Universidade do Estado do Rio de Janeiro
Centro Biomédico
Faculdade de Odontologia

Andressa Otranto de Britto Teixeira

Acurácia tridimensional do planejamento virtual em cirurgias ortognáticas

Rio de Janeiro
2017

Andressa Otranto de Britto Teixeira

Acurácia tridimensional do planejamento virtual em cirurgias ortognáticas

Tese apresentada, como requisito parcial para obtenção do título de Doutor, ao Programa de Pós-Graduação em Odontologia, da Universidade do Estado do Rio de Janeiro. Área de concentração: Ortodontia.

Orientadores: Prof.ª Dra. Cátia Cardoso Abdo Quintão

Prof. Dr. Felipe de Assis Ribeiro Carvalho

Rio de Janeiro

2017

CATALOGAÇÃO NA FONTE
UERJ/REDE SIRIUS/BIBLIOTECA CB/B

T266 Teixeira, Andressa Otranto de Britto.
Acurácia tridimensional do planejamento virtual em cirurgias ortognáticas / Andressa Otranto de Britto Teixeira. – 2017.
135f.

Orientadores: Cátia Cardoso Abdo Quintão e Felipe de Assis Ribeiro Carvalho.
Tese (doutorado) – Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Faculdade de Odontologia.

1. Ortodontia. 2. Cirurgia Ortognática - Métodos. 3. Imagem tridimensional. 4. Validação de programas de computador. 5. Projeto auxiliado por computador. 6. Cirurgia assistida por computador. I. Quintão, Cátia Cardoso Abdo. II. Carvalho, Felipe de Assis Ribeiro. III. Universidade do Estado do Rio de Janeiro. Faculdade de Odontologia. IV. Título.

CDU
616.314

Bibliotecária Adriana Caamaño CRB7/5235

Autorizo, apenas para fins acadêmicos e científicos, a reprodução total ou parcial desta tese, desde que citada a fonte.

_____ _____

Assinatura Data

Andressa Otranto de Britto Teixeira

Acurácia tridimensional do planejamento virtual em cirurgias ortognáticas

Tese apresentada, como requisito parcial para obtenção do título de Doutor, ao Programa de Pós-Graduação em Odontologia, da Universidade do Estado do Rio de Janeiro. Área de concentração: Ortodontia.

Aprovada em 8 de dezembro de 2017.

Orientadores:

Prof.ª Dra. Cátia Cardoso Abdo Quintão

Faculdade de Odontologia - UERJ

Prof. Dr. Felipe de Assis Ribeiro Carvalho

Faculdade de Odontologia – UERJ

Banca Examinadora:

_____

Prof. Dr. Marco Antonio de Oliveira Almeida

Faculdade de Odontologia – UERJ

_____

Prof. Dr. Jonas Capelli Júnior

Faculdade de Odontologia – UERJ

_____

Prof. Dr. Danilo Passeado Branco Ribeiro

Faculdade de Odontologia – UERJ

_____

Prof. Dr. Alexandre Trindade Simões da Motta

Universidade Federal Fluminense

_____

Prof.ª Dra. Bianca Bravim Bomfim

Universidade Federal Fluminense

Rio de Janeiro

2017

DEDICATÓRIA

A Deus, por guiar os meus passos com sua infinita Sabedoria e iluminar minha vida com seu imenso Amor.

Ao meu filho, alegria da minha vida, o meu pedido de desculpas pela minha ausência durante esses anos. Te amo além do infinito!!!

AGRADECIMENTOS

Ao meu marido, sempre disposto a apoiar os meus sonhos. Sua dedicação a mim e aos meus projetos torna possíveis minhas conquistas. Você é um anjo que Deus colocou em minha vida. Você é, para sempre, o meu grande companheiro!!!

Aos meus pais por todo incentivo e carinho que sempre me dedicaram. O apoio de vocês em todos os momentos da minha vida torna o impossível possível. Muito obrigado por acreditarem e apostarem tanto em mim!!!

A toda minha família que soube entender esse meu momento e que sempre torceram por mim.

Ao professor Marco Antonio de Oliveira Almeida pela orientação dedicada e por sempre acreditar em mim. O senhor para mim é exemplo de tudo: de professor, de ortodontista, de pessoa, de equilíbrio, de justiça, de doação, de comprometimento. O senhor é meu Grande Exemplo!!!

Ao professor Felipe de Assis Ribeiro Carvalho por todo carinho e paciência que teve comigo. Obrigada por ter caminhado comigo em cada etapa da confecção deste trabalho. Obrigada também pela sua amizade que levarei para sempre em meu coração!

A professora Cátia Abdo Cardoso Quintão, por estar sempre pronta a ajudar no que fosse preciso. Obrigada pela sua amizade.

Ao professor Ronir Raggio Luiz, por toda sua disponibilidade para nos auxiliar com a estatística deste trabalho. Sua competência e profissionalismo são fontes de inspiração.

Ao professor Jonas Capelli Júnior, coordenador do curso de Doutorado, por sua dedicação a nossa formação científica e a qualidade do curso. Fica a certeza do seu desejo de nos fazer progredir.

Ao professor José Augusto Mendes Miguel, por todo carinho que sempre demostrou por mim e pela avaliação prévia deste trabalho.

À professora Flávia Raposo Gebara Artese por ser exemplo de dedicação e capacidade para todos nós!

À professora Rhita Cristina Cunha Almeida pelo incentivo que sempre me deu. Seu carinho e sua amizade foram essenciais para a realização deste trabalho. Obrigada por todos os momentos especiais que passamos juntos!

À professora Cristiane Canavarro Rodrigues Martins pela amizade desde os tempos em que fomos colegas de turma no Mestrado. Obrigada por estar sempre pronta para ajudar.

Aos professores da Disciplina de Ortodontia de Universidade do Estado do Rio de Janeiro (UERJ) Teresa de Andrade Goldner, Álvaro de Moraes Mendes e Álvaro Francisco Carrielo Fernandes pela oportunidade de conviver e aprender com vocês.

Ao professor Danilo Passeado Branco Ribeiro e as alunas Thais Pimentel e Raphaela Capella que “abriram as portas” do Serviço de Cirurgia para mim e sempre me ajudaram para que a obtenção da amostra deste trabalho fosse possível. Nunca terei como agradecer a vocês!!!

À professora Maria Letícia Nardelli Pamplona Côrte Real, responsável pelo meu início na vida acadêmica. Obrigada pela sua amizade.

Às colegas das turmas de Mestrado Bárbara Andrade, Candice Belchior, Carolina Vogas, Livia Nunes, Nathalia da Escóssia, Tarsila Pelegrino, Caroline Maués, Luciana Quintanilha e Maria Eduarda Duarte pelo agradável convívio.

Aos colegas de Doutorado Raquel Medeiros, Tatiana Lima, Diego Santos, Nathália Palomares e Daniela Notaroberto, Livia Nunes e Sérgio Caetano. Conviver com vocês tornou esses anos mais leves e felizes! Sentirei saudades.

A todos os alunos de Especialização com quem convivi por todos esses anos.

Às funcionárias Fernanda Galvão e Isabel Cristina pelo auxílio imprescindível que permite o funcionamento harmonioso deste curso e pelo carinho que tem com todos nós.

Às minhas secretárias Denise, Tatiana e Libania minhas fiéis torcedoras que cuidam de tudo para mim, para que tudo possa dar certo. Obrigada pela dedicação de vocês.

À minha fiel escudeira Regiane da Silva Satiro que cuidou do meu filho como se fosse seu e me deu tranquilidade para poder realizar essa importante etapa na minha vida!

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela bolsa de estudos concedida.

A todos os pacientes, que são o motivo de nossos esforços para sempre estar fazendo melhor, obrigada pela confiança.

E a todos aqueles que colaboraram de alguma forma na execução deste trabalho.

Minha maior competição é comigo mesma! Não nasci para competir com ninguém, acho perda de tempo. Quero é vencer a competição comigo mesma. Ser melhor a cada dia, superar meus limites, ajudar as pessoas que estão na minha volta a serem cada vez melhores. Quero vencer meus medos, ser mais tranquila, mais tolerante, iluminar a minha sombra e a das pessoas que comigo convivem! Isso já é o suficiente para me fazer feliz, não há vitória mais reconfortante que vencer a si mesmo e se tornar uma pessoa melhor!!!

Damaris Ester Dalmas

RESUMO

TEIXEIRA, Andressa Otranto de Britto. *Acurácia tridimensional do planejamento virtual em cirurgias ortognáticas*. 2017. 135 f. Tese (Doutorado em Odontologia) - Faculdade de Odontologia, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2017.

O sucesso da cirurgia ortognática depende da técnica cirúrgica e da acurácia do planejamento. O planejamento em cirurgia ortognática tem evoluído muito nas últimas duas décadas, especialmente em relação ao desenvolvimento do planejamento cirúrgico virtual tridimensional. O objetivo deste estudo foi avaliar, através de metodologia tridimensional, a acurácia do planejamento cirúrgico virtual realizado pelo programa *Dolphin Imaging*®. A amostra do trabalho foi composta por 10 indivíduos, de ambos os sexos, sem crescimento, portadores de má oclusões de Classe II ou classe III, que necessitassem de cirurgia bimaxilar mais mentoplastia, para correção da deformidade, acompanhados de forma prospectiva. Todos os pacientes foram operados pela equipe de cirurgia bucomaxilofacial do Hospital Universitário Pedro Ernesto. A documentação dos pacientes era composta por tomografia computadorizada de feixe cônico (CBCT), modelos das arcadas e fotografias pré-operatórias e CBCT pós-operatória. Os planejamentos virtuais foram realizados pelo módulo cirúrgico do programa e transferidos para o momento da cirurgia, através de uma goteira interoclusal obtido por prototipagem. A acurácia foi avaliada com o uso dos programas ITK-Snap 3.6, Geomagic Qualify® 2013 e MeshValmet® 3.0. Foram feitas avaliações para a diferença entre o planejamento virtual e o obtido na cirurgia real em relação à superfície dos segmentos, com avaliação utilizando o valor de Root Mean Square (RMS) do deslocamento de cada fragmento, e em relação aos deslocamentos translacionais das regiões anatômicas de interesse, medidos através do cálculo do deslocamento tridimensional dos centroides das estruturas avaliadas. Os dados das distâncias entre superfícies, considerando o RMS, foram realizados pelo teste de Wilcoxon para uma amostra. Os dados da diferença de posicionamento entre os centroides foram calculados pelo teste t, pareado e complementados pelo método de *Altman-Bland* e por gráficos de Concordância-sobrevivência. Os resultados mostraram que houve diferença estatisticamente significativa em relação à avaliação da distância entre as superfícies para o posicionamento da mandíbula (p=0,013) e do mento (p=0,013) e em relação ao posicionamento dos centroides na direção transversal do ramo direito (p=0,034), quando considerado o sentido do deslocamento, e na direção vertical dos ramos direito (p=0,005) e esquerdo (p=0,025), quando não considerado o sentido do deslocamento. Em relação à medida de relevância clínica aceitável, comumente considerada de 2mm, observou-se acurácia para os segmentos da maxila, proximais (ramos) e distais (corpo) da mandíbula, mas não observou-se para o segmento do mento. Concluiu-se que o planejamento cirúrgico virtual, realizado pelo módulo cirúrgico do *Dolphin Imaging*®, apresenta boa acurácia para determinar o posicionamento dos segmentos da maxila, ramos e corpo mandibular, mas não pode ser considerado como tendo adequada acurácia para o posicionamento do mento sem uso de posicionador específico.

Palavras-chave: Cirurgia ortognática. Ortodontia. Imagem tridimensional. Validação de programas de computador. Projeto auxiliado por computador. Cirurgia assistida por computador.

ABSTRACT

TEIXEIRA, Andressa Otranto de Britto. *Three-dimensional accuracy of virtual planning in orthognathic surgery*. 2017. 135 f. Tese (Doutorado em Odontologia) - Faculdade de Odontologia, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2017.

The success of orthognathic surgery depends on the surgical technique and on the accuracy of its planning. Planning in orthognathic surgery has evolved over the last two decades especially due to the development of three-dimensional virtual surgical planning. The objective of this study was to assess the accuracy of virtual surgical planning performed by the Dolphin Imaging© software through a three-dimensional methodology. The sample consisted of 10 individuals of both genders, after the growth period, with Class II or Class III malocclusions, requiring bimaxillary surgery and genioplasty. Those patients were followed up prospectively. The maxillofacial surgery staff of Pedro Ernesto University Hospital conducted all surgeries. Patient documentation consisted of preoperative cone beam computed tomography (CBCT), plaster models of upper and lower arches, photographs, and postoperative CBCT. The virtual planning were performed with the surgical module of the software. A prototyped interocclusal splint was used to transfer the digital planning to the real surgery. The accuracy was tested using the softwares ITK-Snap 3.6, Geomagic Qualify 2013© and MeshValmet 3.0. The difference between the virtual planning and actual surgery was calculated for the segments, using the root mean square (RMS) value of displacement of each individual fragment, and the translational displacements of the anatomical regions of interest (ROI) were measured through the three-dimensional displacement of the 3D centroid of each model. The data of the distances between surfaces considering RMS was analyzed by the Wilcoxon rank test. The data of differences between the centroids positions was calculated by the paired t-test and complemented by the Altman-Bland method and the Survival Agreement. The results showed that the distance between the surfaces were significantly different when considering the mandible position ($p = 0.013$) and the chin ($p = 0.013$). According to the position of the centroids it was found significant difference in the transverse direction of the right ramus ($p = 0.034$) when the direction of the displacement was taken into account and in the vertical direction of the right ramus ($p = 0.005$) and left ramus ($p = 0.025$) when the direction of the displacement was not considered. Considering a clinical relevance threshold of 2mm, it can be assumed that the segments of the maxilla, proximal (ramus) and distal (body) of the mandible were accurate, but the chin segment was not. It was concluded that the virtual surgical planning performed by the Dolphin Imaging© surgical module is accurate to determine the positioning of the maxilla, ramus and mandibular body segments, but can not be considered as having adequate accuracy for the positioning of the chin without the use of a specific positioner.

Keywords: Orthognathic surgery. Orthodontics. Imaging, three-dimensional. Software validation. Computer aided design. Surgery, computer-assisted.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Fotografia dos aparelhos utilizados para aquisição das tomografias e escaneamento dos modelos 46

Figura 2 - Visualização da cirurgia virtual realizada no módulo cirúrgico do Dolphin 11.9 48

Figura 3 - Arquivo .STL gerado para confecção das goteiras cirúrgicas 48

Figura 4 - Goteira cirúrgica confeccionada por prototipagem 49

Figura 5 - Fluxograma detalhando as diferentes etapas no programa Dolphin Imaging® 11.9 51

Figura 6 - Processo finalizado do registro baseado em voxel entre as tomografias pré e pós-cirúrgicas no Dolphin Imaging® 52

Figura 7 - Criação do modelo de transferência do sistema de coordenadas (MTC) no Dolphin Imaging® a partir da tomografia inicial 53

Figura 8 - Fluxograma detalhando as diferentes etapas no programa ITK-SNAP® 3.6 54

Figura 9 - Visualização da segmentação dos ramos mandibulares, maxila e mandíbula, em diferentes camadas padronizadas 55

Figura 10 - Visualização da diferença da qualidade de superfície entre os arquivos originados do Dolphin Imaging® e do ITK-SNAP® 55

Figura 11 - Fluxograma detalhando as diferentes etapas no programa Geomagic Qualify® 56

Figura 12 - Visualização no Geomagic Qualify® da tomografia pós-operatória, com as estruturas reconstruídas por segmentação no ITK-SNAP® 57

Figura 13 - Superposição para recorte dos segmentos para igualar os limites entre eles 59

Figura 14 - Segmentos após recortados, reposicionados em sua localização original . 59

Figura 15 - Criação do sistema de coordenadas no Geomagic Qualify® usando o guia ósseo importado do Dolphin Imaging® 60

Figura 16 - Marcação do centroide em cada uma das estruturas, nos diferentes tempos 61

Figura 17 - Fluxograma detalhando as diferentes etapas no programa MeshValmet® 63

Figura 18 - Visualização da tela do Mesh Valmet® com mapa colorido, histograma e informações estatísticas 64
Figura 19 - Mapa colorido gerado no MeshValmet® 65
Figura 20 - Superposições e semitransparências para visualização dos deslocamentos entre os diferentes tempos no *Software* Geomagic Qualify 65
Figura 21 - Posicionamento dos centroides nos eixos X, Y e Z 66
Figura 22 - Movimentação aleatória no Dolphin Imaging® seguindo o envelope de discrepância do Proffit utilizada para calibração do método dos centroides 67
Figura 23 - Captura da tela do site www.lee.dante.br para o cálculo amostral 69

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Gráfico de Altman-Bland para deslocamento transversal da maxila medido pela diferença de posicionamento dos centroides 73

Gráfico 2 - Gráfico de Altman-Bland para deslocamento anteroposterior da maxila medido pela diferença de posicionamento dos centroides 74

Gráfico 3 - Gráfico de Altman-Bland para deslocamento vertical da maxila medido pela diferença de posicionamento dos centroides 74

Gráfico 4 - Gráfico de Concordância-sobrevivência para deslocamento transversal da maxila, medido pela diferença do posicionamento dos centroides 76

Gráfico 5 - Gráfico de Concordância-sobrevivência para deslocamento anteroposterior da maxila medido pela diferença do posicionamento dos centroides 77

Gráfico 6 - Gráfico de Concordância-sobrevivência para deslocamento vertical da maxila medido pela diferença do posicionamento dos centroides 77

Gráfico 7 - Gráfico de Altman-Bland para deslocamento transversal da mandíbula medido pela diferença de posicionamento dos centroides 79

Gráfico 8 - Gráfico de Altman-Bland para deslocamento anteroposterior da mandíbula medido pela diferença de posicionamento dos centroides 80

Gráfico 9 - Gráfico de Altman-Bland para deslocamento vertical da mandíbula medido pela diferença de posicionamento dos centroides 80

Gráfico 10 - Gráfico de Concordância-sobrevivência para deslocamento transversal da mandíbula medido pela diferença do posicionamento dos centroides 82

Gráfico 11 - Gráfico de Concordância-sobrevivência para deslocamento anteroposterior da mandíbula medido pela diferença do posicionamento dos centroides 82

Gráfico 12 – Gráfico de Concordância-sobrevivência para deslocamento vertical da mandíbula medido pela diferença do posicionamento dos centroides 83

Gráfico 13 - Gráfico de Altman-Bland para deslocamento transversal do mento medido pela diferença de posicionamento dos centroides 85
Gráfico 14 - Gráfico de Altman-Bland para deslocamento anteroposterior do mento medido pela diferença de posicionamento dos centroides 85
Gráfico 15 - Gráfico de Altman-Bland para deslocamento vertical do mento medido pela diferença de posicionamento dos centroides 86
Gráfico 16 - Gráfico de Concordância-sobrevivência para deslocamento transversal do mento medido pela diferença do posicionamento dos centroides 87
Gráfico 17 - Gráfico de Concordância-sobrevivência para deslocamento anteroposterior do mento medido pela diferença do posicionamento dos centroides 88
Gráfico 18 - Gráfico de Concordância-sobrevivência para deslocamento vertical do mento medido pela diferença do posicionamento dos centroides 88
Gráfico 19 - Gráfico de Altman-Bland para deslocamento transversal do Ramo Direito medido pela diferença de posicionamento dos centroides 90
Gráfico 20 - Gráfico de Altman-Bland para deslocamento anteroposterior do Ramo Direito medido pela diferença de posicionamento dos centroides 91
Gráfico 21 - Gráfico de Altman-Bland para deslocamento vertical do Ramo Direito medido pela diferença de posicionamento dos centroides 91
Gráfico 22 - Gráfico de Concordância-sobrevivência para deslocamento transversal do Ramo Direito medido pela diferença do posicionamento dos centroides 93
Gráfico 23 - Gráfico de Concordância-sobrevivência para deslocamento do Ramo Direito medido pela diferença do posicionamento dos centroides 93
Gráfico 24 - Gráfico de Concordância-sobrevivência para deslocamento vertical do Ramo Direito medido pela diferença do posicionamento dos centroides 94
Gráfico 25 - Gráfico de Altman-Bland para deslocamento transversal do Ramo Esquerdo medido pela diferença de posicionamento dos centroides 96

Gráfico 26 - Gráfico de Altman-Bland para deslocamento anteroposterior do Ramo Esquerdo medido pela diferença de posicionamento dos centroides 96
Gráfico 27 - Gráfico de Altman-Bland para deslocamento vertical do Ramo Esquerdo medido pela diferença de posicionamento dos centroides 97
Gráfico 28 - Gráfico de Concordância-sobrevivência para deslocamento transversal do Ramo Esquerdo medido pela diferença do posicionamento dos centroides 98
Gráfico 29 - Gráfico de Concordância-sobrevivência para deslocamento anteroposterior do Ramo Esquerdo medido pela diferença do posicionamento dos centroides 99
Gráfico 30 - Gráfico de Concordância-sobrevivência para deslocamento vertical do Ramo Esquerdo medido pela diferença do posicionamento dos centroides 99
Gráfico 31 - *Box plot* com representação dos valores das diferenças do posicionamento das estruturas medidos pelo RMS 101
Gráfico 32 - *Box plot* com representação dos valores das diferenças do posicionamento dos centroides das estruturas, considerando o sentido do deslocamento 103
Gráfico 33 - *Box plot* com representação dos valores das diferenças do posicionamento dos centroides das estruturas desconsiderando o sentido do deslocamento 105

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Teste de Normalidade para os valores de RMS 70

Tabela 2 - Teste de normalidade para a diferença de valores do posicionamento dos centroides nas coordenadas X (transversal), Y (anteroposterior) e Z (vertical) considerando o sentido do deslocamento 70

Tabela 3 - Teste de normalidade para a diferença de valores do posicionamento dos centroides nas coordenadas X (transversal), Y (anteroposterior) e Z (vertical) desconsiderando o sentido do deslocamento 71

Tabela 4 - Teste de Wilcoxon para os valores de RMS 72

Tabela 5 - Teste t pareado para os valores da diferença do posicionamento dos centroides considerando o sentido do deslocamento 72

Tabela 6 - Teste t pareado para os valores da diferença do posicionamento dos centroides, desconsiderando o sentido do deslocamento 75

Tabela 7 - Teste t pareado para os valores da diferença do posicionamento dos centroides considerando o sentido do deslocamento 79

Tabela 8 - Teste t pareado para os valores da diferença do posicionamento dos centroides desconsiderando o sentido do deslocamento 81

Tabela 9 - Teste t pareado para os valores da diferença do posicionamento dos centroides considerando o sentido do deslocamento 84

Tabela 10 - Teste t pareado para os valores da diferença do posicionamento dos centroides desconsiderando o sentido do deslocamento 87

Tabela 11 - Teste T pareado para os valores da diferença do posicionamento dos centroides considerando o sentido do deslocamento 90

Tabela 12 - Teste t pareado para os valores da diferença do posicionamento dos centroides desconsiderando o sentido do deslocamento 92

Tabela 13 - Teste T pareado para os valores da diferença do posicionamento dos centroides considerando o sentido do deslocamento 96

Tabela 14 - Teste t pareado para os valores da diferença do posicionamento dos centroides desconsiderando o sentido do deslocamento 98

Tabela 15 - Tabela com estatística descritiva contendo os valores mínimo, máximo, mediana, média e desvio padrão, para os valores de RMS 100

Tabela 16 - Tabela com estatística descritiva contendo os valores mínimo, máximo, média e desvio padrão, para os valores da diferença do posicionamento dos centroides considerando o sentido de deslocamento 102

Tabela 17 – Estatística descritiva contendo os valores mínimo, máximo, média e desvio padrão, para os valores da diferença do posicionamento dos centroides desconsiderando o sentido de deslocamento 104

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

3D	Tridimensional
CAD	*Computer Aided Design*
CAM	*Computer Aided Manufacturing*
CBCT	*Cone-beam computed tomography*
CEP	Comitê de Ética em Pesquisa
DICOM	*Digital Imaging and Communication in Medicine*
DP	Desvio Padrão
FOV	*Field of view*
HUPE	Hospital Universitário Pedro Ernesto
IV	*SGI open inventor*
MIH	Máxima Intercuspidação Habitual
MSD	*Mean Square Distance*
MTC	Modelo de Transferência do sistema de Coordenadas
n	Número de indivíduos da amostra
PNC	Posição Natural de Cabeça
RAI	Região Anatômica de Interesse
RMS	*Root Mean Square*
RMSD	*Root Mean Square Distance*
STL	*Stereolithography*
T1	Tempo pré-cirúrgico
T1S	Tempo pré-cirúrgico com simulação cirúrgica
T2	Tempo pós-cirúrgico
TCFC	Tomografia Computadorizada de feixe cônico
UERJ	Universidade do Estado do Rio de Janeiro
USP	Universidade de São Paulo
VTK	*Visualization Toolkit*
WRL	*Virtual reality world*

SUMÁRIO

	INTRODUÇÃO	20
1	**REVISÃO DA LITERATURA**	22
1.1	**Planejamento Cirúrgico Convencional**	22
1.2	**Planejamento Cirúrgico Virtual**	24
1.3	**Avaliação dos resultados obtidos com cirurgias realizadas com planejamento virtual**	27
1.3.1	Quanto à acurácia	27
1.3.2	Quanto aos métodos de avaliação	34
1.4	**Comparação entre o planejamento convencional e o planejamento virtual**	38
2	**PROPOSIÇÃO**	42
3	**MATERIAL E MÉTODO**	43
3.1	**Aspectos éticos**	43
3.2	**Tipo de estudo**	43
3.3	**Sujeitos da pesquisa**	43
3.3.1	Critérios de inclusão	44
3.3.2	Critérios de exclusão	45
3.4	**Documentação Pré e Pós-Cirúrgica e Realização das Cirurgias**	45
3.5	**Protocolo de aquisição das imagens tomográficas e modelos**	45
3.6	**Realização do Planejamento Virtual**	47
3.7	**Pós-processamento das imagens**	49
3.7.1	No programa Dolphin Imaging®	50
3.7.2	No programa ITK-SNAP®	53
3.7.3	No programa Geomagic Qualify®	56
3.7.4	Conversão dos modelos virtuais 3D registrados	62
3.7.5	Quantificação das alterações	62
3.8	**Calibração**	66
3.9	**Análise estatística**	68
4	**RESULTADOS**	69
4.1	**Cálculo amostral**	69
4.2	**Normalidade da amostra**	69

4.3 **Avaliação do segmento maxilar** 71
4.3.1 Avaliação pelo valor de RMS 71
4.3.2 Avaliação pelo valor da diferença do posicionamento dos centroides considerando o sentido do deslocamento 72
4.3.3 Avaliação pelo valor da diferença do posicionamento dos centroides sem considerar o sentido do deslocamento 75
4.4 **Avaliação do segmento mandibular** 78
4.4.1 Avaliação pelo valor de RMS 78
4.4.2 Avaliação pelo valor da diferença do posicionamento dos centroides, considerando o sentido do deslocamento 78
4.4.3 Avaliação pelo valor da diferença do posicionamento dos centroides sem considerar a direção do deslocamento 81
4.5 **Avaliação do segmento do mento** 83
4.5.1 Avaliação pelo valor de RMS 84
4.5.2 Avaliação pelo valor da diferença do posicionamento dos centroides considerando o sentido do deslocamento 84
4.5.3 Avaliação pelo valor da diferença do posicionamento dos centroides sem considerar a direção do deslocamento 86
4.6 **Avaliação do segmento do ramo direito** 89
4.6.1 Avaliação pelo valor de RMS 89
4.6.2 Avaliação pelo valor da diferença do posicionamento dos centroides considerando o sentido do deslocamento 89
4.6.3 Avaliação pelo valor da diferença do posicionamento dos centroides sem considerar a direção do deslocamento 92
4.7 **Avaliação do segmento do ramo esquerdo** 94
4.7.1 Avaliação pelo valor de RMS 95
4.7.2 Avaliação pelo valor da diferença do posicionamento dos centroides considerando o sentido do deslocamento 95
4.7.3 Avaliação pelo valor da diferença do posicionamento dos centroides sem considerar a direção do deslocamento 97
4.8 **Avaliação da relevância clínica das medidas** 100
4.8.1 Avaliação pelos valores de RMS 100

4.8.2 Avaliação pelos valores dos centroides considerando o sentido do deslocamento 101
4.8.3 Avaliação pelos valores dos centroides desconsiderando o sentido do deslocamento 103
5 **DISCUSSÃO** 106
5.1 **Do Material** 106
5.1.1 Composição da amostra 106
5.1.2 Exames utilizados para o planejamento virtual e avaliação dos resultados da cirurgia 107
5.2 **Dos Métodos** 109
5.2.1 Planejamento Virtual 109
5.2.1.1 Programa utilizado 109
5.2.1.2 Realização por diferentes cirurgiões de um mesmo centro 110
5.2.2 Programas utilizados para pós-processamento das imagens 110
5.2.3 Calibração 111
5.2.4 Análises estatísticas 112
5.3 **Dos Resultados** 113
5.4 **Significado clínico** 114
5.5 **Avaliação crítica** 116
CONCLUSÃO 118
REFERÊNCIAS 119
APÊNDICE A - Termo de Consentimento Livre e Esclarecido Pós-informação 128
APÊNDICE B – Passo a Passo no Programa Dolphin Imaging® 11.9 129
APÊNDICE C – Passo a Passo no Programa Geomagic Qualify® 131
ANEXO - Aprovação do Comitê de Ética em Pesquisa 134

INTRODUÇÃO

A cirurgia ortognática é uma área da cirurgia bucomaxilofacial que se propõe a tratar deformidades dentofaciais através do reposicionamento do complexo maxilo-mandibular, para uma posição mais balanceada, funcional e esteticamente agradável. O planejamento cirúrgico, para obter a harmonia e a estabilidade desejadas, envolve procedimentos complexos e a acurácia é essencial.

O planejamento cirúrgico, conhecido como planejamento convencional, utiliza-se de análises cefalométricas, análises faciais e modelos de gesso montados em articulador semiajustável, para o planejamento das movimentações que serão realizadas, e faz a transferência do planejamento para o ambiente cirúrgico, através da confecção de posicionadores interoclusais em resina acrílica. (3)

Os avanços na obtenção de imagens, nos *softwares* de planejamento e na tecnologia de prototipagem, têm permitido a adoção de protocolos de planejamento virtual tridimensional e a confecção de *splints* prototipados, baseados nesses planejamentos. (4-10)

O planejamento cirúrgico virtual oferece novas possibilidades de visualização da relação entre os arcos dentários e os ossos que circundam estas estruturas, em um modelo virtual único. Esta abordagem oferece diversas vantagens quando comparada ao planejamento cirúrgico convencional, como visualização de deformidades e assimetrias impossíveis de se detectar em um planejamento convencional, liberdade de simular diferentes procedimentos cirúrgicos, a fim de obter os melhores resultados para os pacientes, possibilidade de verificação prévia das possíveis complicações e facilidade de avaliar e corrigir a relação cêntrica na articulação temporomandibular. (1, 2)

Os planejamentos cirúrgicos virtuais são realizados com o auxílio de diferentes *softwares*. Cada *software* utiliza algoritmos próprios para a realização desses planejamentos.(1)

Como toda nova metodologia introduzida na prática clínica, esses procedimentos precisam ser testados nos seus mais diversos aspectos, como acuracidade, precisão, custos e facilidade de uso, bem como comparados com os métodos já consagrados na prática clínica. No caso dos planejamentos virtuais, cada *software* utilizado precisa ser testado, pois não pode se supor que os resultados obtidos com um determinado programa se repetirão em outro com o mesmo fim.

