queixo do tecido mole pode ser avaliada em mais de uma forma. A distância do queixo do tecido mole a uma linha perpendicular ao HF por meio de Sn pode ser medida. O valor médio de -3mm à linha vertical, com um desvio padrão de  $\pm 3\text{mm}$ . Valores ligeiramente diferentes são relatados por Bell et al., em que a posição anteroposterior do queixo cai para -1 a -4 mm posteriormente à SnV.

A proeminência do queixo deve ser avaliada em conjunto com outras características para que seja feita uma distinção entre microgenia, micrognatismo ou retrognatismo conforme Legan e Burstone. No entanto, nesta dissertação está sendo unicamente tratado os casos de retrognatismo e prognatismo.

A espessura do queixo do tecido mole é medida como a distância entre os planos faciais ósseo e do tecido mole - Pog do tecido duro até Pog' do tecido mole. Uma distância de 10mm a 12mm é ideal. Em queixos carnudos, os incisivos inferiores podem ser deixados em uma posição mais proeminente para proporcionar a harmonia facial.

A cirurgia de mentoplastia é possível de ser simulada na ferramenta de MORAIS (2013), o que torna um assunto abordado.

## APENDICE B

### TERMO DE CONSENTIMENTO

Eu, \_\_\_\_\_,  
RG \_\_\_\_\_ CPF \_\_\_\_\_, abaixo assinado,  
concordo em participar do questionário abaixo, referente ao trabalho de mestrado sobre  
preparação para cirurgias ortognáticas movimentação da pele.

Esclareço que fui devidamente informado pelo pesquisador a respeito do projeto e os  
procedimentos nele envolvidos, estando ciente que minha colaboração acadêmica restringe-  
se ao trabalho de mestrado envolvendo Daniela Teresa Rossignoli Uebele e Giuliano Diniz de  
Morais, sem que isto traga qualquer responsabilidade pelo conteúdo fornecido ou  
compromisso com a qualidade do trabalho.

( ) Autorizo a citação de meu nome na compilação dos dados para a dissertação.

\_\_\_\_\_, \_\_\_\_ de \_\_\_\_\_ de 201\_\_

Área de atuação: \_\_\_\_\_ Empresa: \_\_\_\_\_

Tempo de atuação na área específica: \_\_\_\_\_

1) No seu entendimento, quais procedimentos poderão ser utilizados através desse  
software:

- ( ) Disjunção mandibular e maxilar
- ( ) Impactação de Maxila
- ( ) Redução do prognatismo mandibular ou maxilar
- ( ) Redução do retrognatismo mandibular ou maxilar
- ( ) Avanço de mento
- ( ) Tratamento de fraturas Lefort I, II e III
- ( ) Correção de desvio de septo

No caso de opção não selecionado breve justificativa:

\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

**Nas questões com escala de 1 a 5, onde 1 é pouco satisfeito e 5 muito satisfeito**

2) Da forma como o software se encontra:

a) É possível utilizá-lo para preparação do procedimento cirúrgico?

- ( ) 1              ( ) 2              ( ) 3              ( ) 4              ( ) 5

b) É possível utilizá-lo para projetar como será o resultado do procedimento cirúrgico (VTO)?

☐ 1      ☐ 2      ☐ 3      ☐ 4      ☐ 5

3) Qual seria a sua intenção ao utilizar esse software?

☐ preparação pré-cirurgia

☐ projeção do resultado (VTO completo)

☐ educativo

☐ não vejo utilidade

☐ outros. Quais? \_\_\_\_\_

Você acredita que esse software também pode ter valor para seus pacientes ? Explique

---



---



---

4) O software, tendo a capacidade de apresentar a pele (não tecido mole) do paciente modificada, refletindo as modificações realizadas na estrutura óssea, tais como quebra e movimentação. Seria essa característica relevante para você ? Explique.

☐ 1      ☐ 2      ☐ 3      ☐ 4      ☐ 5

---



---



---

5) Você conhece ou já utilizou outro software que faça algo parecido? Quais?

---

6) Teria interesse em utilizar o software apresentado pelo pesquisador como se encontra?

☐ 1      ☐ 2      ☐ 3      ☐ 4      ☐ 5

Com baixa avaliação. Por que ?

---



---

7) Considerando que você **não utiliza** atualmente nenhum software para esses propósitos:

a) teria interesse em comprar algum software com essas funcionalidades ou similares?

☐ 1      ☐ 2      ☐ 3      ☐ 4      ☐ 5

b) Caso pouco satisfatório, estaria disposto a utilizar um software gratuito ?

☐ 1      ☐ 2      ☐ 3      ☐ 4      ☐ 5



8) O que sugere para melhorar o *Layout* do programa?

☐ Permanecer com a interface atual.

☐ Inserir botões (ícones) de comando na lateral

☐ Roteiro de instrução (HELP)

☐ Modificar as cores existentes

☐ Outros. \_\_\_\_\_

9) O que você poderia sugerir para esse software se tornar melhor ?

\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

10) De forma geral. Como você avalia o software ?

☐ 1

☐ 2

☐ 3

☐ 4

☐ 5

\_\_\_\_\_  
Assinatura e carimbo do especialista