Existem diversas metodologias para se testar a acuracidade dos métodos de tratamento orto-cirúrgicos, que são desde avaliações visuais dos resultados, sem um sistema ordenado de medições (11), passando por diversos métodos de avalições bidimensionais (12-16) até os métodos mais atuais e mais recomendados, que envolvem avaliações tridimensionais. (17-19)

Considerando-se que o *software Dolphin Imaging*® é um dos programas mais utilizados para planejamento das cirurgias virtuais, é muito importante se testar a acurácia deste para tais procedimentos. Na literatura existem poucos trabalhos avaliando a acurácia do planejamento virtual com a utilização deste programa e os trabalhos que utilizaram-no e se propuseram a testar a sua acurácia fizeram por métodos de avaliação bidimensionais. (13-15, 20) Não existe na literatura trabalhos com avaliações tridimensionais, seguindo os parâmetros de qualidade considerados adequados. (21) Diante da escassez de trabalhos com dados tridimensionais sobre a acurácia do planejamento cirúrgico virtual realizado com o *software Dolphin Imaging*® e do seu amplo uso com esse objetivo, torna-se necessário e urgente que estudos com avaliação tridimensional e metodologias adequadas sejam realizados.

1 REVISÃO DA LITERATURA

1.1 Planejamento Cirúrgico Convencional

Este tipo de planejamento é executado desde o século XIX (22-24) e com resultados já bem estabelecidos na literatura mundial. (25-27)

Segundo Medeiros e Medeiros (3), o planejamento convencional para cirurgias ortognáticas bimaxilares envolve diversas etapas e pode resumidamente ser descrito da seguinte forma: parte-se dos modelos de ambas as arcadas, montados em um articulador semiajustável. O modelo superior é removido do articulador e colocado na plataforma de Erickson, que possui um paquímetro que auxilia na obtenção dos registros verticais, anteroposteriores e transversais. O modelo superior é então seccionado e reposicionado, conforme o que foi decidido no plano de tratamento, sendo checadas todas as modificações, e depois levado de volta ao articulador. O modelo inferior é então cortado e levado à posição desejada com o superior, e a goteira de oclusão é confeccionada. A etapa seguinte consiste na retirada do modelo inferior "operado" e na colocação de um segundo modelo inferior "não operado", sendo confeccionada a goteira intermediária, que permite o registro da maxila, na posição desejada, com a mandíbula ainda na posição original. Esta goteira intermediária permite que utilizemos a mandíbula como referência para o posicionamento da maxila em cirurgias combinadas. Relataram que o planejamento também pode ser realizado de forma que a mandíbula seja operada primeiro, mas, da mesma forma, os modelos precisam ser recortados e reposicionados para a confecção do *splint*.

Ellis (28) avaliou a acurácia da cirurgia de modelos, através dos resultados obtidos em cirurgias realizadas por residentes do 4º ano. Com os resultados deste trabalho, afirmou que a cirurgia de modelos realizada da forma clássica é variável e frequentemente imprecisa e que esta imprecisão está relacionada com o que é medido ao longo das linhas de referência, com o que acontece no nível dos dentes, com a dificuldade em realizar medições precisas ao longo das superfícies complexas dos modelos e com os problemas de montagem no articulador.

Em 1998, Donatsky et al. (29) realizaram trabalho com 40 pacientes avaliados de forma consecutiva, submetidos à cirurgia ortognática bimaxilar. Os planejamentos foram feitos de forma convencional, com um programa computadorizado de cefalometria. As cirurgias tiveram fixação rígida e não tiveram bloqueio maxilo-mandibular. Na comparação

dos resultados entre o planejamento e o obtido na cirurgia real, foi observada variação entre 0,4mm e 1,9mm para o posicionamento da maxila, e entre 0,9mm e 2mm para o posicionamento da mandíbula.

Cousley e Grant (25) avaliaram a acurácia do planejamento convencional em uma amostra retrospectiva de 25 pacientes Classe II, tratados com avanço mandibular. Os traçados cefalométricos laterais pré e pós-operatórios foram digitalizados e o traçado pós-operatório foi comparado com o planejamento. Eles observaram boa acurácia em relação aos valores médios, mas afirmaram que houve grandes variações individuais. A falta de acurácia que mais se destacou foi o deslocamento vertical para baixo da mandíbula, que os autores atribuíram ao uso da goteira interoclusal.

Eckhardt e Cunningham (26) também avaliaram a acurácia do planejamento convencional, mas comparando os resultados deste planejamento sendo feito manualmente e sendo feito já auxiliado por um programa de computador, embora ainda não fosse um planejamento virtual. A amostra do trabalho teve 70 pacientes distribuídos em dois grupos: um com pacientes portadores de má oclusão de Classe III, que foram submetidos a cirurgia bimaxilar, e um com pacientes portadores de má oclusão de Classe II, submetidos a cirurgia de avanço mandibular. Os resultados entre o obtido na cirurgia real e o planejado foram comparados e não houve diferença entre os dois planejamentos para o grupo que foi submetido a avanço mandibular isolado, mas houve diferença no grupo submetido à cirurgia bimaxilar, com o planejamento manual mostrando-se melhor.

Proffit et al. (30) publicaram um artigo fazendo uma revisão sobre a hierarquia de estabilidade e previsibilidade em cirurgia ortognática com fixação rígida, uma vez que, em 1996, este grupo havia publicado o primeiro artigo abordando o tema. Estes pacientes foram operados com planejamento convencional. Concluíram que a base de dados tornou claro que resultados clínicos satisfatórios podem ser obtidos e mantidos, a longo prazo, na maioria dos pacientes submetidos à cirurgia ortognática.

Segundo Faber (31), este método foi testado pelo tempo, pois ele é implementado há décadas e se mostra eficaz. Afirmou, ainda, que é necessária uma longa formação do profissional para que seja capaz de executar este tipo de planejamento, e que as mudanças cirúrgicas para esse tipo de planejamento são determinadas por posições cefalométricas.

Moreira e Leal (32) descreveram o método convencional para realização do planejamento da cirurgia ortognática e afirmaram que este método apresenta limitações devido a distorções dos exames e imprecisão das mensurações.

Para diversos autores, este tipo de planejamento é bastante trabalhoso, consome bastante tempo do cirurgião e incorpora erros das diversas fases. (7, 33-36) Alguns problemas em relação ao planejamento da cirurgia ortognática realizada de forma convencional diz respeito ao correto posicionamento dos côndilos, que é um fator difícil de controlar (37-40), e a impossibilidade de se visualizar as mudanças esqueléticas, pois, com esse tipo de planejamento, apenas as mudanças oclusais são analisadas. (1, 28, 41)

1.2 **Planejamento Cirúrgico Virtual**

Os avanços na obtenção de imagens, nos *softwares* de planejamento e na tecnologia de transferência do planejamento para a confecção de *splints* cirúrgicos, abriu a possibilidade para que novos modelos de planejamentos para cirurgia ortognática fossem executados. (1)

O planejamento cirúrgico virtual compreende diversas etapas e a excelência em cada uma dessas etapas é essencial para que se possa obter um resultado adequado. Uma ótima apresentação dessas etapas foi realizada por Farrel et al. (42), em um trabalho intitulado de "Planejamento Cirúrgico Virtual em Cirurgia Ortognática", onde detalharam as etapas para a realização do planejamento virtual. Segundo os autores, para que este modo de planejamento seja eficiente é necessária obtenção de dados tridimensionais através de tomografias computadorizadas e de modelos das arcadas obtidos de modelos de gesso, escaneados ou tomografados, ou do próprio escaneamento intraoral. Depois, o planejamento virtual é feito estabelecendo-se as osteotomias e reposicionando as bases ósseas de acordo com a posição dos incisivos, correção de linha média e desnível oclusal. Mudanças oclusais com rotações horárias ou anti-horárias, para complementar as proporções faciais, e rotações para estabelecer simetrias são também realizadas. Afirmaram que o planejamento é realizado em um esforço para simplificar as etapas intraoperatórias, e não para equalizar números. A partir disso, os *splints* intermediários e finais, guias de corte de osteotomias e outros templates são confeccionados. Para os autores, no momento da cirurgia os procedimentos são facilitados, uma vez que os possíveis problemas já foram vistos no momento do planejamento e que as formas de superá-los também já foram previamente estudadas. Concluíram que o planejamento cirúrgico virtual pode fazer com que um "cirurgião médio, em um dia médio, obtenha resultados cirúrgicos bons". Nesta publicação, os autores apresentaram as etapas da cirurgia ortognática com planejamento virtual sem a apresentação de nenhum caso clínico.

Choi et al. (7) publicaram o relato de um caso clínico para ilustrar a cirurgia virtual de modelos e fabricação de *splint* prototipado para cirurgia ortognática. O paciente era do gênero masculino, com 18 anos de idade, má oclusão de Classe III por prognatismo mandibular e assimetria facial. Foi realizada tomografia computadorizada e modelos das arcadas, para a realização do planejamento, e foram utilizadas goteiras intermediária e final, para a realização da cirurgia, ambas confeccionadas por prototipagem, seguindo o planejamento virtual. Após o término do tratamento, foi realizada nova cefalometria e essa foi comparada com a cefalometria pré-tratamento. Os autores concluíram que o paciente foi tratado com sucesso, com uma combinação de tratamento ortodôntico e cirurgia ortognática com planejamento virtual, mas que este trabalho reportou um caso único e que novos trabalhos seriam necessários para comprovar a efetividade e reprodutibilidade do método.

Levine et al. (9) publicaram um trabalho com o objetivo, segundo eles, de apresentar o novo estado da arte das cirurgias virtuais naquele momento. Afirmaram que as cirurgias virtuais, utilizando tecnologia computadorizada de planejamento e confecção de *splints*, são extremamente previsíveis e oferecem confiabilidade, mesmo nas reconstruções mais complexas. Disseram que guias podem ser criados para auxiliar nas osteotomias e colocações das placas de fixação e que, com o uso desses guias e adição de tecnologia guiada, os posicionamentos ósseos podem ser garantidos intraoperatoriamente. Os autores apresentaram três casos onde utilizaram as técnicas descritas.

Lee (43) fez relato de um caso clínico para apresentar uma ferramenta para auxiliar a transferência do planejamento virtual para a cirurgia real. Afirmaram que esta espécie de régua, utilizada para conferir o posicionamento vertical e horizontal da maxila e da mandíbula durante a cirurgia, pode ser útil para aumentar a acurácia do procedimento cirúrgico.

Adolphs et al. (44) publicaram um artigo relatando a experiência do grupo de pesquisa em sete anos de experiência na realização de cirurgias ortognáticas com o uso de planejamentos virtuais. Afirmaram que o planejamento virtual pode ser realizado para todos os níveis da estrutura craniofacial e que mesmo simulações de deslocamentos esqueléticos complexos têm boa correspondência com os resultados cirúrgicos reais. Segundo os autores, o trabalho e o custo adicionais podem ser justificados pelo aumento das possibilidades de visualização, informação, instrução e documentação em procedimentos craniomaxilofaciais selecionados.

Krutoy e Appelblatt (45) relataram dois casos de mau posicionamento da maxila, tratados com planejamento virtual e operados com cirurgias bimaxilares. Afirmaram que, embora esta tecnologia tenha melhorado muito a predição da posição esquelética, ela não é

infalível e que os cirurgiões têm que estar vigilantes, para garantirem a recolocação apropriada dos componentes esqueléticos, a fim de obterem excelência nos resultados.

Dai et al. (46) publicaram um trabalho com objetivo de apresentar um modelo de *splint* oclusal modificado para ser utilizado na cirurgia ortognática virtual que, segundo eles, aumenta a previsibilidade dos resultados, diminui o tempo gasto no planejamento da cirurgia e pode oferecer um método educacional útil para treinamento de residentes e cirurgiões recém-formados. Os autores exemplificaram a metodologia com a aplicação em um caso clínico.

Uechi et al. (47) desenvolveram e avaliaram um método para geração de modelos virtuais 3D em pacientes com múltiplos materiais dentários, para evitar os efeitos adversos dos artefatos metálicos na fusão da imagem. Afirmaram ser este fator de extrema importância para que um planejamento adequado possa ser realizado, pois se não houver como realizar esta fusão entre o modelo e a tomografia, não há como realizar planejamentos virtuais adequados.

Han et al. (48) também realizaram trabalho com a intenção de desenvolver um *splint* customizado para melhorar os resultados das cirurgias virtuais. Utilizaram o *splint* idealizado por eles para auxiliar a osteotomia de Le fort I e posterior fixação da maxila, de acordo com o planejamento cirúrgico virtual em um paciente. Afirmaram que os *splints* interoclusais promovem rotação da mandíbula e que *splints* baseados nas superfícies ósseas, como o desenvolvido e apresentado por eles, podem solucionar este problema.

Lee et al. (49) publicaram um trabalho, onde apresentaram um tipo de planejamento e transferência de cirurgia virtual, com amostra de um paciente do gênero feminino, de 19 anos de idade. Para a construção do modelo craniofacial para realização do planejamento, a oclusão era obtida com o uso de posicionadores com marcadores fiduciais, posicionados nos modelos e na boca do paciente durante a realização da tomografia computadorizada. O planejamento cirúrgico era realizado de forma virtual e transferido para o momento cirúrgico por navegação. Afirmaram que a execução deste protocolo pode melhorar os resultados da cirurgia virtual realizada com auxílio de navegação intraoperatória.

1.3 **Avaliação dos resultados obtidos com cirurgias realizadas com planejamento virtual**

1.3.1 Quanto à acurácia

A primeira revisão sistemática sobre o tema foi realizada em 2014 por Stokbro et al. (1) Essa revisão sistemática analisou a precisão e acurácia do planejamento cirúrgico virtual tridimensional de procedimentos de cirurgia ortognática comparados com o resultado cirúrgico real, reportados em amostras clínicas. Um dos critérios para a inclusão na revisão era que o estudo tivesse pelo menos cinco pacientes na amostra. No total, sete artigos foram incluídos nesta revisão. As amostras dos artigos tinham entre 5 e 65 pacientes, resultando em um tamanho de amostra combinada de 149 pacientes, com idade média de 25,2 anos, variando de 10 anos a 51 anos. Três dos trabalhos recrutaram os pacientes de forma consecutiva e quatro não informaram a maneira pela qual a amostra foi selecionada. O risco de vieses foi considerado de moderado a alto, devido a alguns desses trabalhos terem recebido suporte financeiro de indústrias relacionadas ao desenvolvimento da técnica, ou estarem envolvidas no desenvolvimento de patentes. *Softwares* diferentes foram usados para os planejamentos virtuais (quatro trabalhos usaram diferentes *softwares* de acesso livre e três usaram o SimPlant®). Seis dos estudos incluídos fizeram a transferência do planejamento virtual para a cirurgia real, através de posicionadores produzidos com tecnologia *computer-aided design/computer-aided manufacturing* (CAD/CAM) e um utilizou navegação. As formas de medição da precisão e acurácia foram avaliadas de diferentes maneiras, o que tornou impossível a comparação entre os estudos. Em três trabalhos foram realizadas medições lineares entre as superfícies, com superposição por *best-fit*, em três foram feitas medições em pontos pré-estabelecidos, para medição das variações tridimensionais, e em um foi feita marcação de pontos com análise bidimensional. Em seis dos sete artigos, o critério de sucesso considerado foi diferença média menor que 2mm entre o planejado na cirurgia virtual e o obtido na cirurgia real, e em um foi utilizado índice de correlação intraclasse (ICC) entre o planejado e o obtido. Entre os trabalhos que consideraram o valor menor que 2mm para predizer o sucesso dos procedimentos, três obtiveram 100% de sucesso nos pacientes, um obteve 95% de sucesso, um obteve 86,5% de sucesso e um obteve 80% de sucesso. Nem todos os estudos, no entanto, avaliaram os mesmos segmentos, pois dos sete trabalhos apenas três incluíram apenas cirurgias bimaxilares em suas amostras, e desses três trabalhos, dois não

fizeram mentoplastia em nenhum dos participantes, e no terceiro este procedimento foi realizado em aproximadamente 30% dos participantes. A conclusão desta revisão sistemática foi que o planejamento virtual aparenta ser um método acurado e reprodutível para planejamento de cirurgia ortognática, mas que amostras clínicas mais independentes são necessárias para validar ainda mais a precisão do planejamento virtual.

Uma segunda revisão sistemática foi publicada em 2015, por Haas Jr et al. (2) que buscaram avaliar a acurácia e os benefícios do planejamento virtual na cirurgia ortognática. Para ser incluído nesta revisão, as pesquisas tinham que ter amostras originais e serem estudos de intervenção com medição de acurácia para o procedimento cirúrgico. Nove publicações foram incluídas nesta revisão, todos os estudos foram prospectivos e apenas um era um estudo clínico randomizado controlado (RCT). A amostra total dos estudos incluídos, todos usando tecnologia CAD/CAM, foi de 137 indivíduos, com idade média entre 20 e 30 anos, de ambos os gêneros e portadores de deformidades faciais de Classe II e Classe III, distribuídos com proporção de aproximadamente 50%. Todos os estudos usaram análises clínicas e imagens tridimensionais para o planejamento virtual, sendo que três usaram CBCT para análise 3D, quatro usaram tomografia convencional e dois usaram ambos os métodos. A fusão das imagens dos arcos dentários com as imagens faciais das tomografias foi realizada em cinco estudos: três utilizaram apenas as imagens das tomografias e um usou o escaneamento do registro de mordida. A maior parte dos procedimentos envolveu cirurgias bimaxilares. Foram utilizados seis *softwares* de planejamento diferentes. Cinco pesquisas avaliaram a acurácia dos movimentos cirúrgicos translacionais e rotacionais e quatro avaliaram apenas os movimentos de translação. Com relação ao método de avaliação, sete estudos mensuraram a diferença entre o planejado e os resultados da cirurgia em milímetros, graus ou ambos, um avaliou a concordância em porcentagem e um estudo utilizou o ICC. O planejamento virtual para cirurgia ortognática foi considerado acurado pelos estudos incluídos nesta revisão, mas a forma de avaliação variou muito, tendo desde estudos com avaliação cefalométrica bidimensional até superposições tridimensionais baseadas em voxel. Além disso, os segmentos avaliados também não tiverem homogeneidade entre os estudos, com todos fazendo medições para o posicionamento da maxila, seis fazendo medições para o posicionamento de mandíbula, três do posicionamento do mento e apenas um realizando medições para o posicionamento dos ramos mandibulares, sendo que em nenhum dos estudos incluídos houve avaliação de todos os segmentos. Quanto aos benefícios deste tipo de planejamento sobre o planejamento cirúrgico convencional, os autores afirmaram que, devido

à baixa qualidade dos estudos, amostras clínicas randomizadas são necessárias para avaliar este quesito.

Embora estas revisões sistemáticas sejam bastante recentes, trabalhos com planejamento virtual para cirurgia ortognática já vêm sendo realizados desde o início deste século. Os primeiros trabalhos trataram sobre a execução da técnica em si e, posteriormente a esta primeira etapa de desenvolvimento, surgiram os primeiros trabalhos que se propuseram a verificar a acurácia deste tipo de tratamento. Os primeiros trabalhos publicados com este objetivo foram publicados há aproximadamente 10 anos (50, 51) e vêm sendo melhorados em relação ao tamanho da amostra, padronização de procedimentos e qualidade dos mecanismos de avaliação.

Marchetti et al. (50) avaliaram a acurácia do planejamento virtual com amostra de 25 pacientes, utilizando um *software* independente. Os pacientes tiveram as osteotomias maxilares e/ou mandibulares planejadas com metodologia tridimensional. O estudo foi feito com tomografias computadorizadas convencionais e a tomografia pós- operatória foi realizada entre três meses e seis meses após a cirurgia. O registro entre as tomografias foi baseado em superfície. As medições foram lineares entre os dois tempos. Relataram que 80% da amostra mostrou diferença entre o planejado virtualmente e o obtido na cirurgia real menor que 2mm, que afirmaram ser o limite de tolerância dos cirurgiões bucomaxilofaciais e o considerado na literatura internacional para as medições feitas em cefalometrias.

Xia et al. (51) fizeram trabalho com amostra de cinco pacientes para verificar a acurácia do planejamento virtual em pacientes com deformidades craniofaciais complexas. As cirurgias foram planejadas virtualmente e os planejamentos transferidos por *splints* prototipados gerados pelo computador. Para avaliação, foram realizadas superposições entre os modelos pré-operatório simulado e pós-operatório por *best fit*, e depois foram realizadas as medições lineares e angulares. Os critérios usados para determinar a acurácia do planejamento foram diferenças lineares menores que 2mm e diferenças angulares menores que 4° nos eixos X, Y, Z, para 9 pontos pré determinados. Relataram que as diferenças médias encontradas foram limitadas a 0,9mm e 1,7°. Concluíram que os resultados deste estudo foram promissores, mas afirmaram que outros estudos são necessários.

Tucker et al. (52) conduziram um trabalho com o objetivo de determinar se a cirurgia virtual, realizada em modelos tridimensionais construídos com CBCTs, pode simular corretamente os resultados cirúrgicos reais e validar a capacidade desta tecnologia para recriar os movimentos na cirurgia ortognática. A amostra foi composta por 20 pacientes, quatorze com cirurgia bimaxilar e seis com cirurgia apenas na maxila, realizando planejamento com

software independente. A avaliação entre os tempos foi feita no *software* CranioMaxilloFacial application (CMF), por superposição dos modelos. Relataram que não houve diferença estatisticamente significante, entre o simulado e o obtido cirurgicamente, para nenhuma das regiões de interesse, e que apenas o ramo direito mostrou diferença estatisticamente significativa. Concluíram que o método de planejamento virtual utilizado foi reprodutível, que a simulação computadorizada tem o potencial de aumentar a previsibilidade na sala cirúrgica e que os residentes podem ser beneficiados com treinamento por esta técnica.

Mazzoni et al. (53) realizaram trabalho com 10 pacientes, que foram tratados com planejamento virtual tridimensional individualizado, realizado com o *software* SurgiCase®, cirurgia por navegação intraoperatória e validação através da avaliação da reprodutibilidade. As tomografias pós-operatórias foram realizadas de um a seis meses após a cirurgia, e as tomografias pré-operatória e pós-operatória tiveram registro baseado em superfície. Afirmaram que as diferenças mais importantes entre o planejado e o obtido estavam relacionadas com o posicionamento vertical dos segmentos, e que o método de navegação intraoperatória pode aumentar a reprodutibilidade da simulação. Relataram que a reprodutibilidade média do planejamento com assistência de navegação intraoperatória foi de 86,5%, considerando como sucesso diferenças menores que 2mm, e que essa é maior do que a obtida pelo mesmo grupo de pesquisa em um trabalho onde não utilizaram o procedimento de navegação.

Aboul-Hosn Centenero e Hernándes-Alfaro (35) relataram suas experiências em 16 casos onde realizaram planejamento cirúrgico virtual, com o *software* SimPlant®. Nesses casos, eles avaliaram a concordância entre o *splint* tradicional e o prototipado no momento da cirurgia, e os resultados pós-operatórios comparados ao planejamento virtual executado. A comparação entre os *splints* foi feita por medição de pontos pré-estabelecidos durante a cirurgia. Para realizar a avaliação da acurácia do planejamento virtual, foram realizadas tomografias três meses após a cirurgia, e as diferenças entre o planejado e o obtido na cirurgia para tecidos duros e moles foram calculadas e mostraram um alto grau de correlação em 15 dos 16 casos para os tecidos duros. Os tecidos moles mostraram uma correlação menor, principalmente na área labial. Concluíram que o *software* utilizado no trabalho foi confiável para o planejamento tridimensional e para a confecção dos *splints*.

Foley et al. (54) analisaram os erros obtidos com o planejamento virtual cirúrgico em quatro pacientes mulheres submetidas a cirurgias bimaxilares. A avaliação foi feita comparando a tomografia pré-cirúrgica com a tomografia realizada dois meses após a cirurgia, com avaliação realizada pela comparação do posicionamento de cinco pontos

escolhidos, segundo os autores, pelas suas relevâncias estética e funcional. Concluíram que os resultados da cirurgia são previsíveis baseados nesses pontos.

Em 2012, Zinser et al. (17) publicaram um estudo com oito pacientes que utilizaram posicionadores baseados em superfície além de goteira oclusal, apresentando a viabilidade do uso desses *splints* cirúrgicos confeccionados com tecnologia CAD/CAM nas cirurgias ortognáticas. A amostra do trabalho foi composta por pacientes portadores de má oclusão de Classe III tratados com osteotomia bimaxilar, com planejamento realizado com o *software* SimPlant®. O planejamento virtual foi comparado com o resultado cirúrgico pós-operatório, usando fusão de imagem das tomografias e análise das medições entre marcações em tecidos moles e duros. O planejamento virtual mostrou precisão clinicamente aceitável para o posicionamento da maxila e dos côndilos, precisão média para a posição da mandíbula e baixa precisão para os tecidos moles.

Zinser et al. (40) realizaram uma pesquisa com 30 pacientes, comparando o uso de *splints* de posicionamento adicionais à goteira oclusal (oito pacientes que faziam parte da amostra do trabalho anterior), o posicionamento por procedimento de navegação cirúrgica (10 pacientes) e o posicionamento por *splint* interoclusal (12 pacientes). O planejamento virtual foi realizado com o *software* SimPlant® e todas as cirurgias foram bimaxilares. A superposição entre os modelos dos dois tempos foi feita por registro baseado em voxel, e depois 19 parâmetros foram utilizados na avaliação. Os resultados obtidos por cada método foram comparados e a maior acurácia para a transferência do planejamento foi obtida com o uso dos posicionadores apoiados em superfícies ósseas, seguidos pela navegação, e por último ficaram os *splints* interoclusais. Afirmaram que a diferença mais visível em relação à acurácia da cirurgia com planejamento virtual foi observada no posicionamento vertical da maxila e da mandíbula e na rotação do plano mandibular em relação ao plano de Frankfort. Relataram ainda que somente os posicionadores adicionais foram capazes de manter os côndilos nas suas posições centrais na articulação temporomandibular.

Sun et al. (55) realizaram pesquisa com quinze pacientes submetidos à cirurgia ortognática bimaxilar. As tomografias pré-cirúrgicas, com a simulação virtual, e pós-cirúrgicas realizadas seis semanas após a cirurgia foram registradas baseada em voxels, e a diferença do posicionamento de um ponto na incisal do incisivo central superior foi calculado nos três planos do espaço. As medições para esse ponto foram repetidas após quatro semanas, pelo mesmo avaliador. Não houve diferença estatisticamente significativa entre o movimento planejado e o obtido nas três dimensões para o ponto analisado.

Li et al. (56) realizaram um trabalho com amostra de seis pacientes operados com um novo modelo de posicionador, para guiar as osteotomias e o posicionamento da maxila, e com o *splint* oclusal tradicional, para guiar o posicionamento da mandíbula, ambos gerados por tecnologia CAD/CAM. O design dos posicionadores cirúrgicos era baseado no planejamento 3D e incluía um guia para a osteotomia Le Fort I e para o reposicionamento da maxila, sendo o posicionador utilizado para a maxila, dividido em três peças, e o *splint* oclusal tradicional, utilizado para o posicionamento da mandíbula. Medições foram feitas nas tomografias pós-operatórias em relação aos marcadores de tecidos duros posicionados na maxila. Os resultados das medições foram analisados e comparados com o planejamento virtual e mostraram precisão clinicamente aceitável para a posição da maxila, com diferença menor que 1mm.

Shehab et al. (57) também testaram um novo modelo de *splint* virtual em um trabalho com amostra de seis pacientes. O *splint* desenvolvido por eles era dento-muco suportado e objetivava controlar os movimentos maxilares vertical, rotacional e anteroposterior. Radiografias cefalométricas laterais foram realizadas uma semana antes e uma semana após a cirurgia, para comparar os resultados do segmento maxilar entre o planejado e o obtido. Estatisticamente, não houve diferença entre os movimentos planejados e obtidos, tanto para as medidas verticais quanto para as horizontais. Em quatro pacientes, a diferença entre os movimentos horizontais foi de 1mm ou menos, e em cinco, os movimentos verticais foram de 1mm ou menos.

Hernández-Alfaro e Guijarro-Martínez (58) realizaram pesquisa para validar um novo protocolo de planejamento ortognático cirúrgico tridimensional com a geração de *splints* confeccionados por tecnologia CAD-CAM. O estudo foi feito em duas partes: a primeira consistindo em um estudo in vitro com três crânios secos, e a segunda em um estudo clínico prospectivo com seis pacientes, com o objetivo de calcular a diferença entre a posição maxilar planejada e a obtida nos três eixos (X, Y, Z). Todos os pacientes foram submetidos a cirurgias bimaxilares com planejamento realizado no *software* SimPlant® e foram operados utilizando goteira prototipada. A medição da acurácia foi feita entre o planejamento virtual e o escaneamento de superfície de ambos os arcos relacionados com o *splint* intermediário após o reposicionamento maxilo-mandibular. A diferença entre os posicionamentos simulados e obtidos para a maxila variou de 0,25mm a 1,39mm, e a maior discrepância foi encontrada no eixo vertical.

O trabalho de avaliação da acurácia do planejamento virtual com maior amostra é o de Hsu et al. (4) que foi um estudo multicêntrico com 65 pacientes. O objetivo primário deste trabalho foi medir as diferenças lineares e angulares para maxila, mandíbula e mento entre o

planejado, sendo o planejamento feito com o *software* SimPlant®, e o obtido na cirurgia real. As tomografias pós-operatórias foram realizadas seis semanas após a cirurgia. O registro entre os crânios dos dois tempos foi realizado por *best-fit*. As medições eram feitas após superposição com marcação de pontos dos crânios dos dois tempos. Foram feitas avaliações da translação dos pontos nas direções x (mediolateral ou transversal), y (anteroposterior) e z (vertical) e da rotação (*pitch*, *roll* e *yaw*) do centroide no sistema de coordenadas. As análises utilizaram os valores de RMS das estruturas e foram complementadas pelo método de Bland e Altman. Não houve diferença estatisticamente significativa para as medidas de maxila e mandíbula e houve diferença estatisticamente significativa para as medidas do mento entre o grupo que usou e que não usou *template* para posicionamento deste segmento. Relataram também não ter havido diferença entre os resultados dos três centros que participaram da pesquisa. Concluíram, então, que a técnica de planejamento virtual computadorizado pode ter acurácia e transferir consistentemente o posicionamento da maxila e da mandíbula no momento da cirurgia, e que o posicionamento do mento pode ser melhor transferido com o uso de *templates*.

Kim et al. (12) fizeram trabalho com doze pacientes, realizando planejamento virtual integrado a um sistema de marcadores fiduciais para a transferência do planejamento para a cirurgia. Obtiveram excelente acurácia com este tipo de planejamento/transferência.

Bobek et al. (18) conduziram um estudo de coorte retrospectivo para avaliar os resultados da cirurgia ortognática virtual, com amostra de 25 pacientes. Os autores propuseram um protocolo com utilização de marcadores fiduciais intraorais, fotografias clínicas e transferência digital dos dados oclusais. Os resultados foram medidos pela avaliação da localização de três pontos na maxila e três pontos na mandíbula, utilizando o valor de RMS de cada um desses pontos nos três planos do espaço e complementando a análise com a técnica de Bland-Altman. Também consideraram valores maiores de 2mm como clinicamente relevante e confirmaram a acurácia entre o planejado e o obtido, com exceção do posicionamento vertical de maxila, que apresentou valor médio de diferença, entre o planejamento virtual e o obtido na cirurgia real de 2,1mm. Em um trabalho anterior, conduzido por Bobek et al. (6) com 10 pacientes, encontraram diferença máxima de 2,24mm no nível do plano oclusal maxilar e de 1,68mm no nível do plano oclusal mandibular.

Lin et al. (59) realizaram um trabalho com 25 pacientes, com o objetivo de desenvolver um método para produzir guias de posicionamento customizadas para transferir o planejamento virtual para a cirurgia ortognática real. Para validação dos resultados obtidos com os guias, as imagens das tomografias com o planejamento virtual e a pós-cirúrgica foram

superpostas por *best fit*. Os resultados mostraram valores variando entre 0,18mm e 0,33mm para o posicionamento da maxila, e entre 0,99mm e 1,56mm para o posicionamento da mandíbula. Concluíram que o guia de posicionamento proposto por eles foi confiável.

Liebregts et al. (60) realizaram estudo com 100 pacientes, que foram submetidos a cirurgias ortognáticas de avanço mandibular com osteotomias sagitais bilaterais, com realização de planejamento virtual. Objetivaram avaliar a predição das alterações de tecido mole. Obtiveram erro absoluto médio entre a predição e o que foi obtido de 0,9±0,3mm, com erro médio absoluto menor que 2mm. Não conseguiram qualquer correlação entre o erro de predição e a quantidade de avanço ou rotação mandibular, idade ou gênero do paciente.

Zhang et al. (16) realizaram trabalho com objetivo de avaliar a acurácia do planejamento virtual cirúrgico. O estudo foi realizado com 30 pacientes que realizaram cirurgia bimaxilar. O modelo do crânio foi construído com tomografia convencional e escaneamento de modelos. O planejamento foi realizado com o *Software* Dolphin Imaging®. Foi realizada cirurgia de Le Fort I na maxila, osteotomia sagital bilateral na mandíbula e, quando necessário, mentoplastia. As medições foram feitas em cada modelo craniano separado, medindo a distância entre pontos e planos pré-estabelecidos e depois calculando-se as diferenças existentes entre as medições nos dois tempos (simulação cirúrgica e pós-operatório), de forma linear e angular. A diferença linear média entre o planejado e o obtido foi de 0,81mm (0,71mm para a maxila e 0,91mm para a mandíbula), e a diferença angular média total foi de 0,95°. Os autores concluíram que o planejamento cirúrgico virtual 3D utilizando *spints* cirúrgicos fabricados por computador facilitam o diagnóstico e o plano de tratamento, além de reposicionar, de forma acurada, os segmentos ósseos em cirurgias ortognáticas bimaxilares.

1.3.2 Quanto aos métodos de avaliação

Os primeiros trabalhos que se propuseram a avaliar a acurácia e precisão dos planejamentos cirúrgicos virtuais utilizaram avaliações visuais sem um método ordenado de avaliação (11, 61) e, mesmo nos dias atuais, alguns trabalhos continuam fazendo essas avaliações de forma não padronizada. (16)

Metzger et al. (11) utilizaram um programa de fusão automática de imagens, e fazendo isso com as imagens do planejamento e do resultado pós-cirúrgico puderam visualizar a

relação entre o planejado e o obtido nas imagens dos crânios. A avaliação foi apenas visual, não sendo realizada nenhuma medição.

Bai et al. (61) realizaram comparação visual de esferas posicionadas na ponta das cúspides mesiovestibulares dos primeiros molares superiores e em um ponto interincisal superior nos modelos dos dois tempos, pré-cirúrgico operado e pós-cirúrgico, utilizando modelos dentários semitransparentes.

Kim et al. (12) compararam as mudanças de posição dentária através do posicionamento de esferas virtuais nos dentes dos modelos do planejamento virtual e do pós-cirúrgico, sobrepondo-os. A sobreposição foi feita apenas entre os modelos das arcadas. Não houve qualquer sobreposição das tomografias ou comparação das posições ósseas.

Dai et al. (46) realizaram a avaliação da precisão por mapa de cores da superposição dos modelos das arcadas e dos modelos ósseos do planejamento virtual e do pós-cirúrgico com o *software* Geomagic Qualify®, sem sobreposição entre os crânios.

Zhang et al. (16) fizeram medições separadas em cada um dos crânios dos diferentes tempos e depois fizeram o cálculo para a diferença das medidas. Não houve qualquer tipo de sobreposição entre os crânios dos dois momentos de avaliação.

Diversos autores (21, 62-64), no entanto, afirmaram a necessidade da sobreposição das imagens tridimensionais para a realização de avaliações fidedignas. Utilizando as superposições dos modelos dos crânios, diversas metodologias foram desenvolvidas.

Xia et al. (51) realizaram sobreposição das tomografias baseada em superfície. Em cada estrutura de cada tempo eram marcados três pontos de referência e eram criados triângulos unindo esses três pontos. As coordenadas (x, y, z) de cada ponto eram gravadas e comparadas entre os tempos. O mesmo era feito para os ângulos entre as arestas dos triângulos e o plano horizontal.

Tucker et al. (52) utilizaram superposição das tomografias baseada em voxel e quantificaram as distâncias de superfície entre o modelo simulado e o modelo pós- cirúrgico para regiões específicas (côndilos, ramo mandibular lateral, corpo mandibular lateral, corpo mandibular anterior, mento, corpo maxilar lateral e corpo maxilar anterior), totalizando 11 regiões de interesse. As medições foram feitas de forma linear e angular, e mapas de codificação coloridos complementaram as avaliações.

Mazzoni et al. (53) realizaram superposição baseada em superfície para o registro das tomografias dos dois tempos. Através de um programa específico, era feito o cálculo do erro de sobreposição entre as duas imagens. Este programa também gerava imagens com diferenças de destaque de cor entre as posições nos dois tempos.

Zinser et al. (17) utilizaram sobreposição baseada em superfície, e avaliações volumétricas da face média, maxila, mandíbula, côndilos e tecido mole foram realizadas. Para a análise, marcação de 11 pontos em tecido duro, nove pontos em tecido mole, quatro linhas em tecido duro e três linhas em tecido mole foram realizadas. Em adição a esta análise volumétrica, uma ferramenta de fusionamento de modelos também foi utilizada e exibia automaticamente as diferenças para as superfícies ósseas e de tecidos moles, em uma escala métrica colorida.

Hsu et al. (4) utilizaram sobreposição baseada em superfície, sobrepondo o modelo da cabeça pós-operatória no modelo pré-operatório com registro no crânio, parte onde não houve qualquer movimentação. Após os modelos dos dois tempos sobrepostos, os pontos de marcação de cada estrutura começaram a ser comparados. A medição dos pontos da maxila foi feita de forma direta. Para a medição dos pontos da mandíbula, foi realizada correção da rotação previamente, pois algumas tomografias pós-operatórias foram realizadas com os pacientes com a boca levemente aberta. E as medições do mento foram realizadas em relação ao esqueleto craniomaxilofacial como um todo e em relação à mandíbula. Foram medidos três pontos de cada estrutura a ser avaliada, e as medições foram feitas de forma linear e angular.

Sun et al. (55) realizaram sobreposição baseada em voxel entre as tomografias pré e pós-operatória. Para a avaliação, determinaram um ponto dentário maxilar e fizeram a medição do deslocamento deste ponto nos três eixos do espaço entre os dois tempos. Essa medição foi repetida quatro semanas depois pelo mesmo operador, e o movimento real foi calculado pela média entre as duas medições.

Bobek et al. (18) também utilizaram superposição baseada em superfície, mas fazendo superposições separadas para cada região avaliada. Para a maxila, a superposição foi realizada na face média, e para a mandíbula, a superposição foi realizada nos côndilos. Depois disso, três pontos cefalométricos foram plotados na anatomia do planejamento cirúrgico e no escaneamento pós-operatório. Esses pontos cefalométricos foram usados para calcular o centroide de cada objeto (maxila e mandíbula), para permitir o alinhamento entre o planejado e os resultados reais. Com os centroides traçados, cada escaneamento era levado a sua posição original, e as discrepâncias entre eles nos dois tempos eram calculadas.

Stokbro et al. (15) fizeram superposições baseada em superfície entre as tomografias dos dois tempos de avaliação por regiões. A anatomia da maxila foi alinhada usando a face média não operada como sua própria referência, e a anatomia da mandíbula foi comparada pelo alinhamento da posição da cabeça do côndilo e da posição vertical da parte anterior da mandíbula. Pontos de referência foram determinados na ponta de cúspide mesiovestibular dos

primeiros molares superiores bilateralmente, e no ponto interincisal dos incisivos centrais superiores. Baseado nestes pontos, as diferenças lineares e angulares de cada estrutura foram calculadas.

Borba et al. (20) realizaram superposição das tomografias pré-cirúrgica e pós-cirúrgica baseada em voxel, com registro na base craniana anterior. A análise cefalométrica de McNamara 3D foi usada para avaliar os pontos de referência craniofaciais selecionados, marcados por um único operador, em ambas as tomografias. Uma vez que as duas tomografias estavam com a mesma orientação, os pontos de referência marcados no crânio serviram para confirmar a precisão das superposições e a acurácia linear do operador em identificar os pontos de referência na cefalometria 3D. A diferença nos pontos marcados na maxila e mandíbula foi usada para medir os movimentos.

Uma revisão sistemática foi publicada em 2017 por Gaber et al. (21), para analisar os métodos usados para avaliação da acurácia dos planejamentos virtuais tridimensionais para cirurgia ortognática. Para que os artigos fossem incluídos, era requerido que estivesse claro qual planejamento virtual tridimensional tinha sido utilizado e que havia sido realizada avaliação da acurácia, juntamente com validação do planejamento e/ou método de avaliação. Sete artigos foram incluídos e qualificados, de acordo com a clareza do objetivo do estudo, a forma de inclusão dos pacientes, a coleta de dados prospectiva, o término apropriado aos objetivos do estudo, a inexistência de vieses na determinação do término, o período de acompanhamento apropriado para os objetivos do estudo, a perda de acompanhamento menor que 5% e o cálculo do tamanho da amostra, podendo pontuar de 0 a 16, tendo os sete estudos alcançado de 10 a 12 pontos. Os estudos foram avaliados quanto ao registro dos achados 3D pós-operatórios com o modelo planejado, quanto à avaliação propriamente dita e quanto à validação do método utilizado. Dos sete trabalhos incluídos, dois usaram registro baseado em voxel, dois fizeram superposição por *best fit*, um fez registro baseado em marcação de pontos e dois utilizaram métodos livres, comparando resultados de traçados cefalométricos nos dois tempos avaliados. Quanto à avaliação, os métodos também variaram bastante, com uso de medidas lineares, angulares, diferença de superfície a superfície ou criação de triângulos virtuais para avaliação de mudanças tridimensionais. Essas avaliações foram feitas por identificação de pontos cefalométricos, por mapa de cores na oclusão dos pacientes, comparação de superfícies em pontos ósseos pré-definidos, por medição dos centroides das estruturas nos três planos do espaço e por criação de triângulos virtuais em cada uma das estruturas avaliadas com medições angulares e lineares de cada um desses triângulos. A validação dos métodos de planejamento e avaliação também variou, sendo o mais amplamente

utilizado o método de correlação interavaliador e intra-avaliador que, segundo os autores, apesar de ser um método fácil de realizar e largamente aceito pelos cirurgiões, não fornece indicações da qualidade ou acuracidade da modalidade utilizada, e que para isso o método proposto por Bland e Altman seria mais adequado. Também houve validações por replicação do planejamento, por avaliação da acurácia das goteiras cirúrgicas e por avaliação em crânios secos. Os autores relataram uma importante variabilidade em relação aos métodos utilizados para avaliação da acurácia do planejamento e para validação das ferramentas usadas. Concluíram que não há consenso neste tipo de avaliação e por isso sugeriram um protocolo que afirmaram ter uma menor margem de erro. Neste protocolo, os autores sugeriram que três fatores sejam incluídos nos métodos de avaliação de acurácia para cirurgias ortognáticas virtuais: superposição baseada em voxel, métodos automáticos ou semiautomáticos para avaliação com resultados que indiquem mudanças em 3D, seja translacional ou rotacional, baseada nos diferentes eixos (X, Y e Z), e checagem da reprodutibilidade intra e interexaminador.

Dos trabalhos que fizeram parte da revisão sistemática de Gaber et al. (21), o de Baan et al. (19) foi o que mais se adequou aos critérios sugeridos como ideais para avaliação da acuracidade. O trabalho foi feito com 10 pacientes, que foram submetidos à cirurgia bimaxilar. Para avaliação da discrepância entre os resultados do planejamento virtual 3D e os resultados cirúrgicos reais, os modelos das cabeças com o planejamento virtual e o pós-cirúrgico foram registrados baseado em voxel, com registro na base craniana anterior, e os segmentos maxilar e mandibular planejados tridimensionalmente foram superpostos aos segmentos maxilar e mandibular pós-operatórios. Foram medidas as discrepâncias translacionais e rotacionais entre os dois tempos. Para avaliar a reprodutibilidade do método, o processo foi feito por dois observadores independentes, em múltiplos tempos.

1.4 **Comparação entre o planejamento convencional e o planejamento virtual**

Alguns estudos com amostras clínicas também fizeram comparações entre os resultados do planejamento convencional e do planejamento virtual. (5, 12, 65-68)

Song e Baek (65) compararam os resultados entre a cirurgia com planejamento convencional e a cirurgia com planejamento virtual com uma amostra de 25 pacientes. Utilizaram pontos no incisivo central superior direito, e nos primeiros molares superiores

direito e esquerdo para avaliação. O erro com ambos os métodos foi menor que 1mm, e não observaram diferença significativa entre os dois grupos.

Kwon et al. (66) realizaram trabalho com amostra de 42 pacientes que foram submetidos a cirurgia ortognática bimaxilar. A avaliação foi feita por cefalometrias lateral e frontal, comparando os resultados obtidos entre o planejado e o obtido no posicionamento da maxila em 23 pacientes que tiveram suas cirurgias planejadas da maneira convencional, e em 19 pacientes que tiveram cirurgias planejadas virtualmente. Afirmaram que, embora houvesse pouca variação entre o planejado e o resultado real, algumas medidas lineares foram estatisticamente significativas. A discrepância média absoluta entre o planejado e o obtido foi de 1,17mm (variando de 0 a 3,6mm) para as cirurgias convencionais, e de 0,95mm (variando de 0 a 3,2mm) para as cirurgias realizadas com planejamento virtual. As medições para verificação da acurácia mostraram diferença maior que 2mm ou 2° em 12% dos casos com planejamento convencional, e em 7,9% dos casos com planejamento virtual, e não houve diferença estatisticamente significativa entre os grupos.

Kim et al. (12) realizaram trabalho com doze pacientes, onde foram realizados planejamento convencional e planejamento virtual com um *software* de acesso livre para todos os pacientes, com todos os reposicionamentos planejados da forma convencional sendo replicados no planejamento virtual, o que foi possível devido a marcadores fiduciais posicionados nos modelos. Durante a cirurgia virtual realizada por navegação, as posições dos marcadores foram checadas. Foi realizada avaliação entre o planejado e o obtido na cirurgia virtual e depois o deslocamento final dos pontos na cirurgia convencional com os do planejamento cirúrgico virtual. Para avaliação, foram selecionados pontos na maxila, já usados rotineiramente para avaliação da cirurgia convencional. Avaliaram a diferença entre o planejado virtualmente e os resultados obtidos na cirurgia real, com resultados mostrando diferenças inferiores a 1mm. Depois, avaliaram a diferença de posicionamento entre a cirurgia convencional e a cirurgia virtual, obtendo também resultados de menos de 1mm entre elas.

De Riu et al. (67), em 2014, realizaram uma pesquisa clínica randomizada, comparando os resultados obtidos com a cirurgia convencional e a cirurgia com planejamento virtual. A amostra era composta por 10 pacientes em cada grupo, com homogeneidade em relação às deformidades faciais, e o estudo comparou a acurácia obtida com cada tipo de planejamento. Os resultados foram avaliados comparando a diferença entre o planejado e o obtido através de pontos e linhas pré-estabelecidos. As diferenças foram estatisticamente significativas no alinhamento de um ponto interincisal inferior, no plano sagital mandibular e

na centralização das linhas médias dentárias, com o grupo do planejamento virtual mostrando maior acurácia em relação ao grupo do planejamento convencional.

Adolphs et al. (69) realizaram um estudo piloto com 10 pacientes, testando a qualidade de *splints* interoclusais confeccionados de maneira convencional e de *splints* interoclusais prototipados. Relataram que em dois casos os *splints* prototipados não puderam ser usados por insuficiente encaixe oclusal, e que também dois *splints* confeccionados da forma convencional não foram clinicamente utilizáveis. Nos casos em que os dois *splints* foram adequados, o encaixe oclusal foi avaliado como equivalente, e em um caso, o *splint* virtual mostrou melhor encaixe oclusal. Afirmaram, então, que *splints* utilizáveis para a cirurgia ortognática podem ser produzidos por prototipagem.

Hossameldin e McCain (70) utilizaram posicionadores para guiar as osteotomias e posicionar a maxila em trabalho com 30 pacientes, utilizando planejamento cirúrgico virtual, e afirmou que obteve diminuição do tempo cirúrgico, aumento da acurácia e da estabilidade da maxila, quando comparado com o planejamento cirúrgico convencional.

Hammoudeh et al. (71) compararam a cirurgia de modelos convencional com a cirurgia virtual em termos de viabilidade de uso e para determinar a acurácia e a relevância dos dois métodos. Concluíram que, embora existam muitas vantagens óbvias da cirurgia virtual sobre a convencional, ainda há limitações significativas. Afirmaram que as desvantagens dizem respeito ao aumento do custo e certas limitações das tomografias computadorizadas em capturar as superfícies oclusais da maxila e da mandíbula.

Wrzosek et al. (72) avaliaram o tempo total gasto pelos residentes no planejamento e no processo cirúrgico total, incluindo a obtenção de exames e a confecção dos posicionadores cirúrgicos, em 42 casos bimaxilares. Houve redução de 47% do tempo com o planejamento virtual comparando com o convencional e, considerando-se apenas o tempo de planejamento, esse foi de 3,08 horas para o planejamento convencional e de 0,67 horas para o planejamento virtual.

Resnick et al. (73) realizaram uma pesquisa com o objetivo específico de avaliar a diferença dos custos entre a cirurgia convencional e a cirurgia com planejamento virtual. A amostra incluiu 43 pacientes e a média de tempo e custo para cada uma delas foi de 194±14,1 minutos e U$2.765,94 para cirurgia com planejamento virtual, e 540,9±99,5 minutos e U$3.519,18 para cirurgia com planejamento convencional, e concluíram que os resultados indicaram que a cirurgia bimaxilar realizada com o uso do planejamento virtual consome menos tempo e é menos cara do que a cirurgia com planejamento convencional.

Bengtsson et al. (5) realizaram uma pesquisa prospectiva randomizada controlada e com cegamento, para comparar a acurácia dos planejamentos convencional e virtual na cirurgia ortognática. Todos os pacientes eram portadores de má oclusão de Classe III e tiveram os planejamentos executados das duas formas. Após a execução dos planejamentos, os pacientes eram então randomizados e a cirurgia executada, conforme o sorteio. As avaliações foram realizadas após um ano de acompanhamento em 57 pacientes. Nenhum dos métodos obteve perfeita acurácia e a acurácia para as medidas maxilares foi melhor do que para as mandibulares, em ambos os métodos. Concluíram que ambos os métodos apresentam boa acurácia para a predição dos resultados faciais alcançados com a cirurgia ortognática, mas que, para casos com assimetrias, o planejamento virtual mostrou uma vantagem óbvia.

Wu et al. (68) também realizaram pesquisa para comparar a diferença entre os resultados obtidos com planejamento convencional e planejamento virtual em cirurgias ortognáticas. Os resultados foram comparados através de radiografias cefalométricas frontais e laterais e pela percepção dos pacientes. Nas medições frontais, os resultados do planejamento virtual se mostraram superiores aos resultados do planejamento convencional, e nas medições laterais não houve diferença entre os dois grupos. Quanto à satisfação dos pacientes, essa foi favorável em ambos os grupos, mas com mais pacientes declarando-se muito satisfeitos no grupo com planejamento virtual.

2 **PROPOSIÇÃO**

Este estudo possui como proposição os objetivos apresentados a seguir.

Objetivo geral: avaliar tridimensionalmente, através de superposição das imagens do planejamento virtual pré-cirúrgico e das imagens obtidas após a cirurgia realizada, a acurácia do planejamento virtual em cirurgias ortognáticas para pacientes portadores de Classe II e Classe III esqueléticas, utilizando o módulo cirúrgico do *software* Dolphin Imaging®.

Objetivos específicos:

a) avaliar a acurácia do posicionamento, nos três eixos do espaço, dos segmentos:
   - maxila,
   - corpo mandibular (segmento distal da mandíbula),
   - ramos mandibulares (segmentos proximais da mandíbula),
   - mento;
b) avaliar a significância clínica dos resultados encontrados.

3 **MATERIAL E MÉTODO**

3.1 **Aspectos éticos**

O projeto de Pesquisa foi submetido à Plataforma Brasil (CAAE: 46729315.3.0000.5259). A coleta de dados deste estudo foi iniciada após a aprovação do Comitê de Ética em Pesquisa do Hospital Universitário Pedro Ernesto (CEP/HUPE), da Universidade do Estado do Rio de Janeiro (UERJ), que emitiu parecer consubstanciado número 1.158.061, data da relatoria: 08/07/2015 (ANEXO). Somente os pacientes que concederam autorização por escrito, sob a forma de um Termo de Consentimento Livre e Esclarecido Pós-Informação (APÊNDICE A), foram incluídos na amostra.

3.2 **Tipo de estudo**

Foi adotado o procedimento de amostragem por conveniência, no qual foram selecionados membros mais acessíveis da população. Nesse caso, pacientes portadores de deformidades craniofaciais que buscaram tratamento no Ambulatório de Cirurgia e Traumatologia Bucomaxilofacial do HUPE, que estavam sob tratamento ortodôntico, com aparelhagem fixa montada em ambos os arcos e já com preparo pré-cirúrgico finalizado. Os pacientes foram acompanhados prospectivamente, do momento da realização da documentação pré cirúrgica até o momento da realização da documentação pós- cirúrgica.

3.3 **Sujeitos da pesquisa**

Foi realizado cálculo amostral para estimar o número de indivíduos necessário, para que a amostra fosse capaz de detectar a acurácia ou não do sistema, através de metodologia de superposição tridimensional. O site www.lee.dante.br (site do laboratório de epidemiologia e estatística, criado junto à Faculdade de Medicina da USP e posteriormente transferido para o

instituto Dante Pazzanese de Cardiologia) foi utilizado para calcular o tamanho amostral (n). Para o cálculo amostral, foi considerado poder de 80%, nível de significância de 5%, e diferença a ser detectada de 1,4mm. O valor de 1,4 mm foi considerado baseado no erro de resolução das tomografias. Como o erro considerado é de 0,7mm (74) e comparamos dois exames diferentes, somando os erros de cada exame chegamos ao valor de 1,4mm. Esta diferença pode, então, aparecer, mesmo que não haja diferença de posicionamento das estruturas nos dois tempos.

O cálculo foi realizado para cada uma das estruturas avaliadas (maxila, mandíbula, mento, ramo direito e ramo esquerdo) e considerado o maior valor de n entre as cinco estruturas. O resultado do cálculo amostral indicou que, para o poder e significância determinados, seriam necessários sete pacientes.

O universo amostral partiu de 26 pacientes, portadores de má-oclusões esqueléticas de Classe II ou Classe III, recrutados no ambulatório de Cirurgia e Traumatologia Bucomaxilofacial do HUPE, no período de agosto de 2015 a dezembro de 2016, independente do gênero e etnia. Após a aplicação dos critérios de inclusão/exclusão, a amostra foi, então, composta por 10 pacientes (atingindo um poder de 90%), sendo seis do gênero masculino e quatro do gênero feminino, com idade média de 26,0 anos (DP=3,92, Idade Mínima=20,5 - Idade Máxima=34,9), sendo cinco portadores de deformidade esquelética de Classe II e cinco portadores de deformidade esquelética de Classe III. Quanto a sequência cirúrgica três tiveram suas cirurgias iniciando-se pela maxila e sete iniciando pela mandíbula.

3.3.1 Critérios de inclusão

Para que os pacientes fossem incluídos como participantes da pesquisa, esses deveriam preencher os seguintes critérios:

a) Classe II ou Classe III de Angle;
b) Presença de dentes suficientes para garantir estabilidade oclusal cirúrgica e pós-cirúrgica (com pelo menos dois pontos de contato oclusais em cada um dos lados);
c) Necessidade de cirurgia bimaxilar para resolução da condição;
d) Cirurgia de maxila com osteotomia tipo LeFort I;

e) Cirurgia de mandíbula com osteotomia sagital bilateral;
f) Realização de cirurgia de mento;
g) Utilização de fixação rígida em todos os segmentos;
h) Pacientes adultos, sem nenhum crescimento remanescente.

3.3.2 Critérios de exclusão

Pacientes com histórico prévio de cirurgia nos ossos maxilares (ortognática ou por trauma), presença de tumores, traumas ou patologias ósseas na face, síndromes, doenças articulares ou autoimunes ou em uso de bisfosfonatos foram excluídos no momento da seleção da amostra.

3.4 **Documentação Pré e Pós-Cirúrgica e Realização das Cirurgias**

Foram realizadas tomografias computadorizadas de feixe cônico (CBCT), fotografias faciais de frente e de perfil e modelos das arcadas, após finalizado o preparo pré-cirúrgico (T1), e CBCT, 15 dias, em média, após a cirurgia (T2).

Todos os pacientes foram operados por cirurgiões pertencentes a um mesmo serviço.

A partir deste ponto, foram realizados a aquisição das documentações dos pacientes selecionados, o planejamento virtual e a avaliação dos resultados entre o planejado e o obtido na cirurgia real.

3.5 **Protocolo de aquisição das imagens tomográficas e modelos**

As tomografias foram obtidas com o mesmo tomógrafo *Classic iCAT* (Image Sciences, Hatfield, PA, USA) (Figura 1, legenda A), com os exames sendo realizados com os seguintes parâmetros: dimensão do voxel de 0,3mm (isométrico), com exposição de 40 segundos, paciente sentado com campo de visão estendido 22 cm de comprimento. No momento da

tomada das tomografias, os pacientes eram orientados a permanecerem em máxima intercuspidação habitual (MIH), sendo feito um treinamento com cada paciente sobre esse posicionamento.

Foram confeccionados modelos de gesso, a partir de moldagens das arcadas feitas com hidrocoloide irreversível (alginato). Esses modelos, realizados nos mesmos tempos das tomografias, foram digitalizados com o Scanner de modelos Maestro 3DMDS 350 (Age Solutions, Pontedera, Pisa, Italy) (Figura 1, legenda B).

Figura 1 – Fotografia dos aparelhos utilizados para aquisição das tomografias e escaneamento dos modelos

Legenda: A: Tomógrafo iCAT; B: scanner de modelos Maestro 3D.
Fonte: A autora, 2017.

Os arquivos da imagem tomográfica pré-cirúrgica foram exportados através do *software* do tomógrafo no formato *Digital Imaging and Communication in Medicine* (DICOM), formato universal para imagens de diagnóstico tomográfico médico-odontológico, para o módulo de simulação cirúrgica do Dolphin Imaging® 11.9 (Dolphin Imaging and Management Systems, Chatworth, CA, EUA). Os arquivos de imagem dos modelos de gipso iniciais foram exportados no formato *STereoLithography ou Standard Triangle Language* (.STL) pelo *software* Maestro 3D Easy Dental Scan (Age Solutions, Pontedera, Pisa, Italy), para o mesmo módulo de simulação cirúrgica onde posteriormente esses modelos foram superpostos nas imagens tomográficas por *best fit*, uma vez que a presença dos acessórios ortodônticos gera artefatos devido ao princípio de endurecimento do feixe, tornando a imagem tomográfica inadequada para a região das coroas dentárias. O formato .STL é um formato de

arquivo nativo aos processos de estereolitografia, muito utilizado em *softwares* de desenvolvimento auxiliado por computador (CAD).

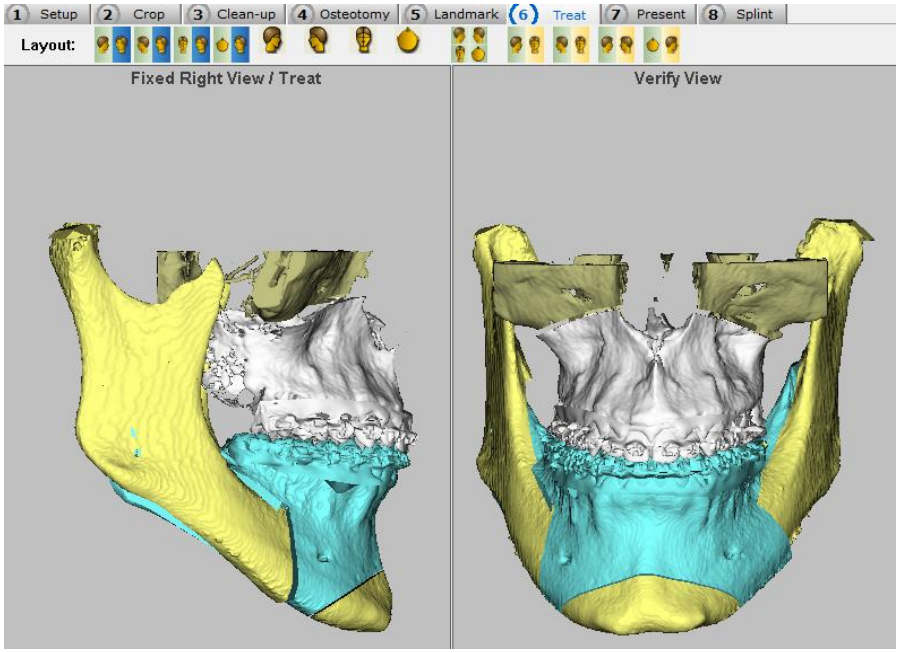
Os arquivos da imagem tomográfica pós-cirúrgica também foram importados para o mesmo programa (Dolphin Imaging® versão 11.9) no formato DICOM, a partir do *software* do tomógrafo.

3.6 **Realização do Planejamento Virtual**

O planejamento virtual foi realizado com o módulo cirúrgico do Dolphin Imaging® versão 11.9. Primeiro, as tomografias foram orientadas de acordo com a posição natural de cabeça de cada um dos pacientes. Para isso, eram realizadas fotos frontal e de perfil, com o paciente em seu posicionamento natural (mas com orientação do profissional para evitar que o paciente escondesse as assimetrias), e no Dolphin Imaging® a tomografia era orientada de acordo com o posicionamento da cabeça nessas fotografias. Depois, era feita a superposição dos modelos digitais na imagem tomográfica pré-cirúrgica.

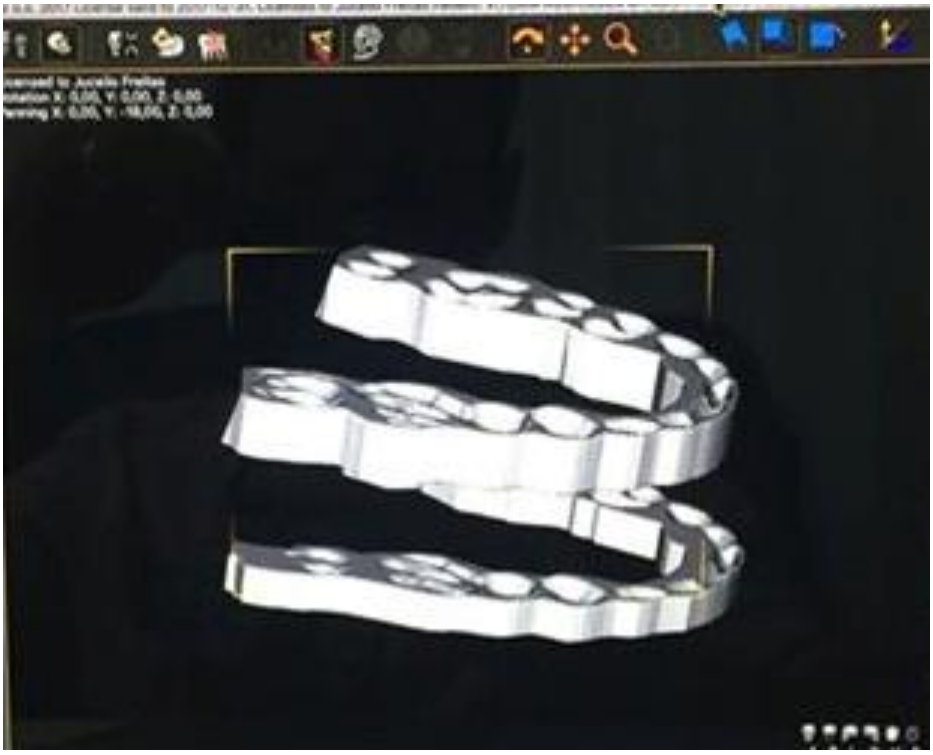
Com o modelo virtual 3D (imagem tomográfica com os modelos superpostos) pré-cirúrgico, foi realizado o planejamento virtual da cirurgia ortognática de cada um dos pacientes, estabelecendo-se as osteotomias a serem realizadas e as movimentações a serem executadas (Figura 2, a seguir). Após a decisão do planejamento cirúrgico virtual ser obtida, com a sequência da cirurgia definida, foram gerados os arquivos dos *splints* ou goteiras cirúrgicas, que foram exportados no formato .STL para posterior impressão (Figura 3, a seguir). As *goteiras* cirúrgicas foram confeccionadas através de tecnologia CAD/CAM, com impressão realizada na impressora Object 3D OrthoDesk (Stratasys Ltd, Eden Prairie, MN, USA) (Figura 4, a seguir).

Figura 2 – Visualização da cirurgia virtual realizada no módulo cirúrgico do Dolphin 11.9



Fonte: A autora, 2017.

Figura 3 – Arquivo .STL gerado para confecção das goteiras cirúrgicas



Fonte: A autora, 2017.

Figura 4 - Goteira cirúrgica confeccionada por prototipagem

Fonte: A autora, 2017.

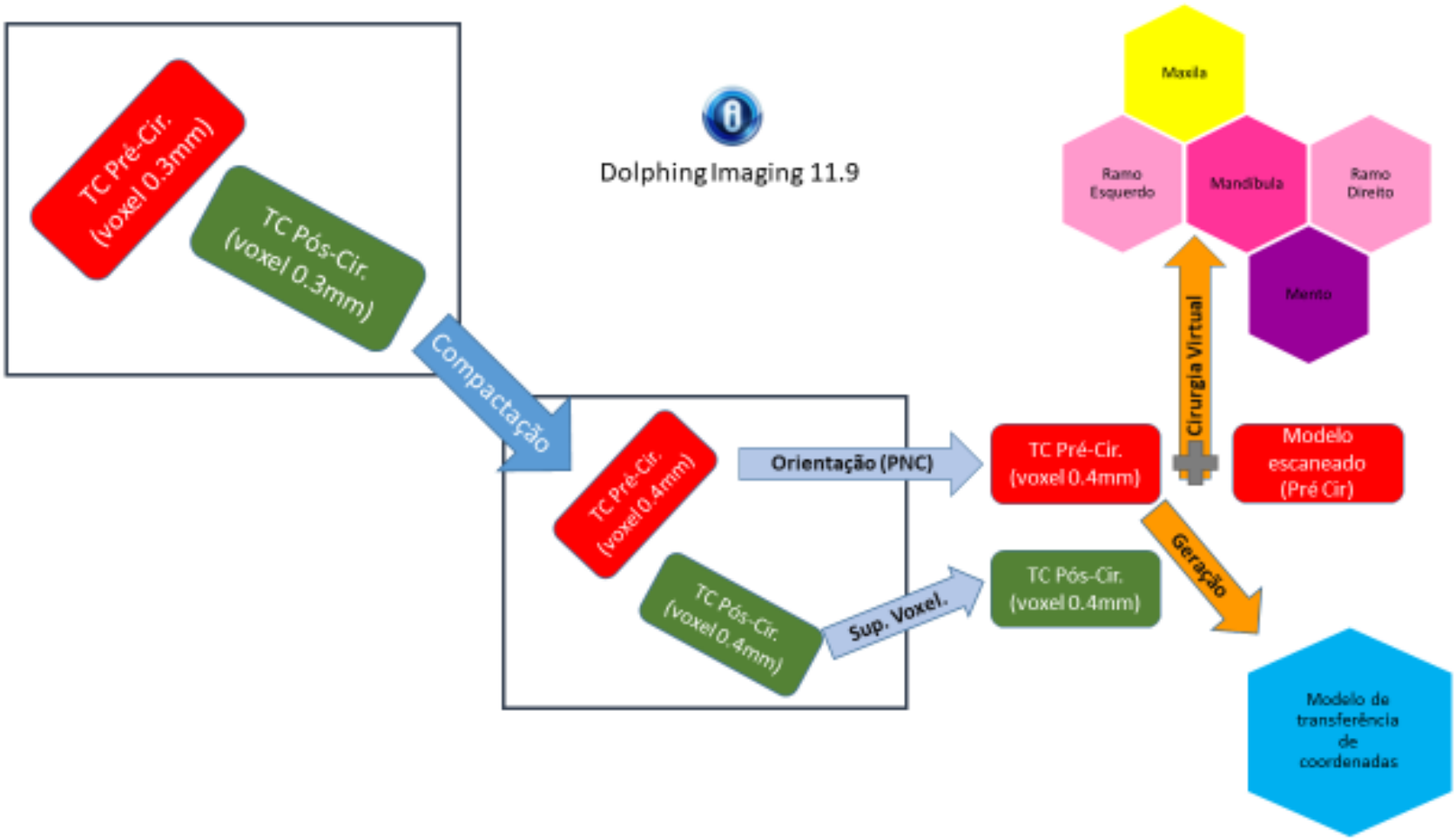
3.7 **Pós-processamento das imagens**

Após obter os dois modelos do crânio: o inicial (T1) e o pós-cirúrgico (T2), além do inicial com a simulação da cirurgia (T1S), esses precisaram ser submetidos a uma sequência de passos em diferentes programas, para que a comparação tridimensional entre eles pudesse ser realizada de maneira precisa. Para facilitar o entendimento, foram criados fluxogramas para cada programa utilizado nas diferentes etapas necessárias, desde a obtenção da documentação inicial até a análise final.

3.7.1 No programa Dolphin Imaging®

A seguir, o fluxograma (Figura 5) detalha as etapas realizadas no programa Dolphin Imaging®.

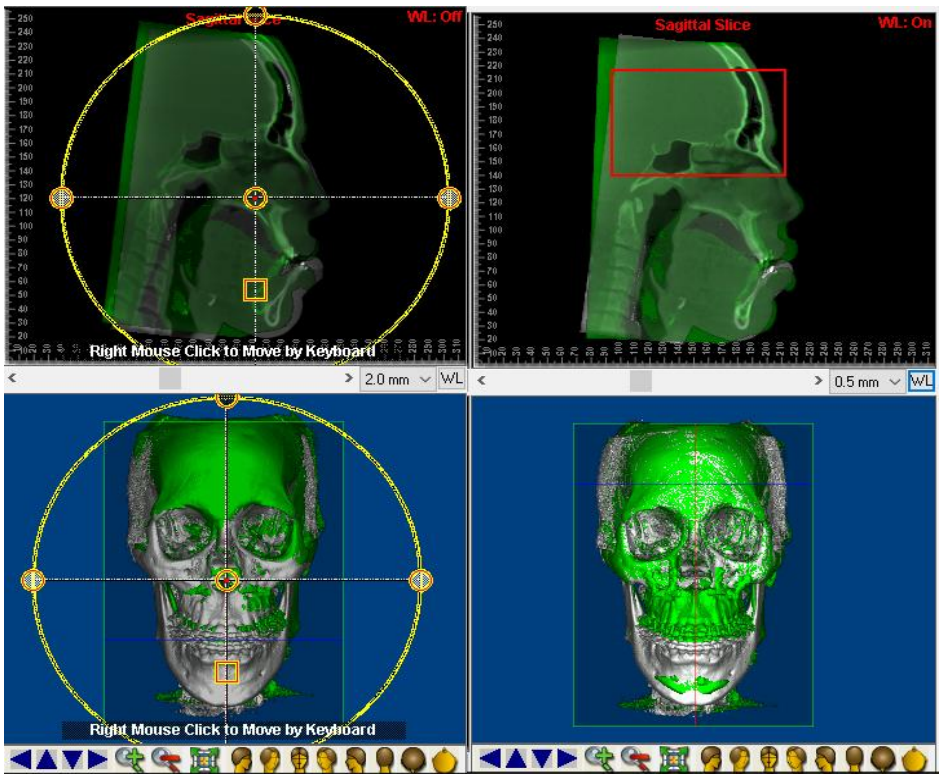
Figura 5 – Fluxograma detalhando as diferentes etapas no programa Dolphin Imaging® 11.9



Fonte: A autora, 2017.

Os primeiros passos realizados para viabilizar a superposição e comparação dos modelos tridimensionais são os de compactação dos modelos das tomografias. Tanto as tomografias pré-cirúrgicas quanto as pós-cirúrgicas foram compactadas em 30%, para aumentar a eficiência do processo. Após a compactação das tomografias dos dois tempos, era realizada a superposição da tomografia pós-operatória para a tomografia pré-operatória (com registro baseado em voxel), que já havia sido orientada de acordo com a posição natural de cabeça (PNC) de cada paciente (Figura 6). Também se criava um modelo ósseo pré-cirúrgico pela delimitação dos planos sagital, coronal e axial em regiões pré-estabelecidas na tomografia pré-operatória, para possibilitar a criação de um modelo de transferência do sistema de coordenadas (MTC) do Dolphin Imaging® para o Geomagic Qualify® 2013. Dessa forma, o sistema de coordenadas utilizado para o planejamento virtual no Dolphin Imaging® era compatível com o utilizado para as mensurações no Geomagic Qualify® (Figura 7, a seguir). Após as etapas descritas anteriormente, os segmentos da simulação cirúrgica virtual e o MTC eram exportados no formato .STL, e as tomografias pré-cirúrgicas compactadas e pós-cirúrgicas compactadas e registradas eram, então, exportadas no formato DICOM.

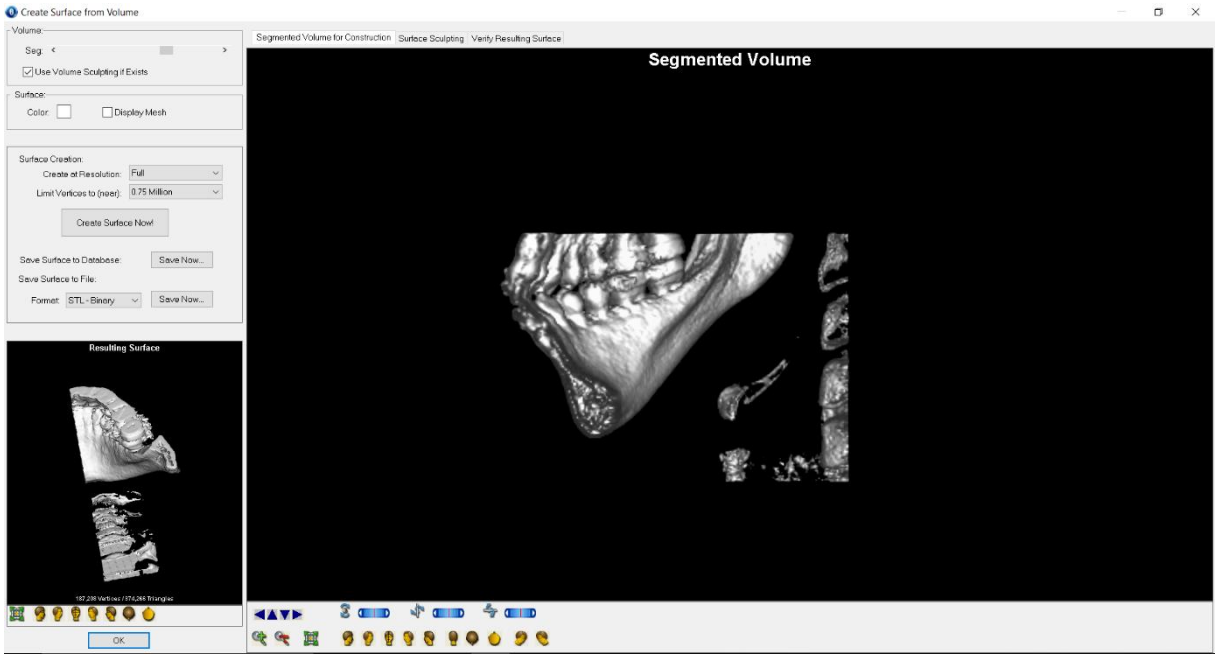
Figura 6 - Processo finalizado do registro baseado em voxel entre as tomografias pré e pós-cirúrgicas no Dolphin Imaging®



Legenda: Imagens da esquerda - antes da superposição baseada em voxel. imagens da direita após a superposição.

Fonte: A autora, 2017.

Figura 7 - Criação do modelo de transferência do sistema de coordenadas (MTC) no Dolphin Imaging® a partir da tomografia inicial



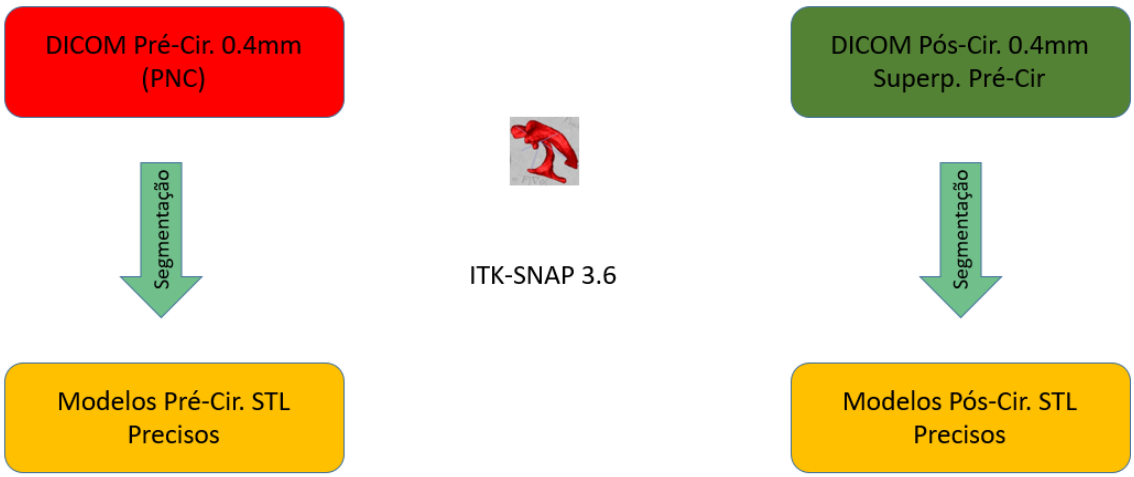
Fonte: A autora, 2017.

A sequência detalhada de cada um dos passos que possibilitou a compactação, superposição, criação do MTC e exportação dos arquivos é descrita detalhadamente no Apêndice B.

3.7.2 No programa ITK-SNAP®

A seguir, o fluxograma (Figura 8) detalha as etapas realizadas no programa ITK-SNAP® 3.6.

Figura 8 – Fluxograma detalhando as diferentes etapas no programa ITK-SNAP® 3.6



Fonte: A autora, 2017.

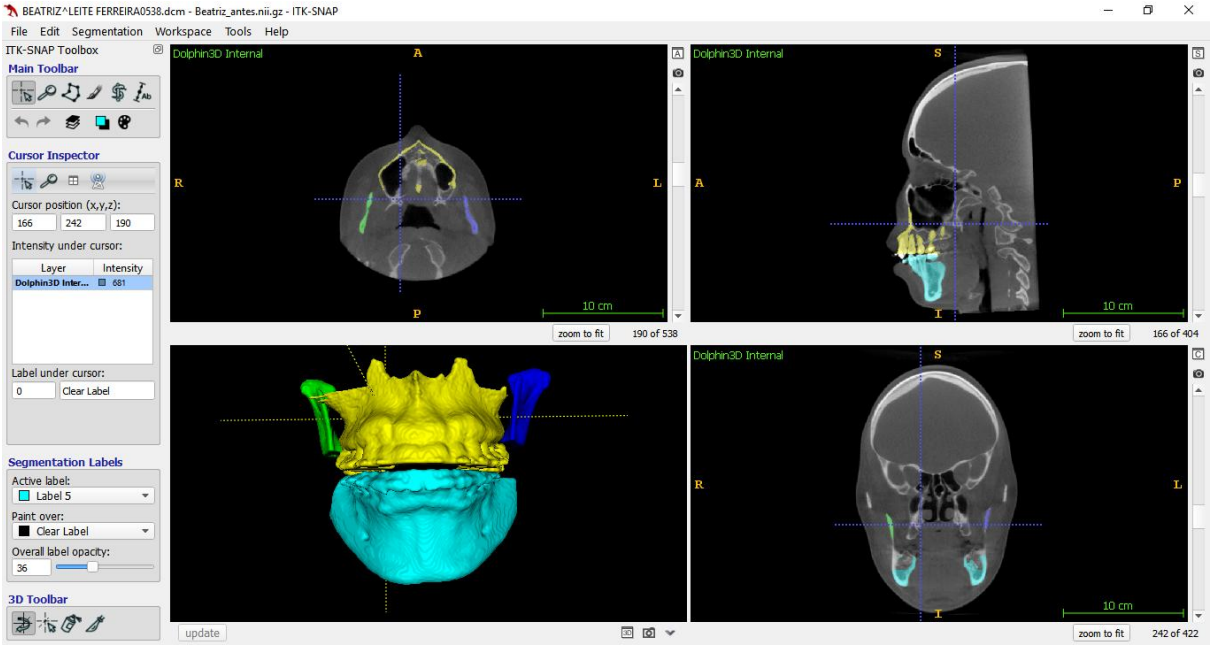
Foram construídos modelos virtuais 3D de cada uma das tomografias (T1 e T2) de cada paciente, através do uso do *software* de acesso livre ITK-SNAP® 3.6 (www.itksnap.org) (75) O modelo de T1 foi construído na tomografia pré-cirúrgica reduzida e orientada de acordo com a PNC, e o modelo de T2 foi construído na tomografia pós-cirúrgica reduzida e registrada em relação à tomografia pré-cirúrgica. As segmentações das tomografias foram realizadas nas regiões de interesse para avaliação da cirurgia. As regiões foram: (I) maxila abaixo da região da osteotomia de LeFort I (II e III) corpo da mandíbula até a região dos primeiros molares, incluindo o mento, e (IV e V) ramos mandibulares acima da língula (bilateralmente).

O método de segmentação utilizado foi semiautomático e permitiu que o operador realizasse a criação dos modelos virtuais de maneira mais rápida e fidedigna, quando comparado ao método de segmentação estritamente manual. A mandíbula e a maxila foram segmentadas tridimensionalmente, com a opção de *Thresholding*, e os ramos foram segmentados inicialmente com o *Thresholding* e finalizado com a opção *Edge Attraction*, na parte automatizada do processo. Após esta fase, as estruturas foram finalizadas com preenchimento manual das porções que ficaram imprecisas na fase automática (Figura 9, a seguir).

Utilizando a função de exportação de malha de superfície do *ITK-SNAP®*, foram gerados arquivos individuais para cada tempo (T1 e T2), no formato .STL.

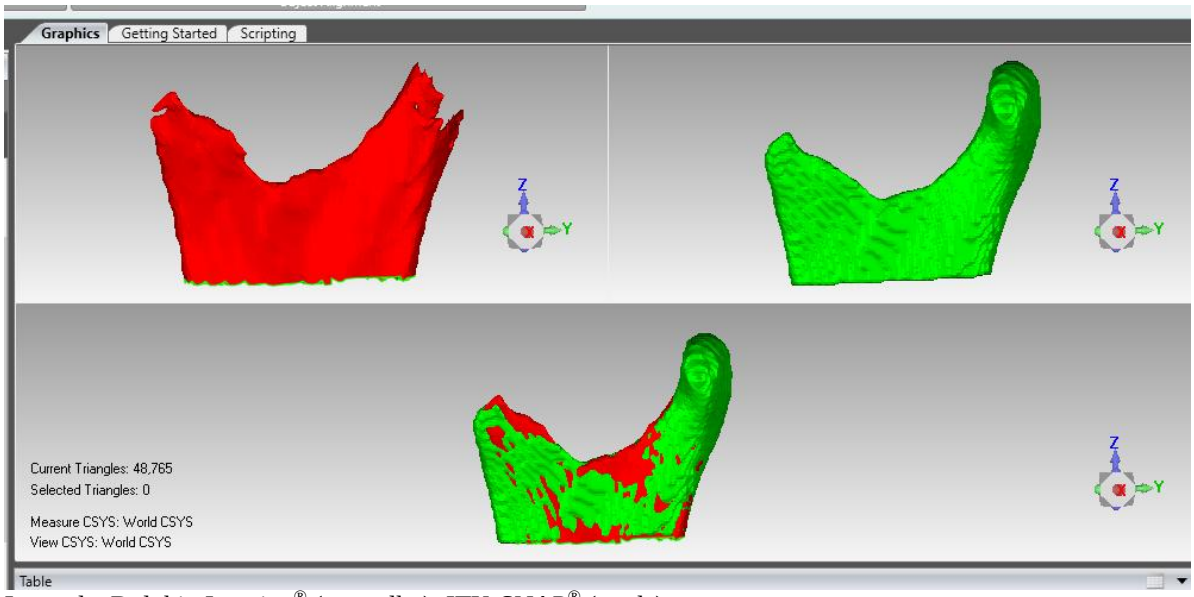
O objetivo desta etapa foi criar modelos de superfície com qualidade adequada para permitir a comparação posterior, pois os modelos originados no Dolphin Imaging® apresentam superfícies de qualidade ruim (Figura 10).

Figura 9 – Visualização da segmentação dos ramos mandibulares, maxila e mandíbula, em diferentes camadas padronizadas



Fonte: A autora, 2017.

Figura 10 – Visualização da diferença da qualidade de superfície entre os arquivos originados do Dolphin Imaging® e do ITK-SNAP®

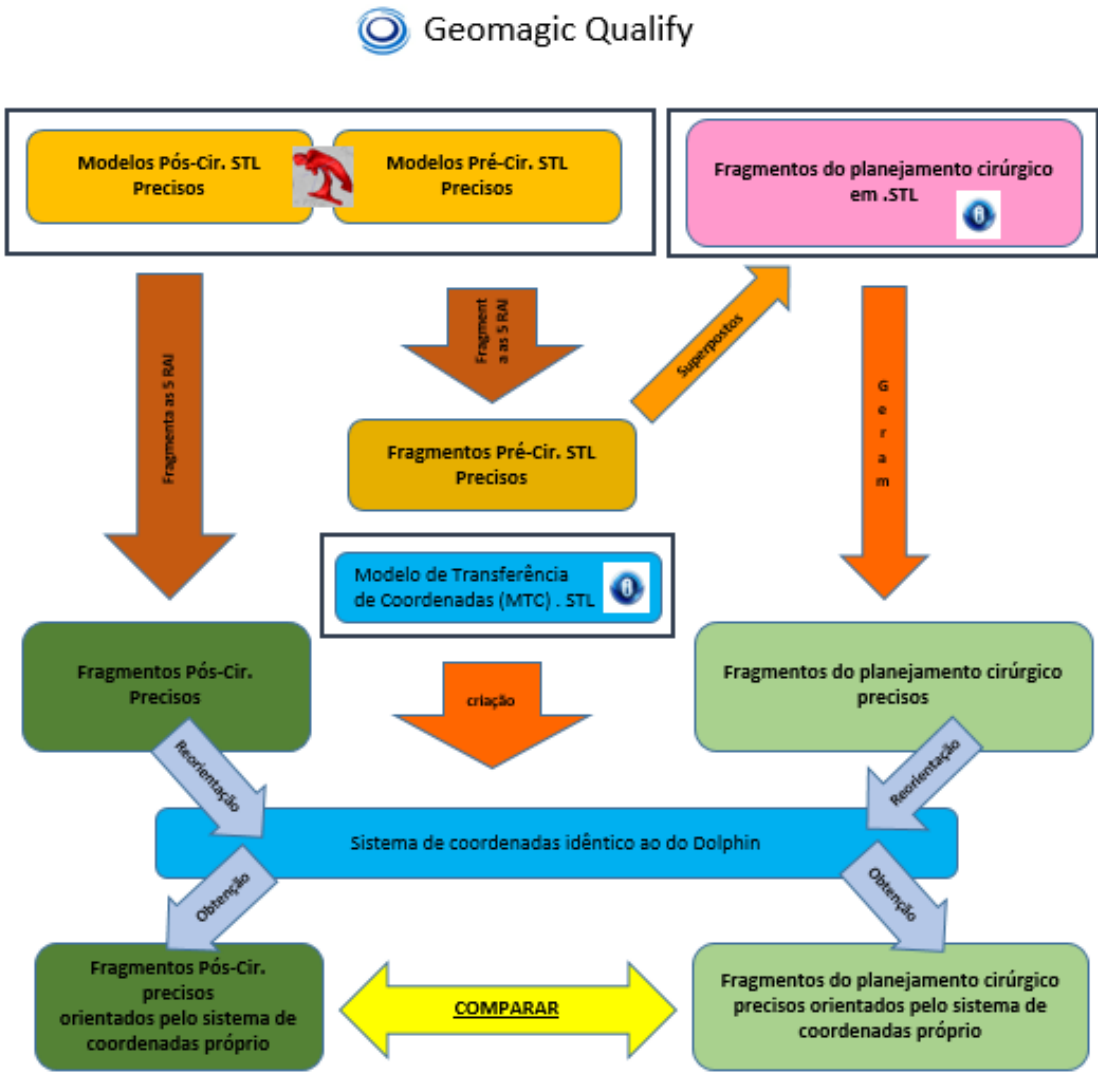


Legenda: Dolphin Imaging® (vermelho); ITK-SNAP® (verde).
Fonte: A autora, 2017.

3.7.3 No programa Geomagic Qualify®

Abaixo, o fluxograma (Figura11) detalha as etapas realizadas no programa Geomegic Qualify®.

Figura 11 – Fluxograma detalhando as diferentes etapas no programa Geomagic Qualify®

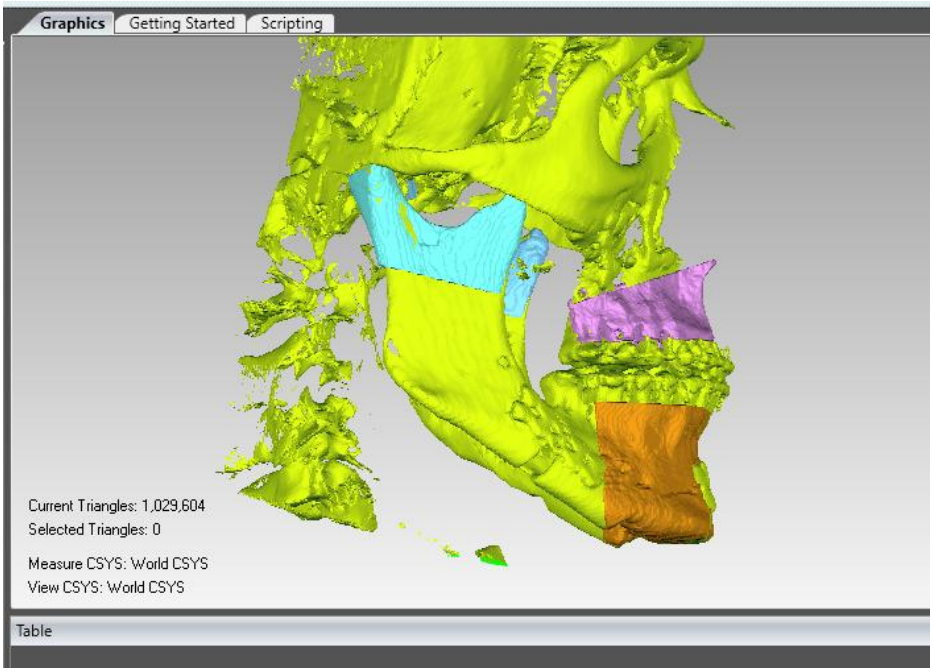


Fonte: A autora, 2017.

O *software* Geomagic Qualify®, versão 2013, é um *software* de avaliação de resultados com vários recursos de medição tridimensional. Ele é largamente utilizado na indústria para processos de medição, inspeção, verificação e garantia de qualidade. Na área médica, é usado para avaliação tridimensional de deslocamentos, que podem ser causados por diferentes processos.

A primeira etapa para a utilização deste programa era importar todos os arquivos que seriam necessários para a comparação entre o planejado na cirurgia virtual e o obtido na cirurgia real. Eram importados os segmentos do planejamento virtual e o modelo de transferência do sistema de coordenadas (MTC), originados no Dolphin Imaging®, e os crânios pré-cirúrgico e pós-cirúrgico, com os segmentos originados no ITK-SNAP® (Figura 12).

Figura 12 – Visualização no Geomagic Qualify® da tomografia pós-operatória, com as estruturas reconstruídas por segmentação no ITK-SNAP®



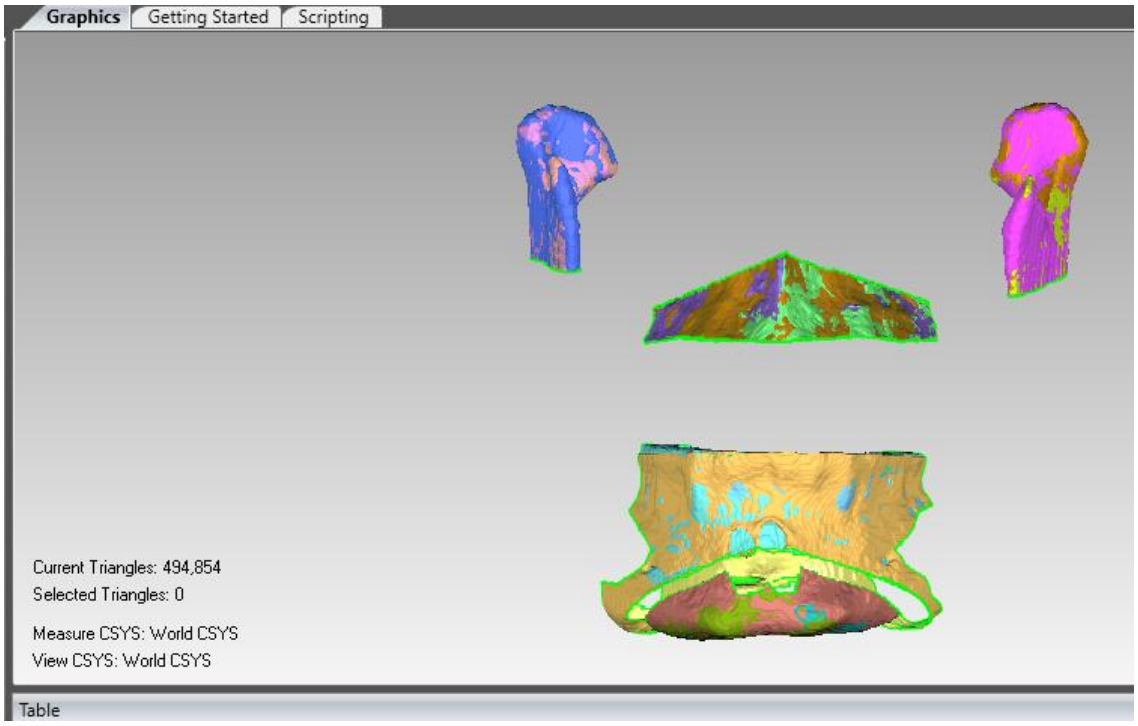
Fonte: A autora, 2017.

Com todos os arquivos já no programa, era feito o recorte de cada segmento (T1 e T2), para ficar apenas as regiões que seriam comparadas: a) maxila abaixo da osteotomia; b) corpo da mandíbula até a região do primeiro molar; c) mento e ramos; d) direito; e) esquerdo acima da língula da mandíbula, juntamente com os segmentos da simulação cirúrgica (T1S).

Na etapa seguinte, duplicavam-se todos os segmentos (T1, T1S e T2) de cada região e fazia-se um registro de melhor adaptação (*best-fit*) entre eles, para que pudessem ser recortados concomitantemente, de forma a ficarem exatamente com os mesmos limites (Figura 13, a seguir). Depois, registrava-se cada cópia do modelo sobre o modelo que o

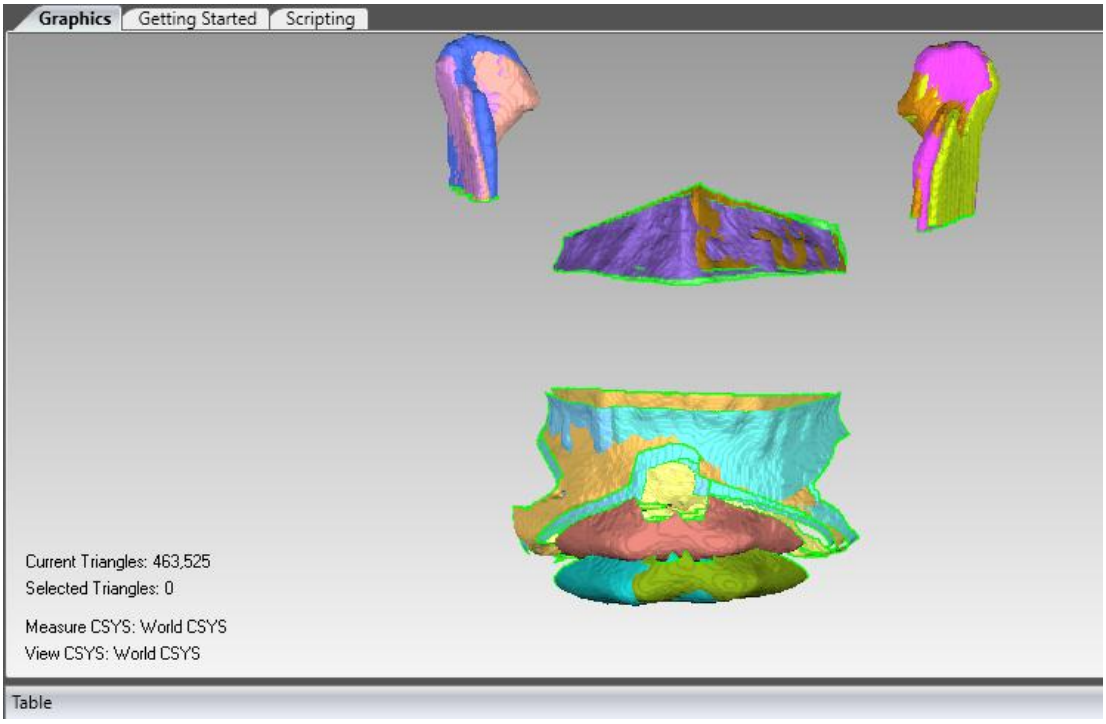
originou, para que voltassem a real localização espacial (gerada pela superposição, baseada em voxel, das bases cranianas) (Figura 14, a seguir).

Figura 13 – Superposição para recorte dos segmentos para igualar os limites entre eles



Fonte: A autora, 2017.

Figura 14 – Segmentos após recortados, reposicionados em sua localização original

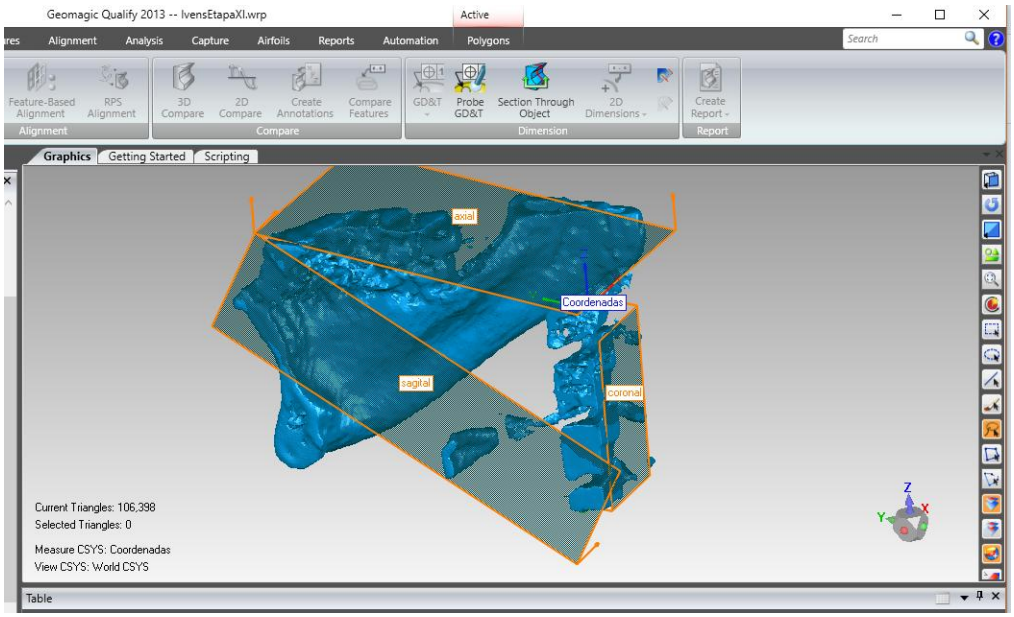


Fonte: A autora, 2017.

Para a maxila, em específico, era feito um recorte prévio de cada uma, removendo-se todas as estruturas medulares e as corticais internas, deixando-se apenas as corticais externas. Este procedimento foi adotado, pois é extremamente difícil a segmentação destas regiões, e considerá-las implicaria em incorporar erros que não seríamos capazes de controlar e, consequentemente, mensurar. Por sua vez, a cortical externa que foi utilizada é a superfície mais confiável de reprodução na segmentação e é capaz de expressar a movimentação da estrutura.

Neste momento, era criado o sistema de coordenadas específico para o caso, tomando como referência o MTC, que havia sido gerado no Dolphin Imaging®, permitindo, assim, que o Geomagic Qualify® 2013 utilizasse o mesmo sistema de coordenadas do Dolphin Imaging® (Figura 15).

Figura 15 – Criação do sistema de coordenadas no Geomagic Qualify® usando o guia ósseo importado do Dolphin Imaging®

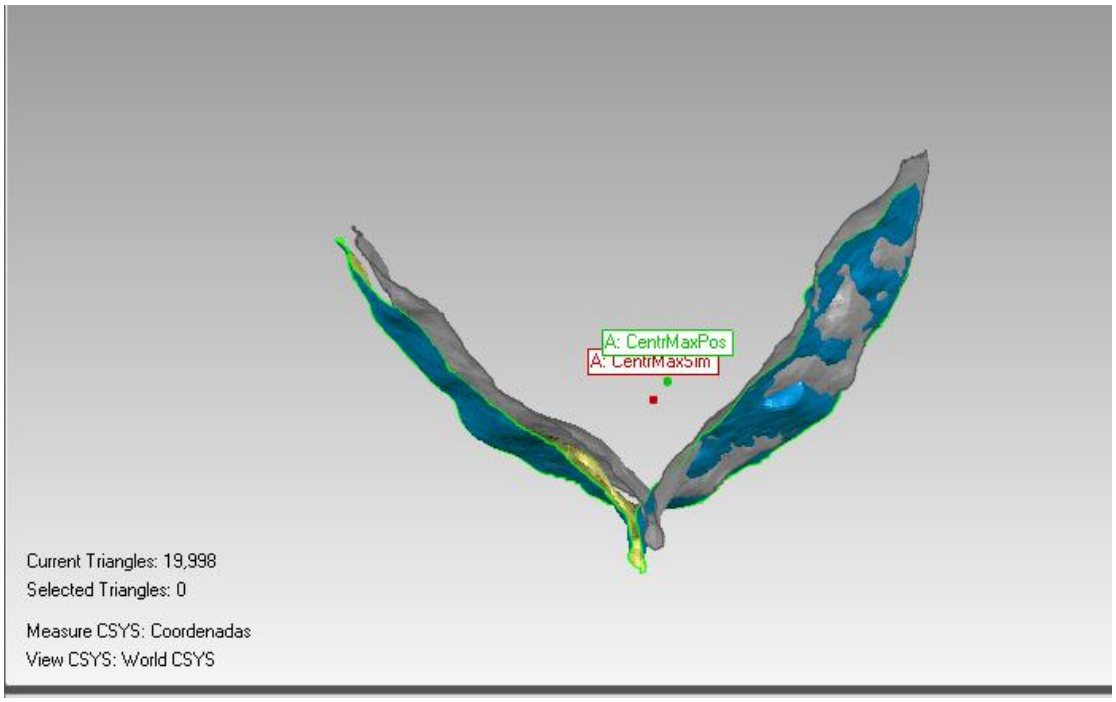


Fonte: A autora, 2017.

Depois disso, era o momento de deixar cada um dos fragmentos de cada região com o mesmo número de triângulos na malha, de forma a torná-los o mais semelhante possível. Primeiro, homogeneizava-se os triângulos da malha de cada estrutura, em cada um dos tempos, e depois se determinava o número de triângulos de cada um dos fragmentos pelo menor valor registrado entre os três, após a redefinição da malha. Com isso, era obtido não só os segmentos com os mesmos limites anatômicos, mas também com o mesmo número de triângulos na malha. Com os três segmentos de cada região, sendo compostos por superfícies

com limites iguais e aproximadamente o mesmo número de triângulos, era possível determinar o ponto centroide. O centroide da região anatômica é calculado pela posição espacial média de todos os centroides dos triângulos que compõem a malha e, por sua vez, o centroide de cada triângulo é o ponto de encontro de suas três medianas. Sendo assim, o centroide tridimensional é um ponto que representa tridimensionalmente e sistematicamente a posição espacial da região anatômica de interesse (RAI), em relação aos três planos do espaço (Figura 16).

Figura 16 – Marcação do centroide em cada uma das estruturas, nos diferentes tempos



Fonte: A autora, 2017.

Depois de todas as padronizações realizadas, cada fragmento era exportado em formato .STL *binary*, contendo o nome do fragmento, momento e nome do paciente (Ex: MaxilaSimuladaBruno).

A sequência detalhada de cada etapa realizada neste programa é descrita detalhadamente no Apêndice C.

3.7.4 Conversão dos modelos virtuais 3D registrados

Após o registro e exportação final para o formato .STL, foram utilizados os *softwares* STL2Meta e MetaToIV para a conversão destes arquivos para o formato .META e, em seguida, para o formato .IV (*SGI Open Inventor*). Estes *softwares* são binários que rodam no sistema operacional Linux e são fornecidos em um pacote de ferramentas disponível gratuitamente (http://www.nitrc.org/projects/spharm-pdm). (76) A execução dos binários em terminal respeitou a seguinte notação:

```
STL2Meta nome_do_arquivo.stl nome_do_arquivo.meta
```

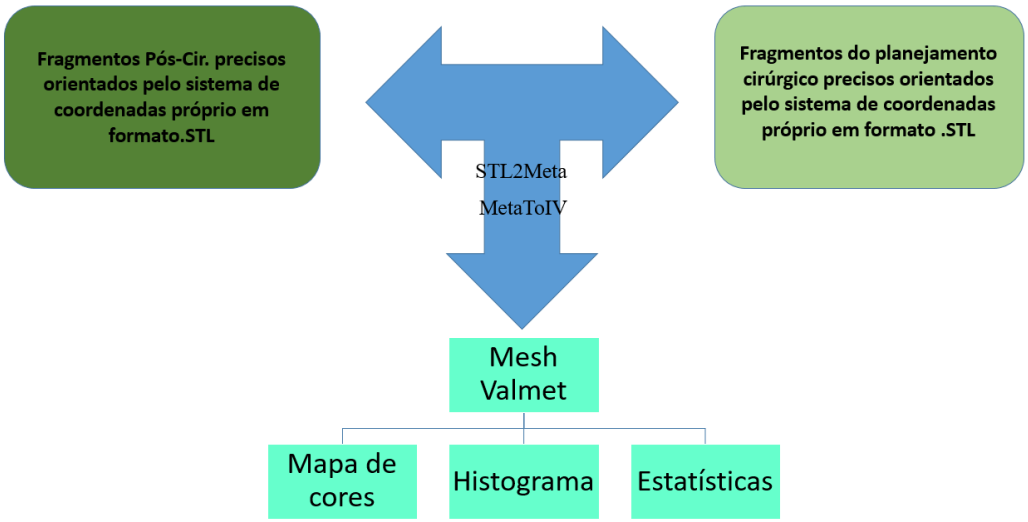
```
MetaToIV nome_do_arquivo.meta nome_do_arquivo.iv
```

A conversão dos arquivos de .STL para .IV teve como objetivo possibilitar a realização de análises quantitativas de mapeamento de superfície, no *Software* Mesh Valmet®3.0.

3.7.5 Quantificação das alterações

Abaixo o fluxograma (Figura 17) detalha as etapas realizadas no programa MeshValmet®.

Figura 17 – Fluxograma detalhando as diferentes etapas no programa MeshValmet®

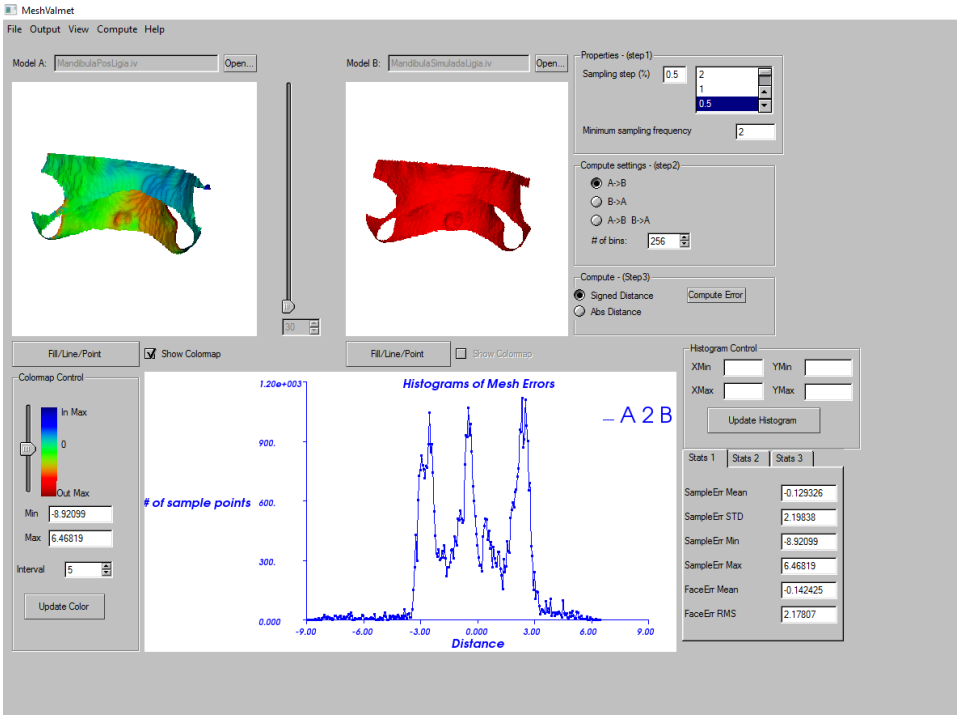


Fonte: A autora, 2017.

Os arquivos no formato IV foram importados pelo *software MeshValmet®* 3.0 (https://www.nitrc.org/projects/MeshValmet), que permitiu a quantificação das alterações dos fragmentos entre os tempos, para cada região anatômica de interesse.

MeshValmet® é uma ferramenta que mede a distância entre todos os pontos da superfície do modelo 3D, de um tempo, aos pontos mais próximos da superfície do modelo 3D, do tempo ao qual se quer realizar a comparação. Este *software* apresenta visualização usando a biblioteca VTK, através de um mapa de cores dos segmentos que estão sendo comparados e, por meio de mensurações destas malhas sobrepostas, também fornece histograma e informações estatísticas baseadas nos erros da amostra, tais como distância mínima e máxima. São disponibilizadas, também, medidas de tendência central, as quais apontam para a faixa de valores com maior concentração dos dados, como distâncias médias, medianas, Mean Square Distance (MSD) e Root Mean Square Distance (RMS ou RMSD) (Figura 18).

Figura 18 – Visualização da tela do Mesh Valmet® com mapa colorido, histograma e informações estatísticas



Fonte: A autora, 2017.

Neste trabalho, esse *software* foi utilizado para registrar e medir os deslocamentos sofridos pelos triângulos da malha de superfície da maxila, corpo da mandíbula, mento e ramos direito e esquerdo, entre o que foi simulado e o que efetivamente foi obtido na cirurgia.

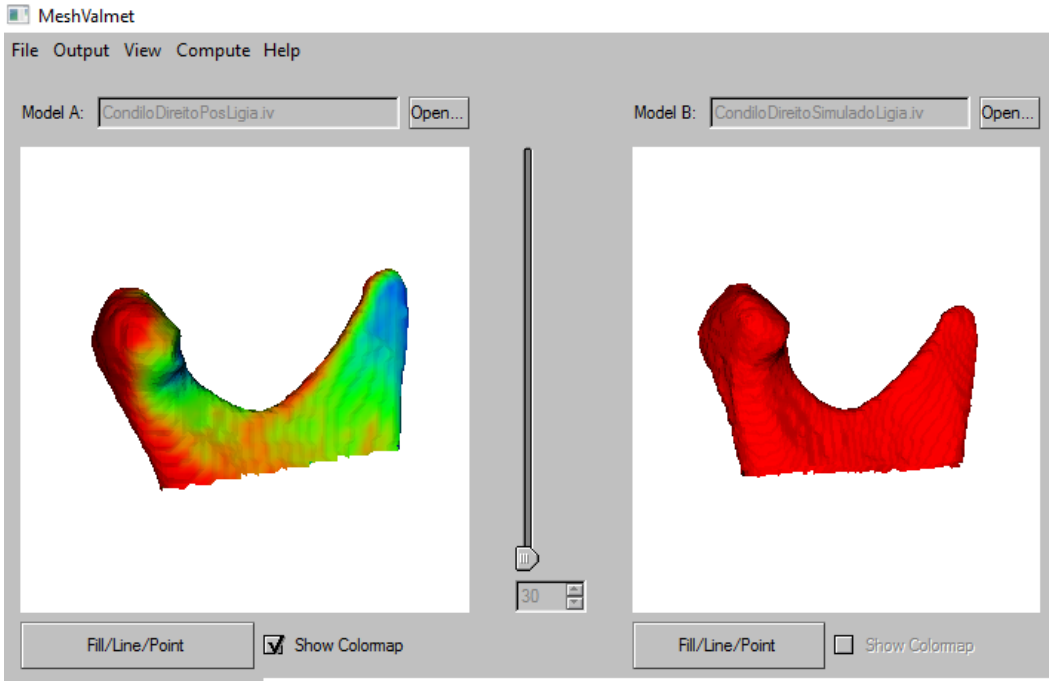
Foi usado o valor de RMS para a avaliação das diferenças de posicionamento entre os fragmentos. O RMS, na verdade, corresponde à média absoluta das distâncias de uma forma normalizada, útil quando existem grandes variações de valores, tanto para positivo quanto para negativo. (77)

RMS para uma coleção de *n* valores {X1 X2,..., X*n*} é dado pela fórmula a seguir:

$$RMS = \sqrt{\frac{X1^2 + X2^2 + \ldots + Xn^2}{n}}$$

As alterações registradas foram visualizadas de forma quantitativa através dos mapas de codificação coloridos, os quais podem diferenciar entre movimento para dentro de uma superfície em relação à outra (codificação azul) ou para fora (codificação vermelha). A ausência de deslocamento é codificada pela cor verde (Figura 19).

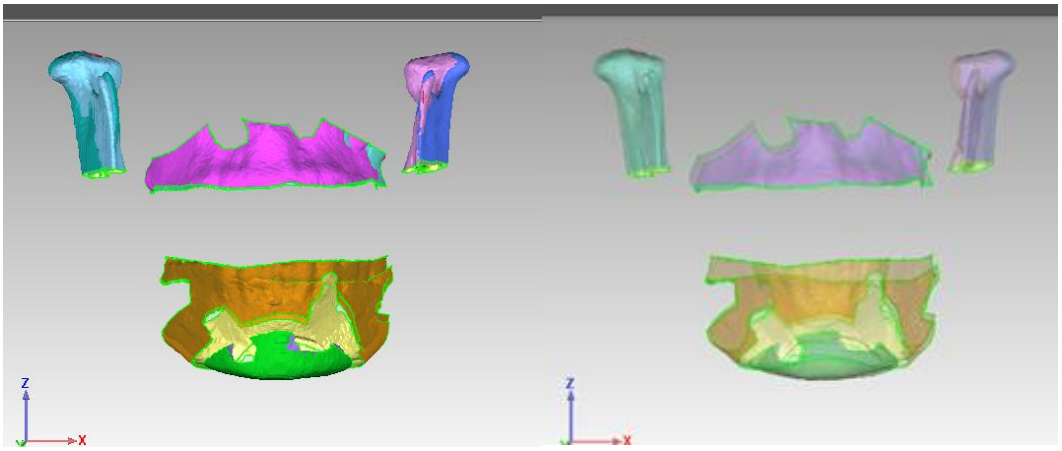
Figura 19 – Mapa colorido gerado no MeshValmet®



Fonte: A autora, 2017.

Esta movimentação pode ser vista também pela superposição e semitransparência dos modelos (gerados no *software* Geomagic Qualify®) (Figura 20, a seguir).

Figura 20 – Superposições e semitransparências para visualização dos deslocamentos entre os diferentes tempos no *Software* Geomagic Qualify

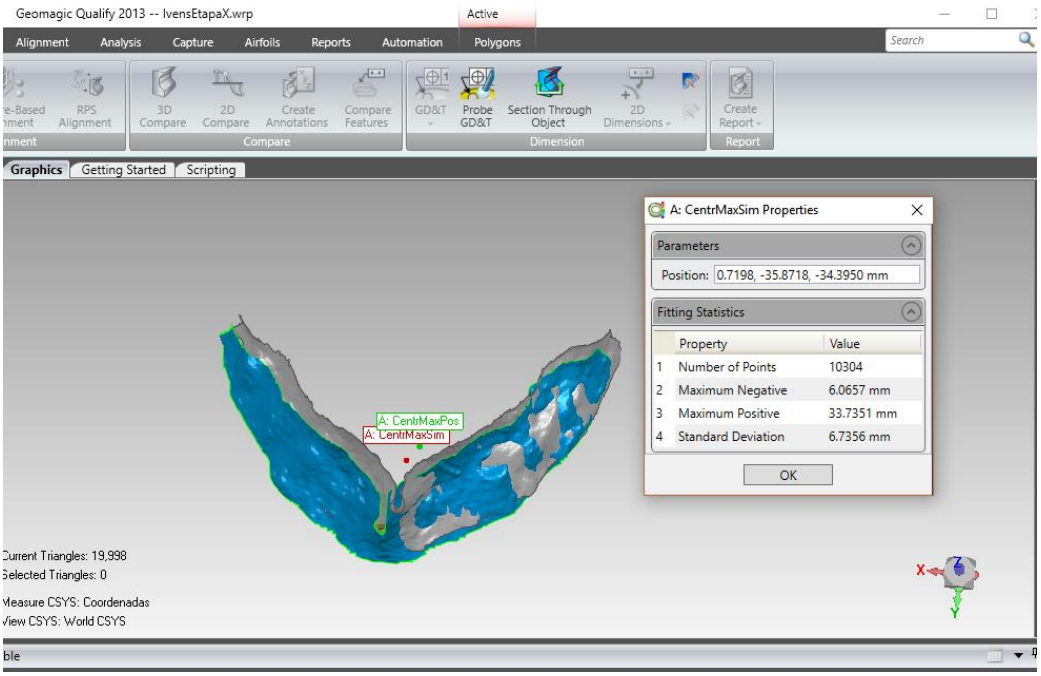


Fonte: A autora, 2017.

Além das medidas de RMS, feitas automaticamente pelo MeshValmet®, também foram utilizados os posicionamentos dos centroides nas coordenadas X, Y e Z, de cada uma

das estruturas nos diferentes tempos (Figura 21). Enquanto a medição no MeshValmet® fornece informações da distância entre as duas superfícies, o centroide fornece informação sobre o deslocamento de um ponto representativo da estrutura, nos três planos do espaço.

Figura 21 – Posicionamento dos centroides nos eixos X, Y e Z



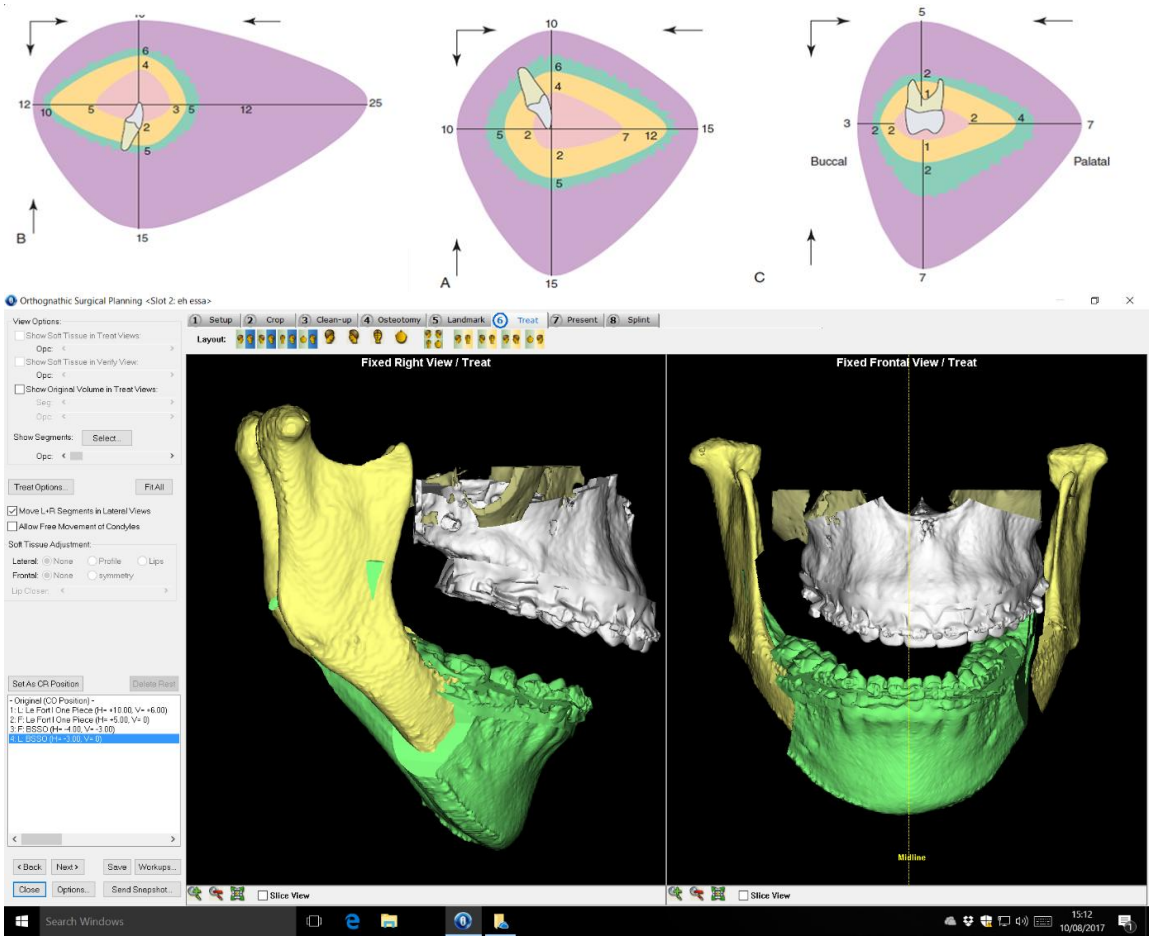
Fonte: A autora, 2017.

3.8 **Calibração**

A calibração foi realizada utilizando-se a tomografia inicial dos dez pacientes da amostra. Para cada um dos pacientes, foi sorteado um conjunto de movimentações vertical, lateral e anteroposterior, a serem feitas na maxila e na mandíbula, seguindo o envelope de discrepância do Proffit. (78) (Figura 22, legenda A) No módulo de simulação cirúrgica do Dolphin Imaging® 11.9, eram realizadas as movimentações, de acordo com o sorteio previamente realizado (Figura 22, legenda B). Após a simulação da cirurgia realizada, os segmentos simulados e o modelo de transferência do sistema de coordenadas (MTC) eram exportados em .STL. As segmentações do ITK-SNAP®, do crânio pré-cirúrgico, eram utilizadas para a calibração. No Geomagic Qualify®, então, eram importados os arquivos da simulação cirúrgica do Dolphin Imaging® e o MTC, além do crânio segmentado no ITK-

SNAP®. Da mesma forma que explicado anteriormente, os crânios do ITK eram seccionados, para que apenas as regiões que seriam medidas fossem mantidas, e eram realizadas as superposições das regiões segmentadas com os segmentos da simulação. Os segmentos pré-cirúrgicos e simulados eram orientados pelo MTC, e os centroides, para cada estrutura pré-cirúrgica e simulada, eram gerados. Comparando-se a posição dos centroides nas coordenadas X, Y e Z da maxila e da mandíbula pré-cirúrgica com a simulação cirúrgica criada, obtinha-se o deslocamento de cada estrutura em cada direção, e comparava-se com o que havia sido planejado no módulo de simulação cirúrgica do Dolphin Imaging®. Foi feita correlação intraexaminador e interexaminador para as medidas, obtendo-se Índice de Correlação Intraclasse excelente (ICC≥0,99).

Figura 22 - Movimentação aleatória no Dolphin Imaging® seguindo o envelope de discrepância do Proffit utilizada para calibração do método dos centroides



A

B

Legenda: A- Envelopes de discrepância; B- Movimentação aleatória no Dolphin.
Fonte: Legenda A - Proffit e Ackerman (78);Legenda B - A autora 2017.

3.9 **Análise estatística**

O cálculo amostral foi realizado no site www.lee.dante.br.

As análises estatísticas foram realizadas pelo programa *Statistical Product and Service Solutions* (SPSS®) for Windows, versão 23.0 (Armonk, NY: IBM Corp), e os gráficos adicionais foram gerados no MedCalc®, versão 17.4 (MedCalcSoftware, Mariakerke, Belgium) e no Microsoft Excel®, versão 2016 (Microsoft Corporation, Redmond, USA).

A normalidade da amostra foi testada utilizando o teste de Shapiro-Wilk.

Como a distribuição da amostra para os valores de RMS mostrou-se não normal para duas das cinco medidas, foi realizado o teste de *Wilcoxon* para uma amostra para a avaliação destas medidas, complementando com gráficos de Concordância-sobrevivência *(Survival Agreement)*.

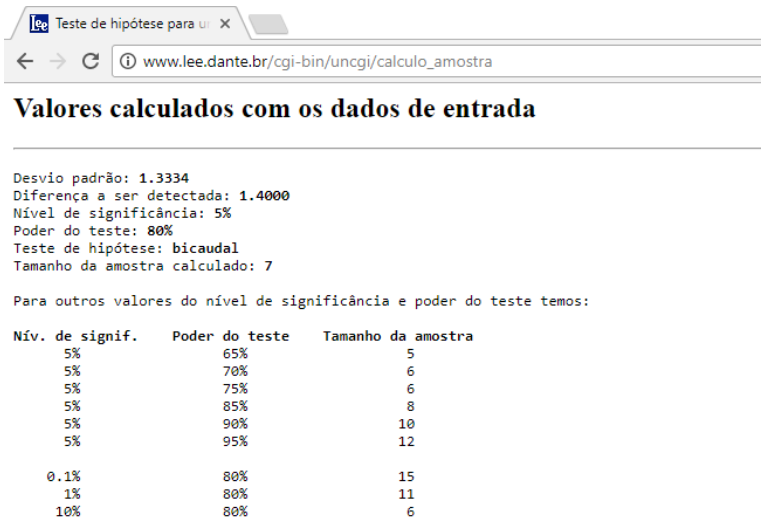
Para as medidas dos centroides nos eixos X, Y e Z, a distribuição mostrou-se não normal para uma das 15 variáveis, quando considerado o valor com sinal, e para três das quinze variáveis, quando considerado o valor absoluto. Devido à maior parte das medidas apresentar distribuição normal para os valores das coordenadas, utilizou-se o teste t pareado, sendo complementado pelo gráfico de *Altman Bland* (para os valores com sinal), e/ou pelo gráfico de Concordância-sobrevivência (para valores absolutos).

4 RESULTADOS

4.1 Cálculo amostral

O cálculo amostral foi realizado com poder de 80% e nível de significância de 5%, com diferença a ser detectada de 1,4mm. Com estes parâmetros, o teste mostrou a necessidade de sete indivíduos na amostra. O cálculo mostrou, também, que para a mesma diferença a ser detectada e a mesma significância, alcançava-se 90% de poder com amostra de 10 pacientes (Figura 23).

Figura 23 – Captura da tela do site www.lee.dante.br para o cálculo amostral



Fonte: A autora, 2017.

4.2 Normalidade da amostra

A normalidade da amostra foi testada para os valores de RMS (que correspondem à média absoluta das distâncias de uma forma normalizada) das cinco estruturas (Tabela 1, a seguir) e para o valor da diferença da posição dos centroides nas coordenadas X, Y e Z de cada estrutura, com valores com sinal (Tabela 2, a seguir) e absolutos (Tabela 3, a seguir). Os

valores de RMS mostraram distribuição normal para maxila, mandíbula e mento e distribuição assimétrica para os ramos direito e esquerdo. Para os valores das coordenadas com sinal (considerando o sentido do deslocamento no eixo), 14 variáveis mostraram distribuição normal, e os valores da coordenada X do mento mostraram distribuição assimétrica. Para os valores absolutos das coordenadas (desconsiderando o sentido do deslocamento no eixo), 12 variáveis mostraram distribuição normal e três apresentaram distribuição assimétrica (no eixo Y da mandíbula, eixo X do mento e eixo X do ramo direito). Então, as avaliações para o RMS foram feitas o com teste de Wilcoxon. Para os valores dos centroides nos eixos X, Y e Z, com sinal e absoluto, utilizamos o teste t pareado, devido à maior parte das variáveis analisadas terem distribuição normal.

Tabela 1 - Teste de Normalidade para os valores de RMS

	Shapiro-Wilk		
	Estatística	Grau de liberdade	p
RMS – Maxila	0,886	10	0,152
RMS – Mandíbula	0,949	10	0,660
RMS – Mento	0,967	10	0,860
RMS - Ramo Direito	0,793	10	0,012
RMS - Ramo Esquerdo	0,779	10	0,008

Legenda: *Root Mean Square* (RMS).
Fonte: A autora, 2017.

Tabela 2 - Teste de normalidade para a diferença de valores do posicionamento dos centroides nas coordenadas X (transversal), Y (anteroposterior) e Z (vertical), considerando o sentido do deslocamento

	Shapiro-Wilk		
	Estatística	Grau de liberdade	p
X_Maxila	0,941	10	0,567
Y_Maxila	0,956	10	0,737
Z_Maxila	0,970	10	0,893
X_Mandíbula	0,953	10	0,701
Y_Mandíbula	0,931	10	0,460
Z_Mandíbula	0,973	10	0,920
X_Mento	0,816	10	0,023
Y_Mento	0,967	10	0,857
Z_Mento	0,955	10	0,733
X_Ramo Direito	0,897	10	0,203
Y_ Ramo Direito	0,948	10	0,641
Z_ Ramo Direito	0,893	10	0,183
X_ Ramo Esquerdo	0,946	10	0,618
Y_ Ramo Esquerdo	0,968	10	0,871
Z_ Ramo Esquerdo	0,973	10	0,917

Fonte: A autora, 2017.

Tabela 3 - Teste de normalidade para a diferença de valores do posicionamento dos centroides nas coordenadas X (transversal), Y (anteroposterior) e Z (vertical) desconsiderando o sentido do deslocamento

	Shapiro-Wilk		
	Estatística	Grau de liberdade	p
X_Maxila	0,919	10	0,346
Y_Maxila	0,911	10	0,287
Z_Maxila	0,897	10	0,203
X_Mandíbula	0,866	10	0,090
Y_Mandíbula	0,814	10	0,022
Z_Mandíbula	0,910	10	0,281
X_Mento	0,707	10	0,001
Y_Mento	0,966	10	0,846
Z_Mento	0,914	10	0,310
X_Ramo Direito	0,711	10	0,001
Y_ Ramo Direito	0,924	10	0,387
Z_ Ramo Direito	0,846	10	0,052
X_ Ramo Esquerdo	0,929	10	0,438
Y_ Ramo Esquerdo	0,983	10	0,981
Z_ Ramo Esquerdo	0,875	10	0,115

Fonte: A autora, 2017.

4.3 **Avaliação do segmento maxilar**

A seguir, serão apresentados os dados da diferença de posicionamento do segmento maxilar para os valores de RMS, para os valores dos centroides nas coordenadas X, Y e Z, com sinais indicativos do sentido do deslocamento, e apenas com o módulo que considera a magnitude do deslocamento, sem considerar o sentido no eixo.

4.3.1 Avaliação pelo valor de RMS

O Valor de RMS foi avaliado pelo teste de Wilcoxon para uma amostra (Tabela 4, a seguir).

Tabela 4 - Teste de Wilcoxon para os valores de RMS

	Limite do erro dos exames RMS-Max	Limite do erro dos exames RMS-Mand	Limite do erro dos exames RMS-Mento	Limite do erro dos exames RMS-RD	Limite do erro dos exames RMS-RE
Z	-1,172	-2,497	-2,497	-1,274	-0,866
P	0,241	0,013	0,013	0,203	0,386

Legenda: *Root Mean Square* (RMS).
Fonte: A autora 2017.

O valor do teste de Wilcoxon (p=0,241) demostrou que para o segmento maxilar não houve diferença entre o planejado e o obtido, quando considerado diferença de 1,4 mm (limite da detecção das diferenças).

4.3.2 Avaliação pelo valor da diferença do posicionamento dos centroides, considerando o sentido do deslocamento

A avaliação para a diferença do valor dos centroides, considerando o sentido de deslocamento, foi feita pelo teste t pareado (Tabela 5) e complementada pelos gráficos de Altman-Bland (Gráficos 1, 2 e 3, a seguir).

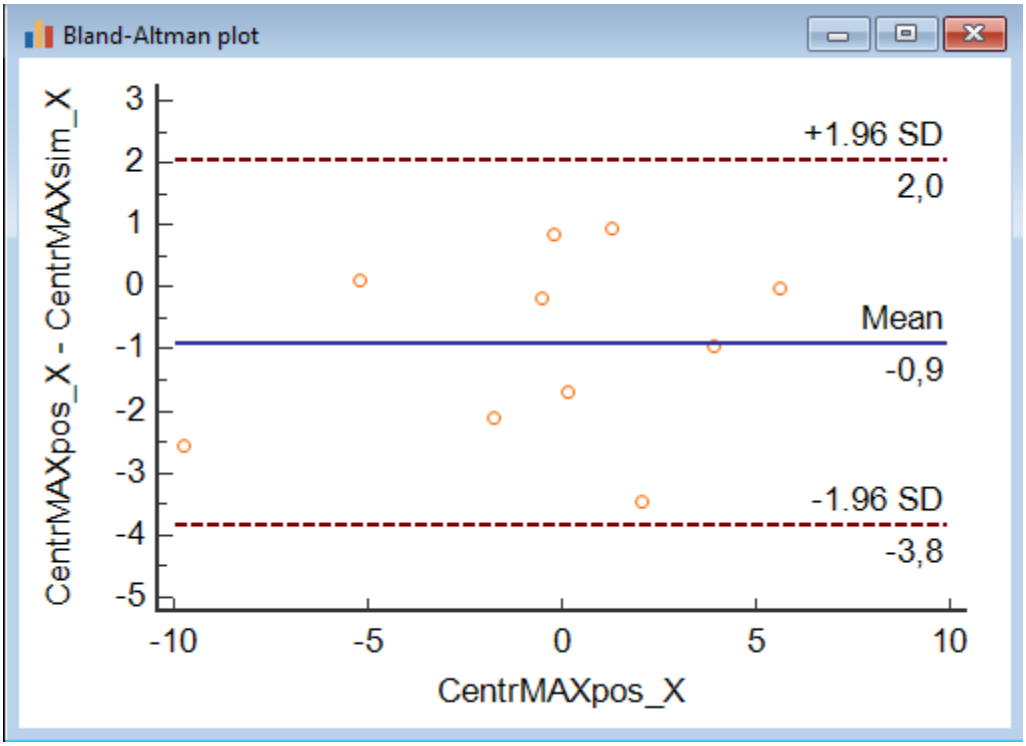
Tabela 5 - Teste t pareado para os valores da diferença do posicionamento dos centroides considerando o sentido do deslocamento

	Diferenças pareadas					T	df	P
	Média	Desvio padrão	Média do erro	95% Intervalo de confiança da diferença				
				Inferior	Superior			
MaxPosX – MaxSimX	-0,90748	1,49579	0,47301	-1,97750	0,16254	-1,919	9	0,087
MaxPosY – MaxSimY	-0,10553	2,09289	0,66183	-1,60269	1,39163	-0,159	9	0,877
MaxPosZ – MaxSimZ	-0,22910	1,17437	0,37137	-1,06919	0,61099	-0,617	9	0,553

Nota: X – direção transversal, Y – direção anteroposterior e Z – direção vertical.
Fonte: A autora 2017.

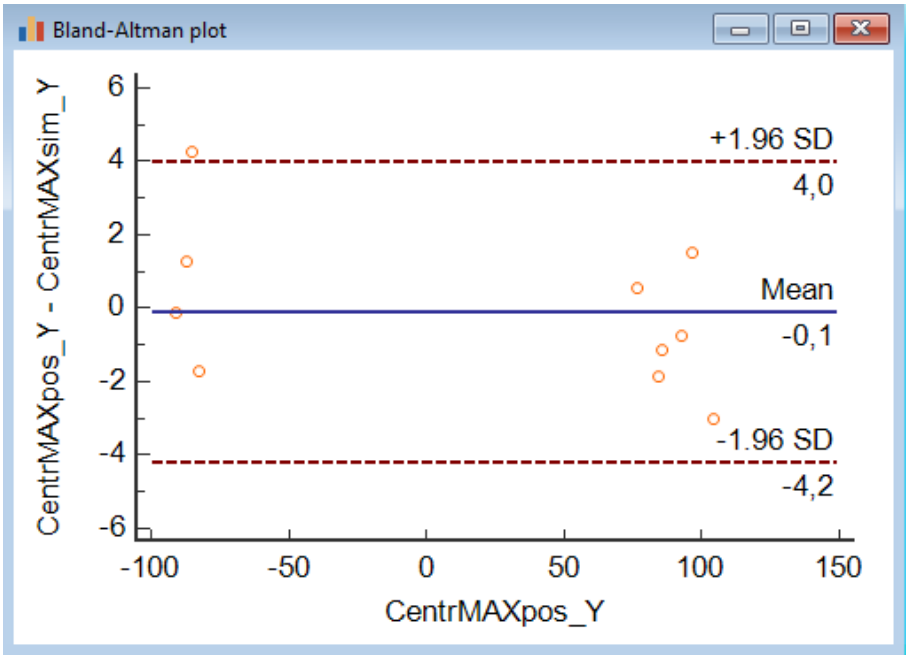
Para a avaliação de diferença entre o posicionamento do centroide simulado e o obtido na cirurgia, considerando o sentido do deslocamento, não houve diferença estatisticamente significativa em nenhuma das três direções (transversal, anteroposterior e vertical).

Gráfico 1 - Gráfico de Altman-Bland para deslocamento transversal da maxila medido pela diferença de posicionamento dos centroides



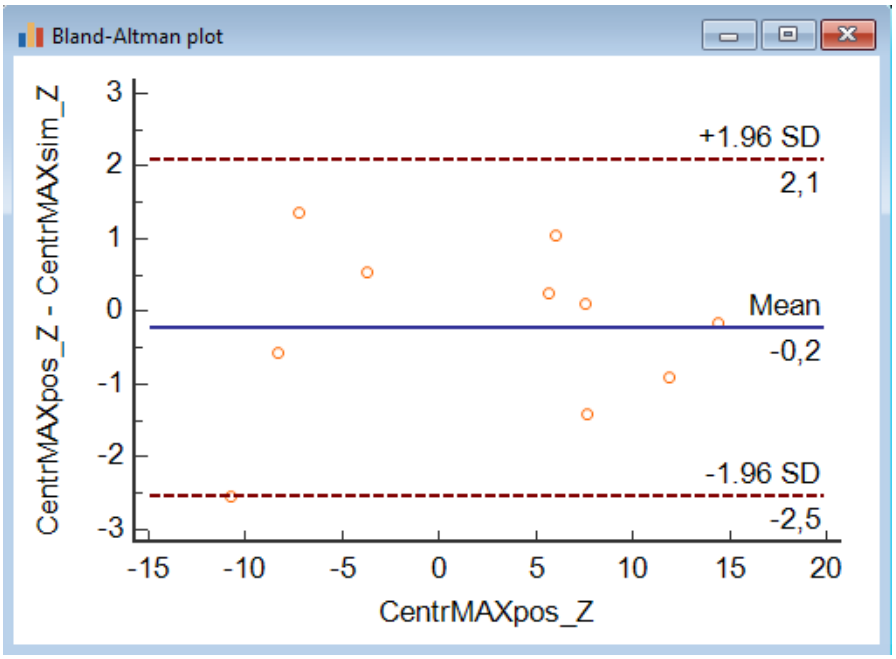
Nota: Todos os valores encontram-se dentro dos limites da avaliação.
Fonte: A autora 2017.

Gráfico 2 - Gráfico de Altman-Bland para deslocamento anteroposterior da maxila medido pela diferença de posicionamento dos centroides



Nota: Apenas um valor encontra-se fora dos limites da avaliação.
Fonte: A autora 2017.

Gráfico 3 - Gráfico de Altman-Bland para deslocamento vertical da maxila medido pela diferença de posicionamento dos centroides



Nota: Apenas um valor encontra-se fora dos limites da avaliação.
Fonte: A autora 2017.

Os gráficos de Altman-Bland (79) foram usados para complementar a estatística do posicionamento dos centróides considerando o sentido do deslocamento. Para avaliação desses gráficos é necessário entender que o eixo X fornece informações sobre a média entre as duas medições e o eixo Y fornece informações sobre a diferença entre as duas medidas. A interpretação do eixo Y diz respeito à diferença ou erro que está sendo avaliado, e é de fácil interpretação. A interpretação do eixo X diz respeito à média obtida entre as duas medições e seus valores dependem do posicionamento do centroide em relação a origem do sistema de coordenadas em cada um dos eixos. Por isso, quando os centroides estão localizados distantes da origem do sistema de coordenadas os valores do eixo X são altos, porém sempre concentrados em um intervalo que é o da relação do posicionamento de cada centroide com a origem do sistema de coordenadas.

Os dados da análise de Altman-Bland mostraram a maior parte das medidas (28 das 30) dentro dos limites de 1,96 desvio-padrão.

4.3.3 Avaliação pelo valor da diferença do posicionamento dos centroides, sem considerar o sentido do deslocamento

A avaliação para a diferença do valor dos centroides, desconsiderando o sentido de deslocamento, foi feita pelo teste t pareado (Tabela 6) e complementada pelos gráficos de Concordância-sobrevivência (Gráficos 4, 5 e 6, a seguir).

Tabela 6 - Teste t pareado para os valores da diferença do posicionamento dos centroides, desconsiderando o sentido do deslocamento

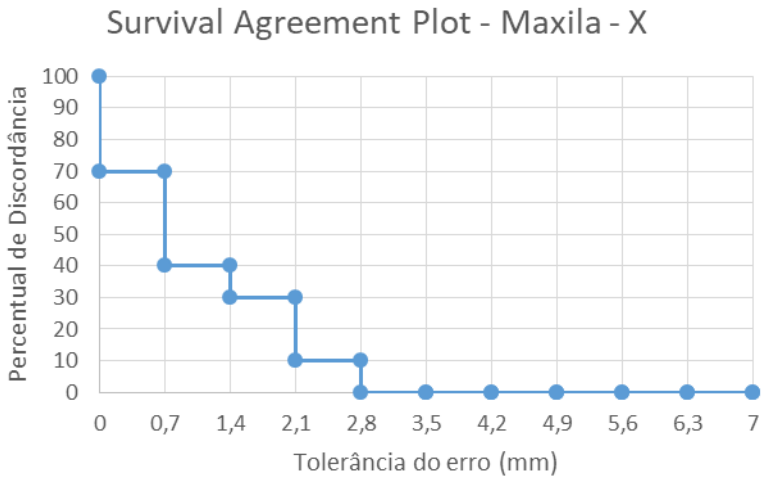
	Diferenças pareadas					T	df	P
	Média	Desvio padrão	Média do erro	95% Intervalo de confiança da diferença				
				Inferior	Superior			
MaxPosXA – MaxSimXA	-0,19920	1,68296	0,53220	-1,40312	1,00472	-0,374	9	0,717
MaxPosYA – MaxSimYA	-0,83669	1,90124	0,60123	-2,19676	0,52338	-1,392	9	0,197
MaxPosZA – MaxSimZA	0,01160	1,19888	0,37912	-0,84603	0,86923	0,031	9	0,976

Nota: X – direção transversal, Y – direção anteroposterior e Z – direção vertical. A letra A, seguindo as letras representativas da direção, significa que foram usados os valores absolutos.
Fonte: A autora 2017.

Para avaliação de diferença entre o posicionamento do centroide simulado e o obtido na cirurgia, desconsiderando o sentido do deslocamento, não houve diferença estatisticamente significativa em nenhuma das três direções (transversal, anteroposterior e vertical).

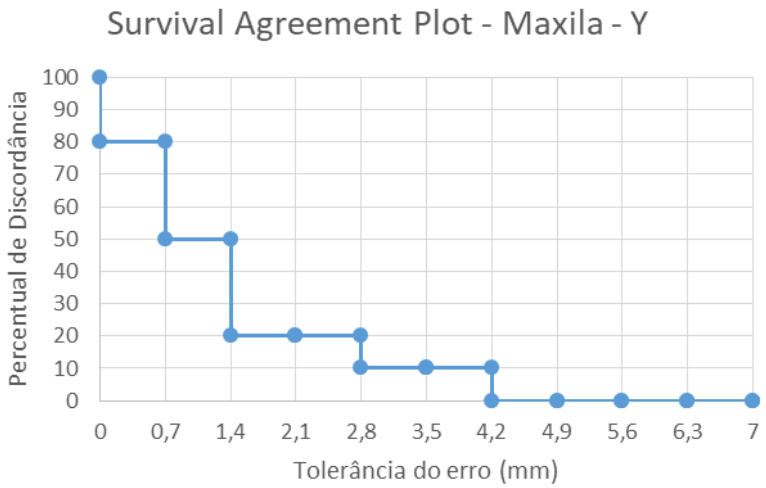
Os gráficos de Concordância-sobrevivência mostram em porcentagem qual foi a discordância entre as medidas, e foi utilizado para complementar a estatística do posicionamento dos centroides desconsiderando o sentido do deslocamento.

Gráfico 4 - Gráfico de Concordância-sobrevivência para deslocamento transversal da maxila, medido pela diferença do posicionamento dos centroides



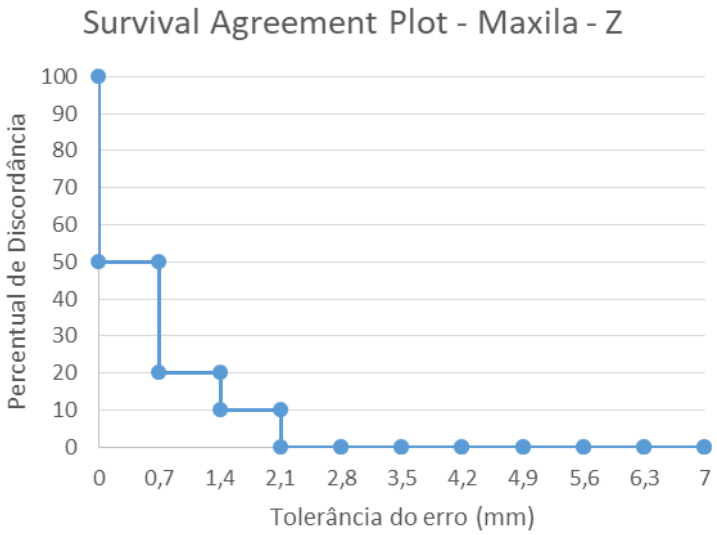
Fonte: A autora 2017.

Gráfico 5 – Gráfico de Concordância-sobrevivência para deslocamento anteroposterior da maxila medido pela diferença do posicionamento dos centroides



Fonte: A autora 2017.

Gráfico 6 – Gráfico de Concordância-sobrevivência para deslocamento vertical da maxila medido pela diferença do posicionamento dos centroides



Fonte: A autora 2017.

Através do gráfico de Concordância-sobrevivência, para o eixo X foi observado que em 60% dos casos, a diferença foi menor que 0,7mm; em 70% dos casos, menor que 1,4mm; em 90% dos casos, menor que 2,1mm e em 100% dos casos, menor do que 2,8mm. Para o

eixo Y, foi observado que em 50% dos casos, a diferença foi menor que 0,7mm; em 80% dos casos, menor que 1,4mm; em 90% dos casos, menor que 2,8mm e em 100% dos casos, menor do que 4,2mm. Para o eixo Z, foi observado que em 80% dos casos, a diferença foi menor que 0,7mm; em 90% dos casos, menor que 1,4mm e em 100% dos casos, menor do que 2,1mm.

4.4 **Avaliação do segmento mandibular**

A seguir, serão apresentados os dados da diferença de posicionamento do segmento mandibular para os valores de RMS, para os valores dos centroides nas coordenadas X, Y e Z, com sinais indicativos do sentido do deslocamento, e apenas com o módulo que considera a magnitude do deslocamento, sem considerar o sentido no eixo.

4.4.1 Avaliação pelo valor de RMS

O Valor de RMS foi avaliado pelo teste de Wilcoxon para uma amostra (Tabela 4).

O valor do teste de Wilcoxon (p=0,013) mostrou que, para o segmento mandibular, houve diferença entre o planejado e o obtido, quando considerada diferença de 1,4 mm (limite de erro do exame).

4.4.2 Avaliação pelo valor da diferença do posicionamento dos centroides considerando o sentido do deslocamento

A avaliação para a diferença do valor dos centroides, considerando o sentido de deslocamento, foi feita pelo teste t pareado (Tabela 7) e complementada pelos gráficos de Altman-Bland (Gráficos 7, 8 e 9, a seguir).

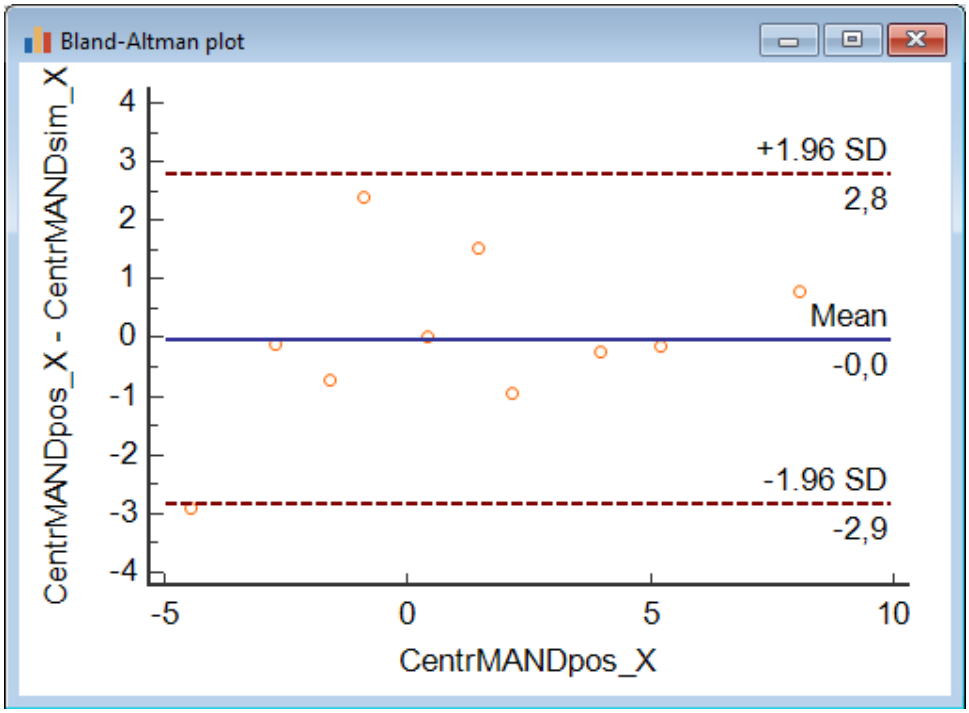
Tabela 7 - Teste t pareado para os valores da diferença do posicionamento dos centroides considerando o sentido do deslocamento

	Diferenças pareadas					T	df	P
	Média	Desvio padrão	Média do erro	95% Intervalo de confiança da diferença				
				Inferior	Superior			
MandPosX - MandSimX	-0,03412	1,43961	0,45525	-1,06396	0,99572	-0,075	9	0,942
MandPosY - MandSimY	0,64456	2,81070	0,88882	-1,36609	2,65521	0,725	9	0,487
MandPosZ - MandSimZ	-0,49437	1,99896	0,63213	-1,92434	0,93560	-0,782	9	0,454

Nota: X - direção transversal, Y - direção anteroposterior e Z - direção vertical.
Fonte: A autora 2017.

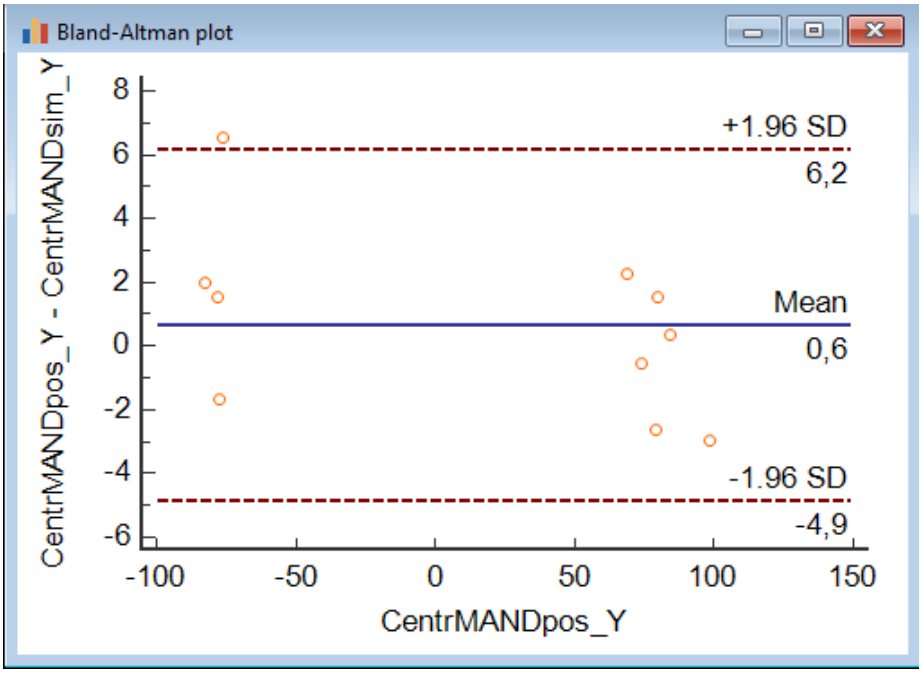
Para a avaliação de diferença entre o posicionamento do centroide simulado e o obtido na cirurgia, considerando a direção do deslocamento, não houve diferença estatisticamente significativa em nenhuma das três direções (transversal, anteroposterior e vertical).

Gráfico 7 - Gráfico de Altman-Bland para deslocamento transversal da mandíbula medido pela diferença de posicionamento dos centroides



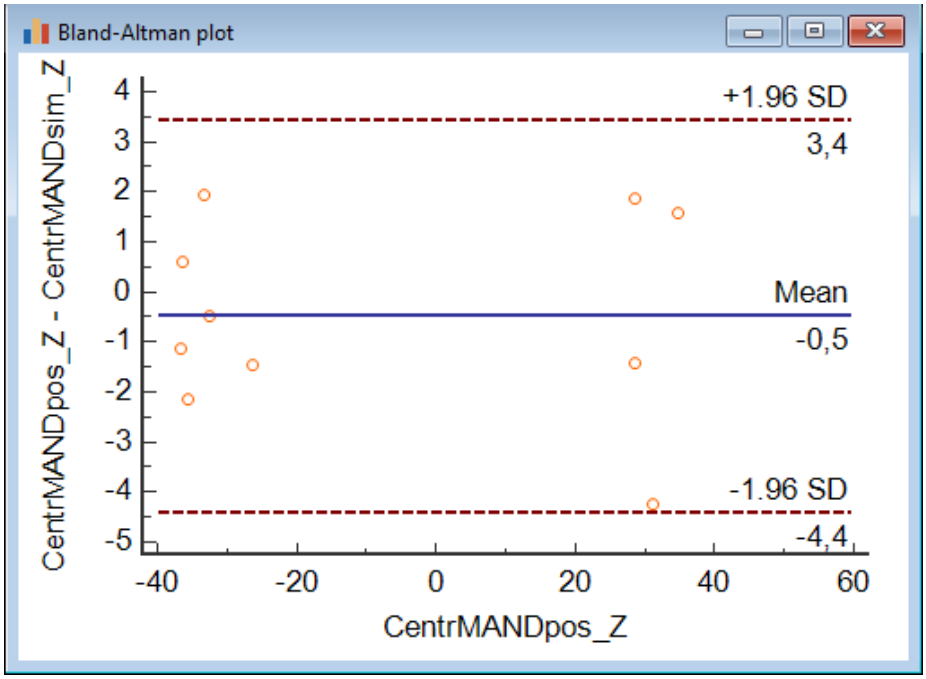
Nota: Apenas um valor encontra-se fora dos limites da avaliação.
Fonte: A autora 2017.

Gráfico 8 - Gráfico de Altman-Bland para deslocamento anteroposterior da mandíbula medido pela diferença de posicionamento dos centroides



Nota: Apenas um valor encontra-se fora dos limites da avaliação.
Fonte: A autora 2017.

Gráfico 9 - Gráfico de Altman-Bland para deslocamento vertical da mandíbula medido pela diferença de posicionamento dos centroides



Nota: Todos os valores encontram-se dentro dos limites da avaliação.
Fonte: A autora 2017.

Os dados da análise de Altman-Bland mostraram a maior parte das medidas (28 das 30) dentro dos limites de 1,96, desvio-padrão.

4.4.3 Avaliação pelo valor da diferença do posicionamento dos centroides sem considerar a direção do deslocamento

A avaliação para a diferença do valor dos centroides, desconsiderando o sentido de deslocamento, foi feita pelo teste t pareado (Tabela 8, a seguir) e complementada pelos gráficos de Concordância-sobrevivência (Gráficos 10, 11 e 12, a seguir).

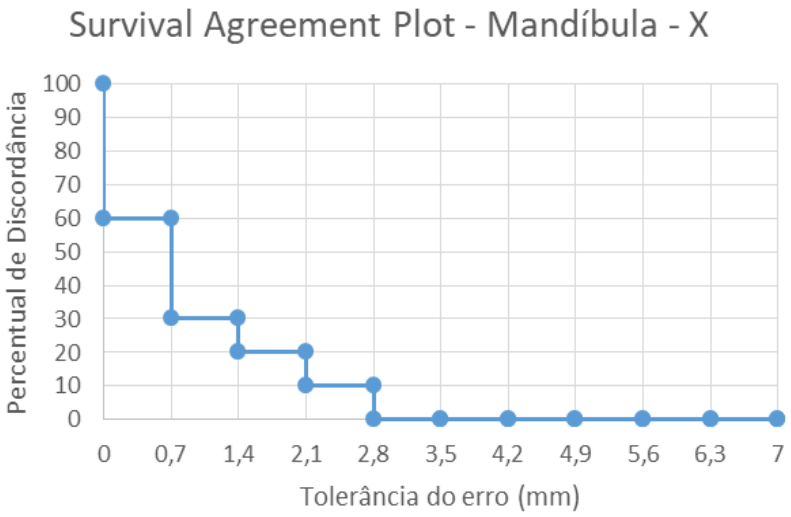
Tabela 8 - Teste t pareado para os valores da diferença do posicionamento dos centroides desconsiderando o sentido do deslocamento

	Diferenças pareadas					T	df	P
	Média	Desvio padrão	Média do erro	95% Intervalo de confiança da diferença				
				Inferior	Superior			
MandPosXA - MandSimXA	0,21786	1,41137	0,44631	-0,79177	1,22749	0,488	9	0,637
MandPosYA - MandSimYA	-1,03208	2,67920	0,84724	-2,94866	0,88450	-1,218	9	0,254
MandPosZA - MandSimZA	0,05067	2,06508	0,65304	-1,42660	1,52794	0,078	9	0,940

Nota: X - direção transversal, Y - direção anteroposterior e Z - direção vertical. A letra A, seguindo as letras representativas da direção, significa que foram usados os valores absolutos.
Fonte: A autora 2017.

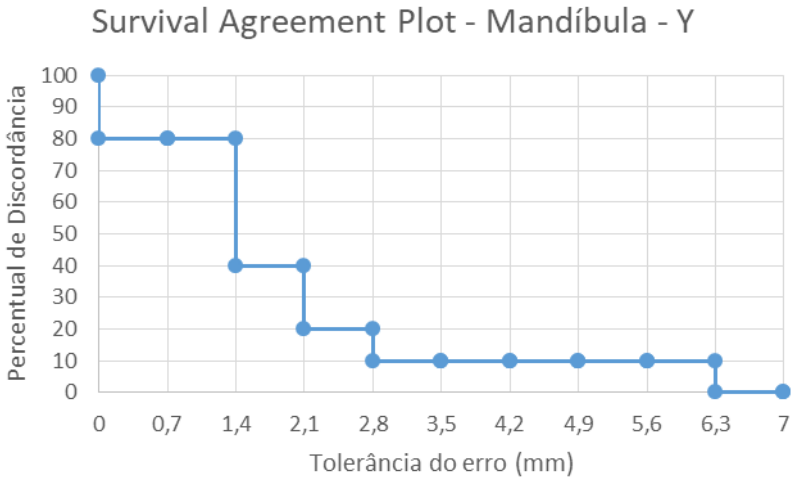
Para a avaliação de diferença entre o posicionamento do centroide simulado e o obtido na cirurgia, desconsiderando o sentido do deslocamento, não houve diferença estatisticamente significativa em nenhuma das três direções (transversal, anteroposterior e vertical).

Gráfico 10 - Gráfico de Concordância-sobrevivência para deslocamento transversal da mandíbula medido pela diferença do posicionamento dos centroides



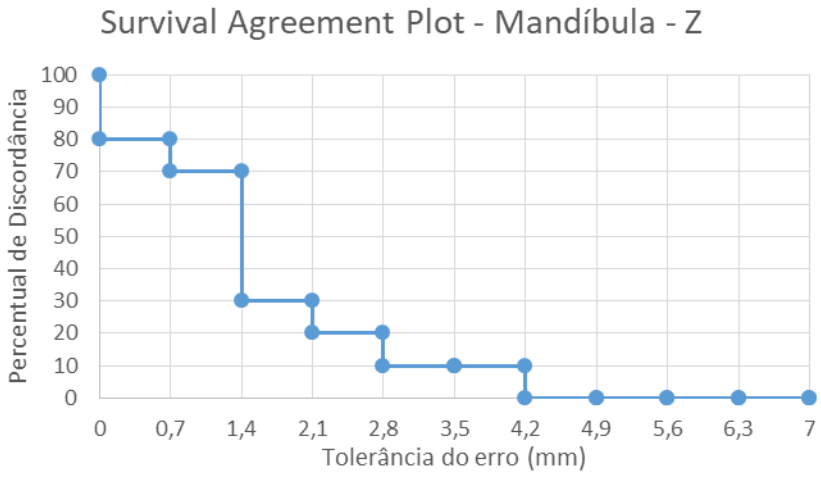
Fonte: A autora 2017.

Gráfico 11 - Gráfico de Concordância-sobrevivência para deslocamento anteroposterior da mandíbula medido pela diferença do posicionamento dos centroides



Fonte: A autora 2017.

Gráfico 12 - Gráfico de Concordância-sobrevivência para deslocamento vertical da mandíbula medido pela diferença do posicionamento dos centroides



Fonte: A autora 2017.

Através do gráfico de Concordância-sobrevivência, para o eixo X foi observado que em 70% dos casos, a diferença foi menor que 0,7mm; em 80% dos casos, menor que 1,4mm, e em 100% dos casos, menor do que 2,8mm. Para o eixo Y, foi observado que em 20% dos casos, a diferença foi menor que 0,7mm; em 60% dos casos, menor que 1,4mm; em 80% dos casos, menor que 2,1mm; em 90% dos casos, menor que 2,8mm e em 100% dos casos, menor do que 6.3mm. Para o eixo Z, foi observado que em 30% dos casos, a diferença foi menor que 0,7mm; em 70% dos casos, menor que 1,4mm; em 80% dos casos, menor que 2,1mm; em 90% dos casos, menor que 2,8mm, e em 100% dos casos, menor do que 4,2mm.

4.5 **Avaliação do segmento do mento**

A seguir, serão apresentados os dados da diferença de posicionamento do segmento do mento para os valores de RMS, para os valores dos centroides nas coordenadas X, Y e Z, com sinais indicativos do sentido do deslocamento, e apenas com o módulo que considera a magnitude do deslocamento, sem considerar o sentido no eixo.

4.5.1 Avaliação pelo valor de RMS

O Valor de RMS foi avaliado pelo teste de Wilcoxon para uma amostra (Tabela 4).

O valor do teste de Wilcoxon (p=0,013) mostrou que, para o segmento do mento, houve diferença entre o planejado e o obtido, quando considerada diferença de 1,4mm (limite de erro do exame).

4.5.2 Avaliação pelo valor da diferença do posicionamento dos centroides considerando o sentido do deslocamento

A avaliação para a diferença do valor dos centroides, considerando o sentido de deslocamento, foi feita pelo teste t pareado (Tabela 9, a seguir) e complementada pelos gráficos de Altman-Bland (Gráficos 13, 14 e 15, a seguir).

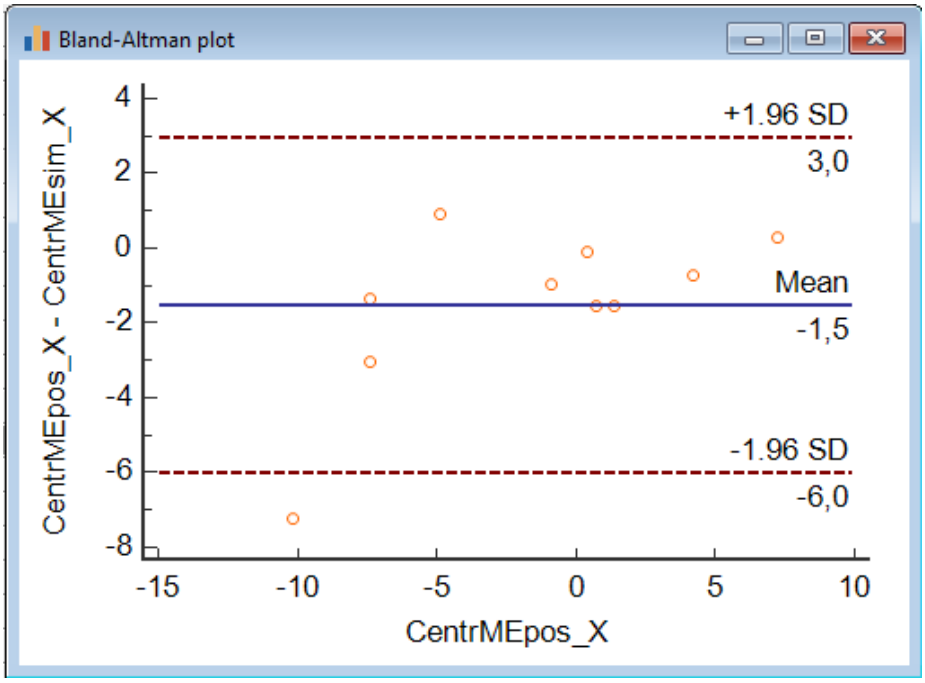
Tabela 9 - Teste t pareado para os valores da diferença do posicionamento dos centroides considerando o sentido do deslocamento

	Diferenças pareadas					T	df	P
	Média	Desvio padrão	Média do erro	95% Intervalo de confiança da diferença				
				Inferior	Superior			
MePosX - MeSimX	-1,52521	2,28587	0,72286	-3,16043	0,11001	-2,110	9	0,064
MePosY - MeSimY	2,31190	3,63242	1,14867	-0,28658	4,91038	2,013	9	0,075
MeposZ - MesimZ	0,50570	3,78596	1,19722	-2,20261	3,21401	0,422	9	0,683

Fonte: A autora 2017.

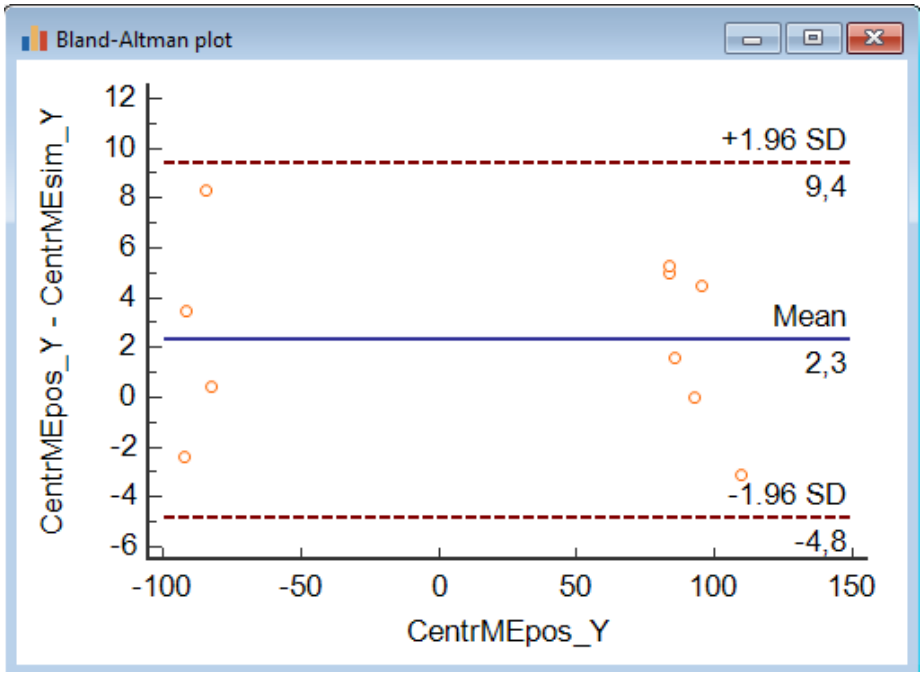
Para a avaliação de diferença entre o posicionamento do centroide simulado e o obtido na cirurgia, considerando a direção do deslocamento, não houve diferença estatisticamente significativa em nenhuma das três direções (transversal, anteroposterior e vertical).

Gráfico 13 - Gráfico de Altman-Bland para deslocamento transversal do mento medido pela diferença de posicionamento dos centroides



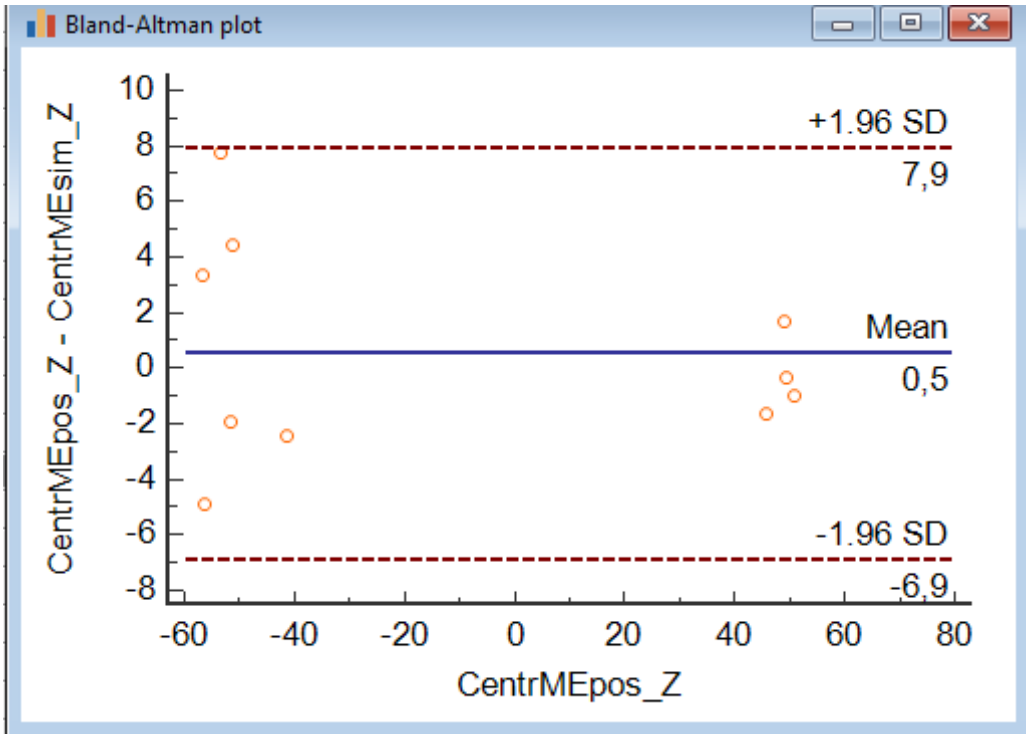
Nota: Apenas um valor encontra-se fora dos limites da avaliação.
Fonte: A autora 2017.

Gráfico 14 - Gráfico de Altman-Bland para deslocamento anteroposterior do mento medido pela diferença de posicionamento dos centroides



Nota: Todos os valores encontram-se dentro dos limites da avaliação.
Fonte: A autora 2017.

Gráfico 15 - Gráfico de Altman-Bland para deslocamento vertical do mento medido pela diferença de posicionamento dos centroides



Nota: Todos os valores encontram-se dentro dos limites da avaliação.
Fonte: A autora 2017.

Os dados da análise de Altman-Bland mostraram a maior parte das medidas (29 das 30) dentro dos limites de 1,96, desvio-padrão.

4.5.3 Avaliação pelo valor da diferença do posicionamento dos centroides sem considerar a direção do deslocamento

A avaliação para a diferença do valor dos centroides, desconsiderando o sentido de deslocamento, foi feita pelo teste t pareado (Tabela 10) e complementada pelos gráficos de Concordância-sobrevivência (Gráficos 16, 17 e 18, a seguir).

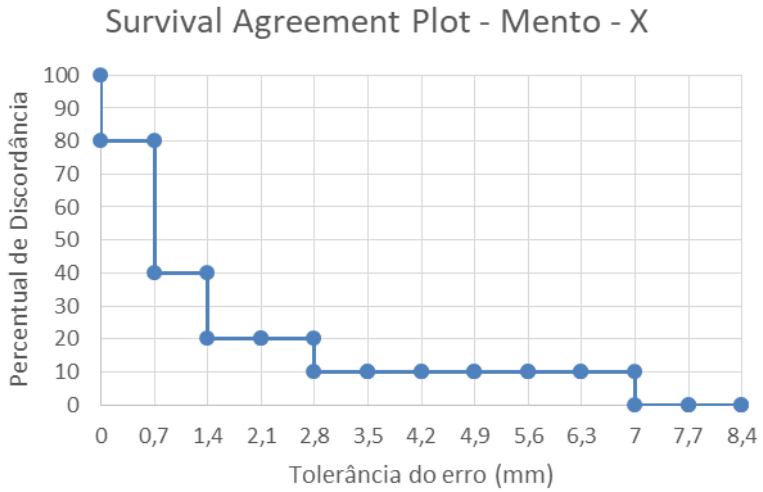
Tabela 10 - Teste t pareado para os valores da diferença do posicionamento dos centroides desconsiderando o sentido do deslocamento

	Diferenças pareadas					T	df	P
	Média	Desvio padrão	Média do erro	95% Intervalo de confiança da diferença				
				Inferior	Superior			
MePosXA - MeSimXA	0,79445	2,66094	0,84146	-1,10908	2,69798	0,944	9	0,370
MePosYA - MeSimYA	0,33688	4,35972	1,37866	-2,78187	3,45563	0,244	9	0,812
MeposZA - MesimZA	-0,74754	3,74122	1,18308	-3,42385	1,92877	-0,632	9	0,543

Fonte: A autora 2017.

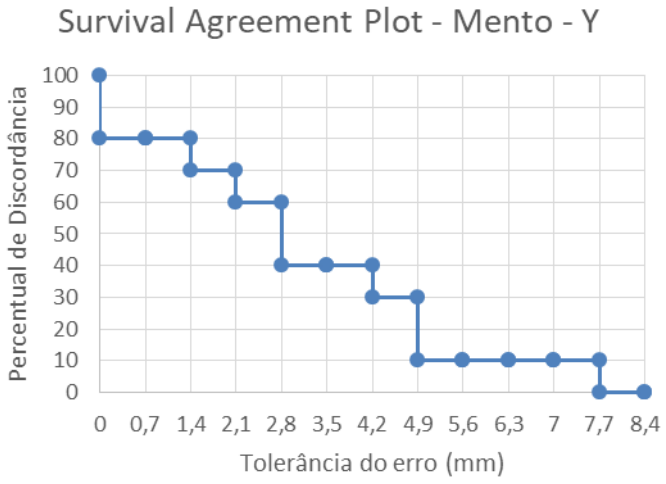
Para a avaliação de diferença entre o posicionamento do centroide simulado e o obtido na cirurgia, desconsiderando o sentido do deslocamento, não houve diferença estatisticamente significativa em nenhuma das três direções (transversal, anteroposterior e vertical).

Gráfico 16 - Gráfico de Concordância-sobrevivência para deslocamento transversal do mento medido pela diferença do posicionamento dos centroides



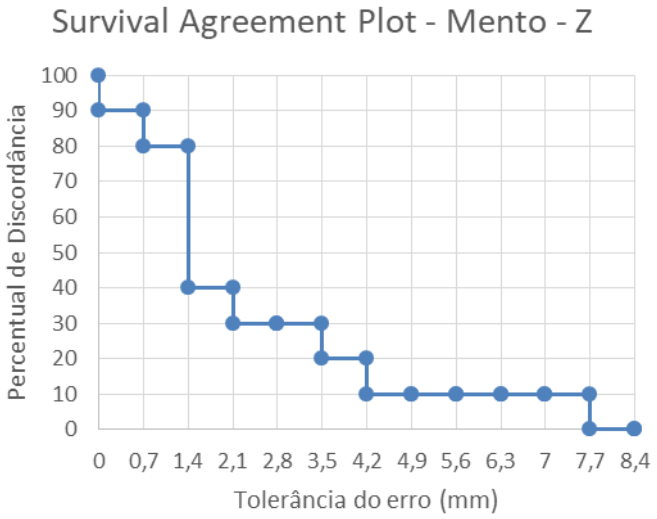
Fonte: A autora 2017.

Gráfico 17 - Gráfico de Concordância-sobrevivência para deslocamento anteroposterior do mento medido pela diferença do posicionamento dos centroides



Fonte: A autora 2017.

Gráfico 18 - Gráfico de Concordância-sobrevivência para deslocamento vertical do mento medido pela diferença do posicionamento dos centroides



Fonte: A autora 2017.

Através do gráfico de Concordância-sobrevivência, para o eixo X foi observado que em 60% dos casos, a diferença foi menor que 0,7mm; em 80% dos casos, menor que 1,4mm; em 90% dos casos, menor que 2,8mm, e em 100% dos casos, menor do que 7,0mm. Para o eixo Y, foi observado que em 20% dos casos, a diferença foi menor que 0,7mm; em 30% dos

casos, menor que 1,4mm; em 40% dos casos, menor que 2,1mm; em 60% dos casos, menor que 2,8mm; em 70% dos casos, menor que 4,2mm; em 90% dos casos, menor que 4,9mm, e em 100% dos casos, menor do que 7,7mm. Para o eixo Z, foi observado que em 20% dos casos, a diferença foi menor que 0,7mm; em 60% dos casos, menor que 1,4mm; em 70% dos casos, menor que 2,1mm; em 80% dos casos, menor que 3,5mm; em 90% dos casos, menor que 4,2mm, e em 100% dos casos, menor do que 7,7mm.

4.6 **Avaliação do segmento do ramo direito**

A seguir, serão apresentados os dados da diferença de posicionamento do segmento do ramo direito para os valores de RMS, para os valores dos centroides nas coordenadas X, Y e Z, com sinais indicativos do sentido do deslocamento, e apenas com o módulo que considera a magnitude do deslocamento, sem considerar o sentido no eixo.

4.6.1 Avaliação pelo valor de RMS

O Valor de RMS foi avaliado pelo teste de Wilcoxon para uma amostra (Tabela 4).

O valor do teste de Wilcoxon (p=0,203) mostrou que, para o segmento do ramo direito, não houve diferença entre o planejado e o obtido, quando considerada diferença de 1,4 mm (limite de erro do exame).

4.6.2 Avaliação pelo valor da diferença do posicionamento dos centroides considerando o sentido do deslocamento

A avaliação para a diferença do valor dos centroides, considerando o sentido de deslocamento, foi feita pelo teste t pareado (Tabela 11) e complementada pelos gráficos de Altman-Bland (Gráficos 19, 20 e 21, a seguir).

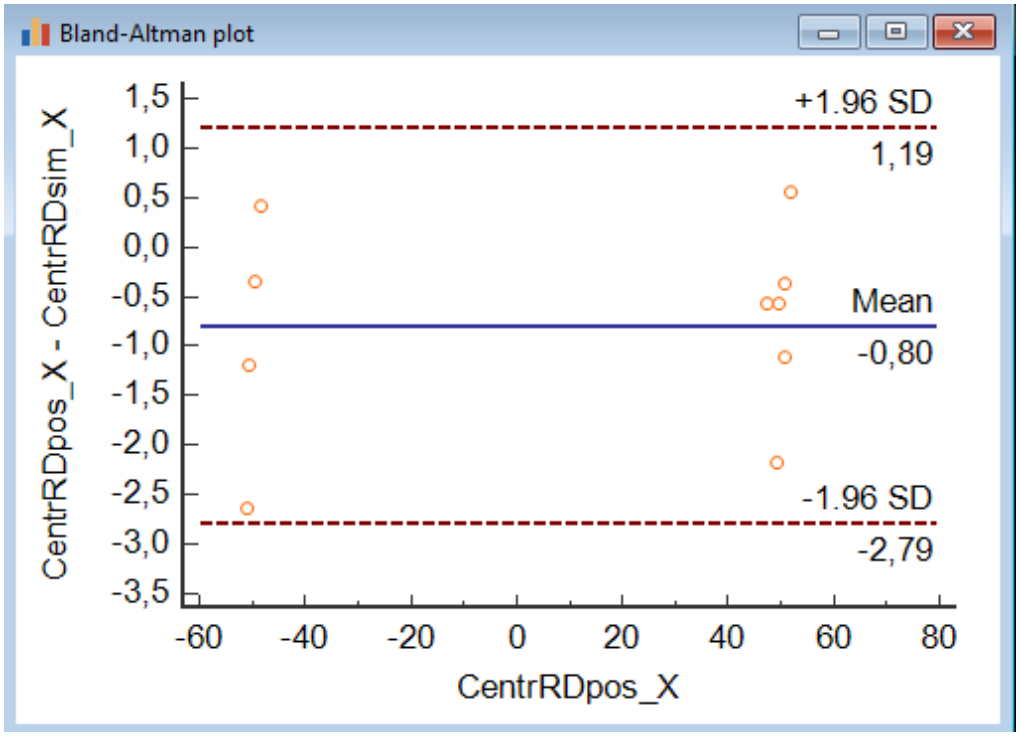
Tabela 11 - Teste T pareado para os valores da diferença do posicionamento dos centroides considerando o sentido do deslocamento

	Diferenças pareadas					T	df	P
	Média	Desvio padrão	Média do erro	95% Intervalo de confiança da diferença				
				Inferior	Superior			
RDPosX - RDSimX	-0,80096	1,01562	0,32117	-1,52749	-0,07443	-2,494	9	0,034
RDPosY - RDSimY	-0,20804	1,28433	0,40614	-1,12679	0,71071	-0,512	9	0,621
RDPosZ - RDSimZ	-0,08950	1,22410	0,38709	-0,96517	0,78617	-0,231	9	0,822

Fonte: A autora 2017.

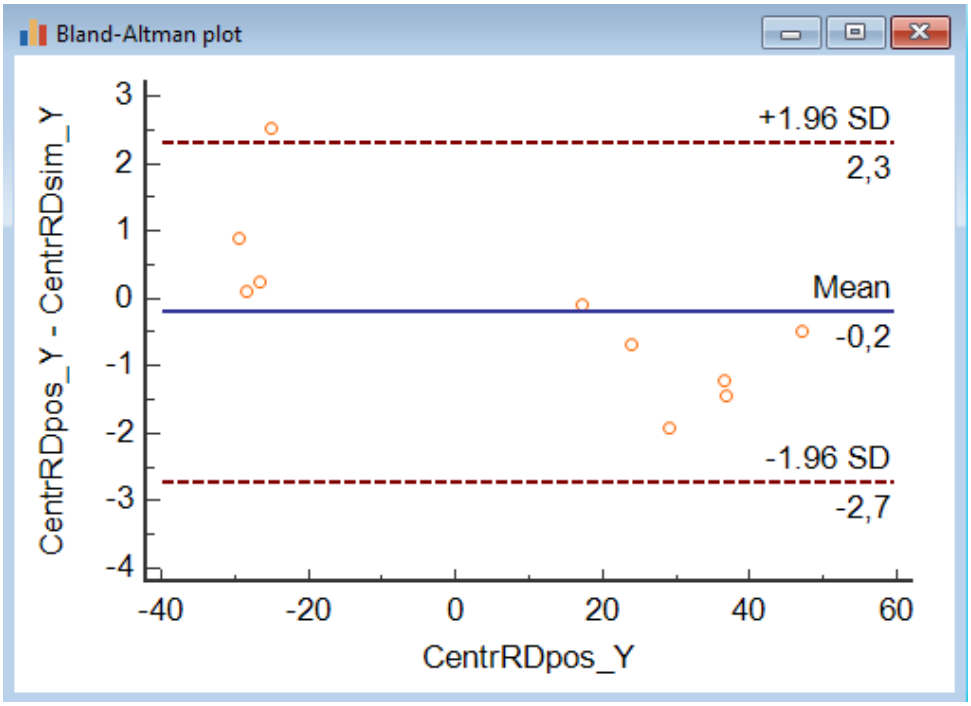
Para a avaliação de diferença entre o posicionamento do centroide simulado e o obtido na cirurgia, considerando a direção do deslocamento, houve diferença estatisticamente significativa na direção transversal.

Gráfico 19 - Gráfico de Altman-Bland para deslocamento transversal do Ramo Direito medido pela diferença de posicionamento dos centroides



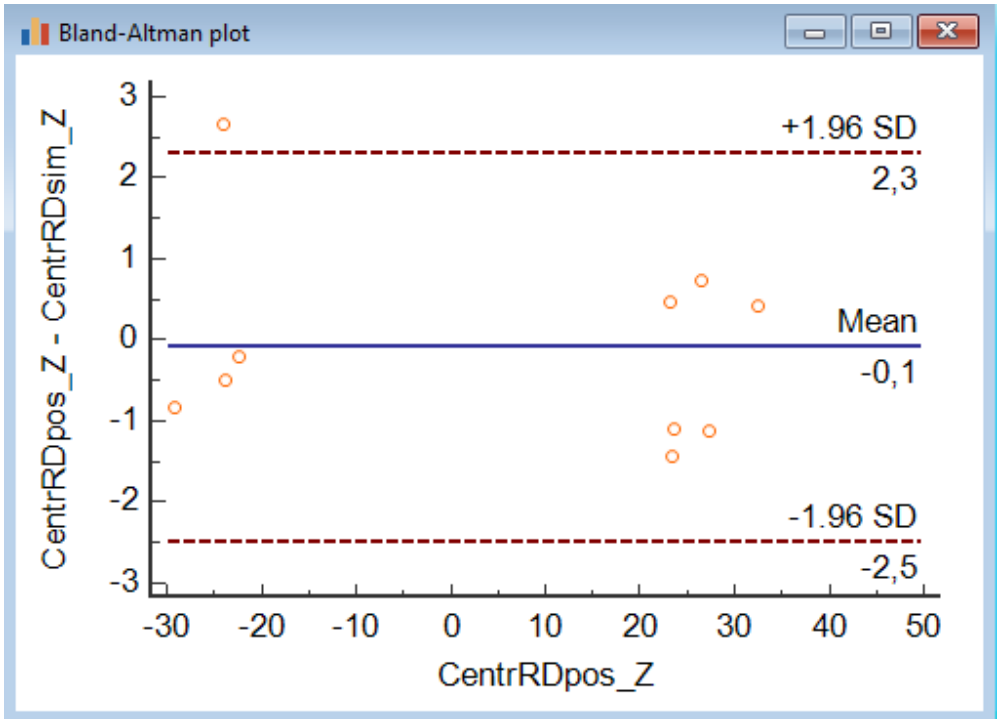
Nota: Todos os valores encontram-se dentro dos limites da avaliação.
Fonte: A autora 2017.

Gráfico 20 - Gráfico de Altman-Bland para deslocamento anteroposterior do Ramo Direito medido pela diferença de posicionamento dos centroides



Nota: Apenas um valor encontra-se fora dos limites da avaliação.
Fonte: A autora 2017.

Gráfico 21 - Gráfico de Altman-Bland para deslocamento vertical do Ramo Direito medido pela diferença de posicionamento dos centroides



Nota: Apenas um valor encontra-se fora dos limites da avaliação.
Fonte: A autora 2017.

Os dados da análise de Altman-Bland mostraram a maior parte das medidas (28 das 30) dentro dos limites de 1,96, desvio-padrão.

4.6.3 Avaliação pelo valor da diferença do posicionamento dos centroides sem considerar a direção do deslocamento

A avaliação para a diferença do valor dos centroides, desconsiderando o sentido de deslocamento, foi feita pelo teste t pareado (Tabela 12, a seguir) e complementada pelos gráficos de Concordância-sobrevivência (Gráficos 22, 23 e 24, a seguir).

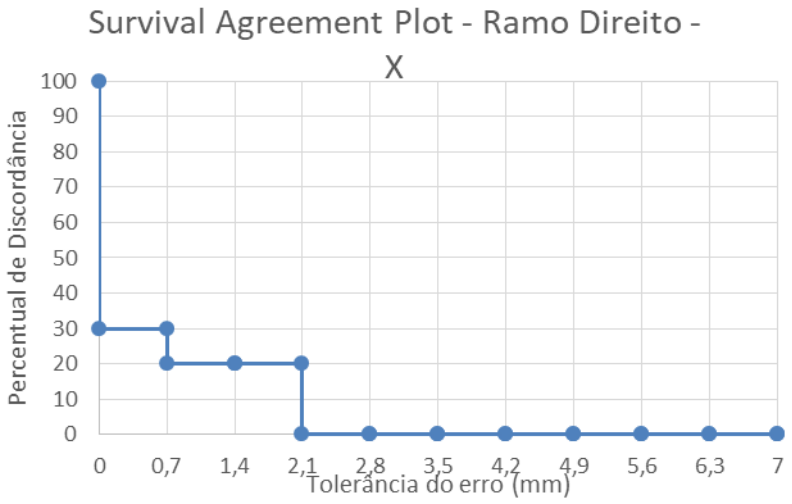
Tabela 12 - Teste t pareado para os valores da diferença do posicionamento dos centroides desconsiderando o sentido do deslocamento

	Diferenças pareadas					T	df	P
	Média	Desvio padrão	Média do erro	95% Intervalo de confiança da diferença				
				Inferior	Superior			
RDPosXA - RDSimXA	-0,04800	1,31975	0,41734	-0,99209	0,89609	-0,115	9	0,911
RDPosYA - RDSimYA	-0,96430	0,81510	0,25776	-1,54739	-0,38121	-3,741	9	0,005
RDPosZA - RDSimZA	-0,31390	1,18230	0,37388	-1,15967	0,53187	-0,840	9	0,423

Fonte: A autora 2017.

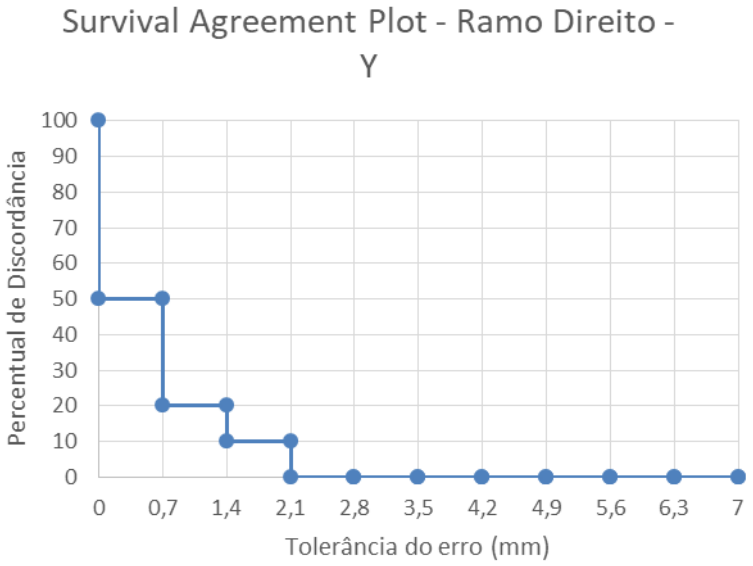
Para a avaliação de diferença entre o posicionamento do centroide simulado e o obtido na cirurgia, desconsiderando o sentido do deslocamento, houve diferença estatisticamente significativa no sentido anteroposterior.

Gráfico 22 – Gráfico de Concordância-sobrevivência para deslocamento transversal do Ramo Direito medido pela diferença do posicionamento dos centroides



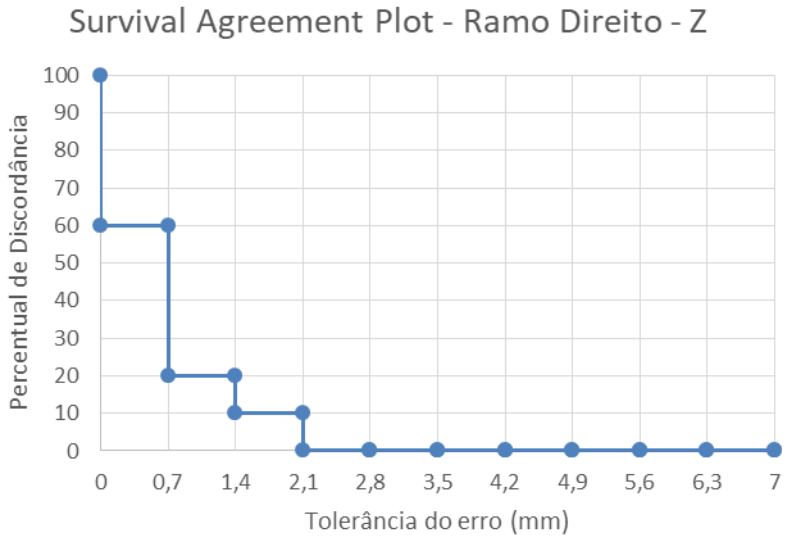
Fonte: A autora 2017.

Gráfico 23 - Gráfico de Concordância-sobrevivência para deslocamento do Ramo Direito medido pela diferença do posicionamento dos centroides



Fonte: A autora 2017.

Gráfico 24 - Gráfico de Concordância-sobrevivência para deslocamento vertical do Ramo Direito medido pela diferença do posicionamento dos centroides



Fonte: A autora 2017.

Através do gráfico de Concordância-sobrevivência, para o eixo X foi observado que em 80% dos casos, a diferença foi menor que 0,7mm, e em 100% dos casos, menor do que 2,1mm. Para o eixo Y, foi observado que em 80% dos casos, a diferença foi menor que 0,7mm; em 90% dos casos, menor que 1,4mm, e em 100% dos casos, menor do que 2,1mm. Para o eixo Z, foi observado que em 80% dos casos, a diferença foi menor que 0,7mm; em 90% dos casos, menor que 1,4mm, e em 100% dos casos, menor do que 2,1mm.

4.7 **Avaliação do segmento do ramo esquerdo**

A seguir, serão apresentados os dados da diferença de posicionamento do segmento do ramo esquerdo para os valores de RMS, para os valores dos centroides nas coordenadas X, Y e Z, com sinais indicativos do sentido do deslocamento, e apenas com o módulo que considera a magnitude do deslocamento, sem considerar o sentido no eixo.

4.7.1 Avaliação pelo valor de RMS

O Valor de RMS foi avaliado pelo teste de Wilcoxon para uma amostra (Tabela 4).

O valor do teste de Wilcoxon (p=0,386) mostrou que, para o segmento do ramo esquerdo, não houve diferença entre o planejado e o obtido, quando considerada diferença de 1,4 mm (limite de erro do exame).

4.7.2 Avaliação pelo valor da diferença do posicionamento dos centroides considerando o sentido do deslocamento

A avaliação para a diferença do valor dos centroides, considerando o sentido de deslocamento, foi feita pelo teste t pareado (Tabela 13, a seguir) e complementada pelos gráficos de Altman-Bland (Gráficos 25, 26 e 27, a seguir).

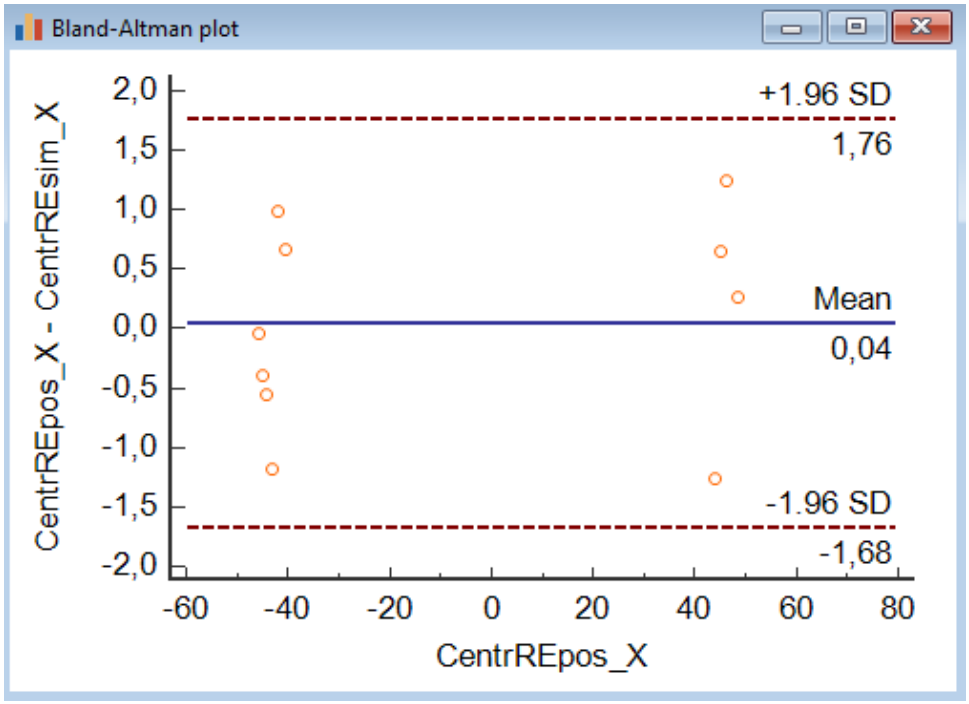
Tabela 13 - Teste T pareado para os valores da diferença do posicionamento dos centroides considerando o sentido do deslocamento

	Diferenças pareadas					T	df	P
	Média	Desvio padrão	Média do erro	95% Intervalo de confiança da diferença				
				Inferior	Superior			
REPosX – RESimX	0,03823	0,87709	0,27736	-0,58921	0,66567	0,138	9	0,893
REPosY – RESimY	0,29826	1,54127	0,48739	-0,80430	1,40082	0,612	9	0,556
REPosZ – RESimZ	-0,53142	1,44149	0,45584	-1,56260	0,49976	-1,166	9	0,274

Fonte: A autora 2017.

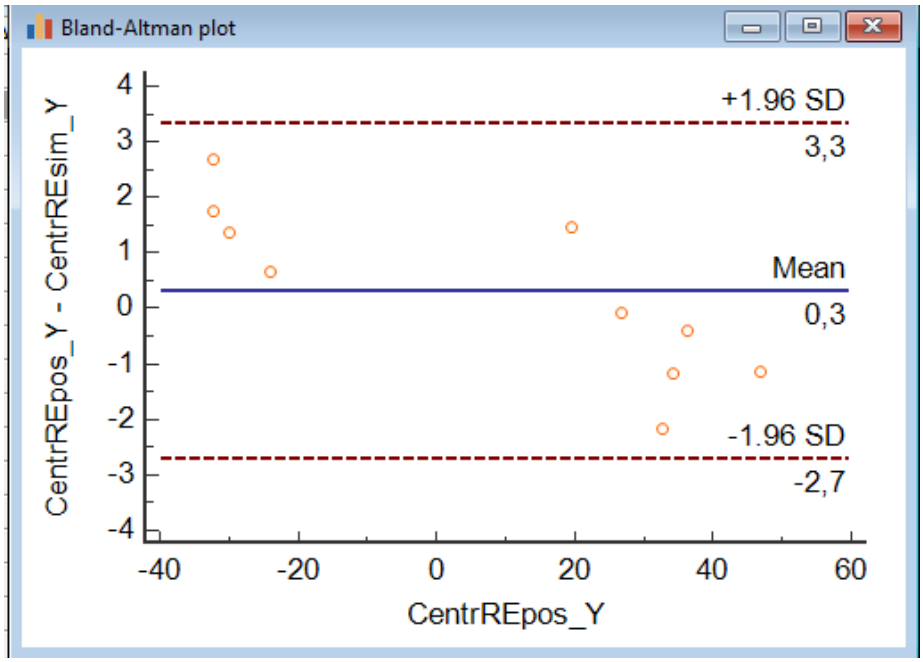
Para a avaliação de diferença entre o posicionamento do centroide simulado e o obtido na cirurgia, considerando a direção do deslocamento, não houve diferença estatisticamente significativa em nenhuma das três direções (transversal, anteroposterior e vertical).

Gráfico 25 - Gráfico de Altman-Bland para deslocamento transversal do Ramo Esquerdo medido pela diferença de posicionamento dos centroides



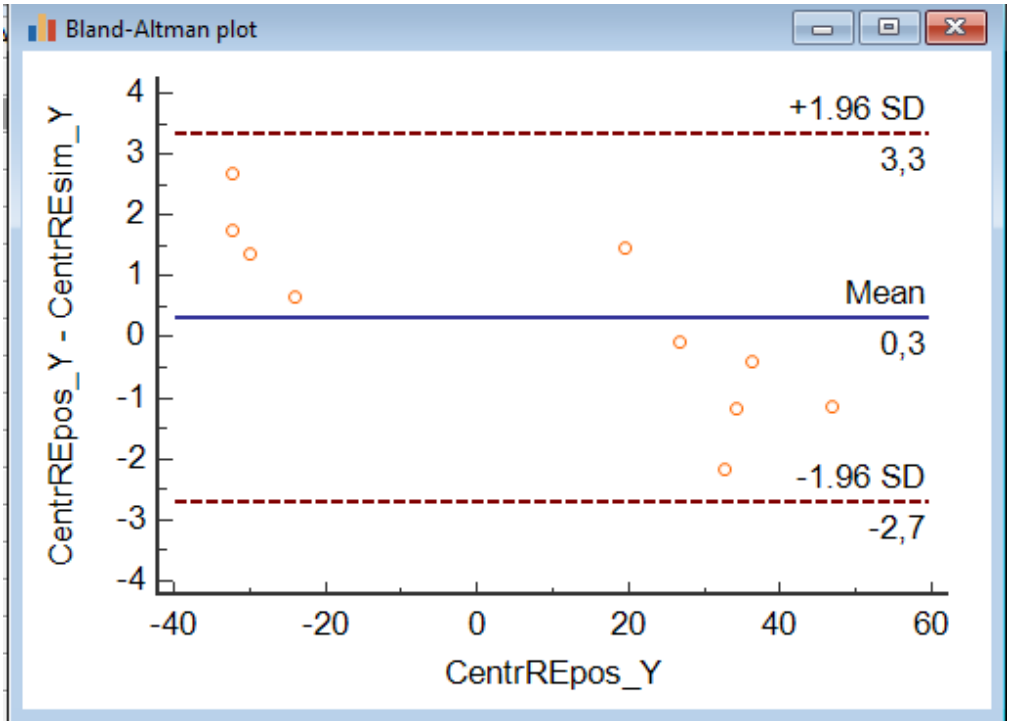
Nota: Todos os valores encontram-se dentro dos limites da avaliação.
Fonte: A autora 2017.

Gráfico 26 - Gráfico de Altman-Bland para deslocamento anteroposterior do Ramo Esquerdo medido pela diferença de posicionamento dos centroides



Nota: Todos os valores encontram-se dentro dos limites da avaliação.
Fonte: A autora 2017.

Gráfico 27 - Gráfico de Altman-Bland para deslocamento vertical do Ramo Esquerdo medido pela diferença de posicionamento dos centroides



Nota: Todos os valores encontram-se dentro dos limites da avaliação.
Fonte: A autora 2017.

Os dados da análise de Altman-Bland mostraram a totalidade das medidas dentro dos limites de 1,96, desvio-padrão.

4.7.3 Avaliação pelo valor da diferença do posicionamento dos centroides sem considerar a direção do deslocamento

A avaliação para a diferença do valor dos centroides, desconsiderando o sentido de deslocamento, foi feita pelo teste t pareado (Tabela 14) e complementada pelos gráficos de Concordância-sobrevivência (Gráficos 28, 29 e 30, a seguir).

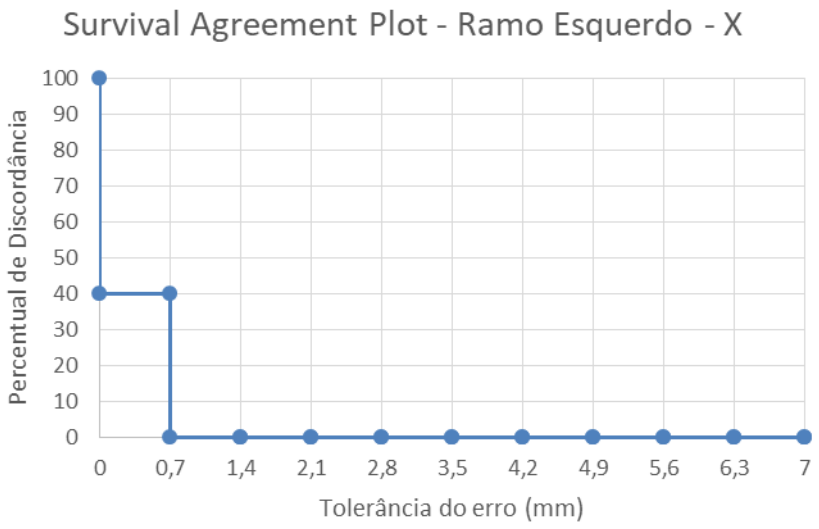
Tabela 14 - Teste t pareado para os valores da diferença do posicionamento dos centroides desconsiderando o sentido do deslocamento

	Diferenças pareadas					T	df	P
	Média	Desvio padrão	Média do erro	95% Intervalo de confiança da diferença				
				Inferior	Superior			
REPosXA – RESimXA	0,14241	0,86509	0,27357	-0,47644	0,76126	0,521	9	0,615
REPosYA – RESimYA	-0,99558	1,17178	0,37055	-1,83382	-0,15734	-2,687	9	0,025
REPosZA – RESimZA	-0,56112	1,42893	0,45187	-1,58332	0,46108	-1,242	9	0,246

Fonte: A autora 2017.

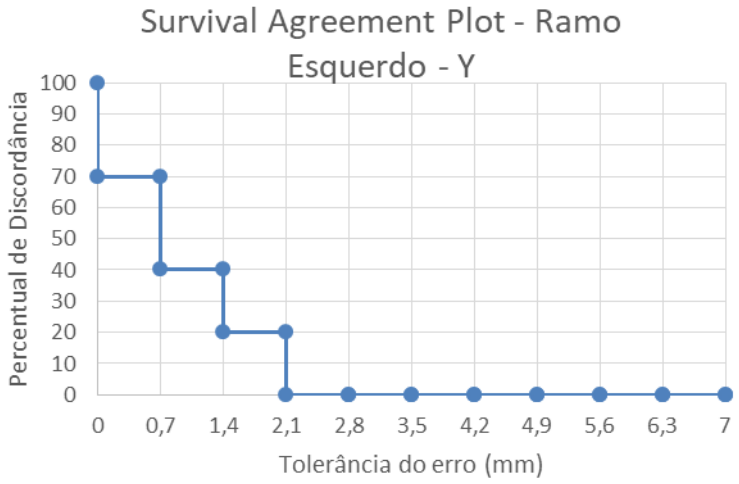
Para a avaliação de diferença entre o posicionamento do centroide simulado e o obtido na cirurgia, desconsiderando o sentido do deslocamento, houve diferença estatisticamente significativa no sentido anteroposterior.

Gráfico 28 - Gráfico de Concordância-sobrevivência para deslocamento transversal do Ramo Esquerdo medido pela diferença do posicionamento dos centroides



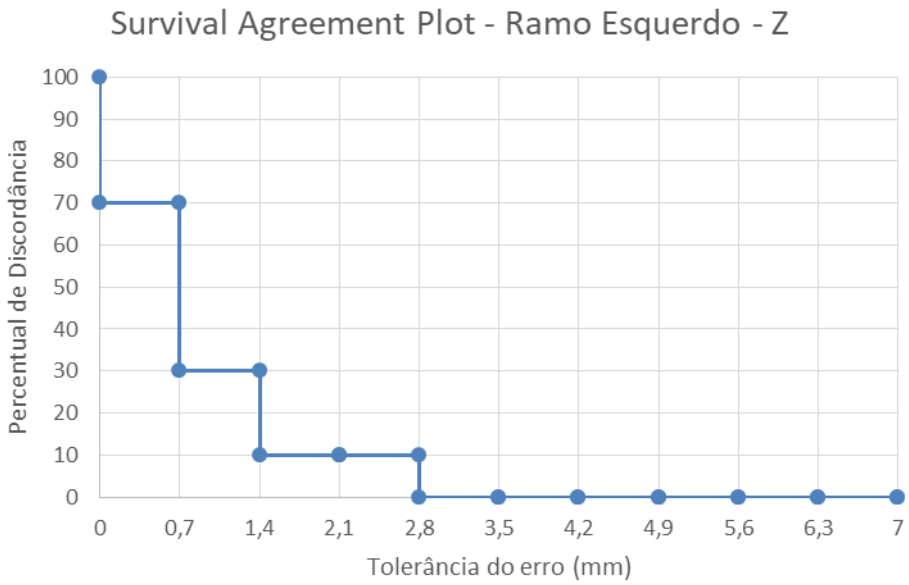
Fonte: A autora 2017.

Gráfico 29 - Gráfico de Concordância-sobrevivência para deslocamento anteroposterior do Ramo Esquerdo medido pela diferença do posicionamento dos centroides



Fonte: A autora 2017.

Gráfico 30 - Gráfico de Concordância-sobrevivência para deslocamento vertical do Ramo Esquerdo medido pela diferença do posicionamento dos centroides



Fonte: A autora 2017.

Através do gráfico de Concordância-sobrevivência, para o eixo X foi observado que em 100% dos casos, a diferença foi menor que 0,7mm. Para o eixo Y, foi observado que em 60% dos casos, a diferença foi menor que 0,7mm; em 80% dos casos, menor que 1,4mm, e em 100% dos casos, menor do que 2,1mm. Para o eixo Z, foi observado que em 70% dos casos, a diferença foi menor que 0,7mm; em 90% dos casos, menor que 1,4mm, e em 100% dos casos, menor do que 2,8mm.

4.8 **Avaliação da relevância clínica das medidas**

A seguir, os dados serão apresentados através de estatística descritiva, com os valores médios (média e mediana), o desvio padrão e os valores máximos e mínimos das diferenças de cada um dos segmentos, para os valores de RMS e para os valores dos centroides com sinal e absoluto.

Estes valores mostraram qual foi o deslocamento de cada estrutura com os diferentes métodos de avaliação, o que permite fazer uma comparação clínica direta dos resultados.

4.8.1 Avaliação pelos valores de RMS

Pela verificação dos valores médios, mínimos e máximos do deslocamento de cada segmento (Tabela 15), pode-se comparar os valores obtidos, entre a cirurgia virtual e a cirurgia real, com o que é considerado clinicamente relevante.

Tabela 15 - Tabela com estatística descritiva contendo os valores mínimo, máximo, mediana, média e desvio padrão, para os valores de RMS

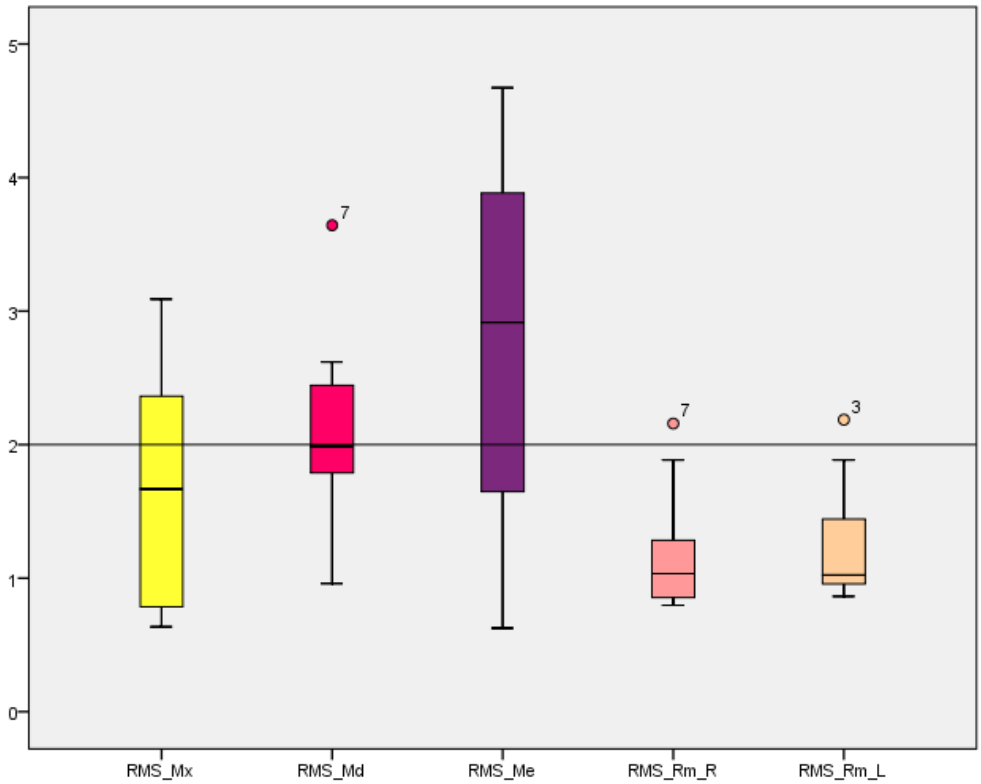
	N	Mínimo	Máximo	Mediana	Média	Desvio Padrão
RMS_Mx	10	0,64	3,09	1,6669	1,7203	0,93731
RMS_Md	10	0,96	3,64	1,9863	2,0904	0,72268
RMS_Me	10	0,63	4,67	2,9142	2,8252	1,33342
RMS_Rm_R	10	0,80	2,16	1,0342	1,1923	0,46581
RMS_Rm_L	10	0,86	2,19	1,0232	1,2441	0,45242

Legenda: *Root Mean Square* (RMS).
Fonte: A autora 2017.

Para os valores de RMS, foram encontradas diferenças, entre o planejado e o obtido, de 1,72mm (média) e 1,67mm (mediana) para o segmento maxilar, de 2,09mm (média) e 1,99mm (mediana) para o segmento mandibular, de 2,83mm (média) e 2,91mm (mediana) para o segmento do mento, de 1,19mm (média) e 1,03mm (mediana) para o segmento do ramo direito, e de 1,24mm (média) e 1,02 (mediana) para o segmento do ramo esquerdo.

O comportamento de cada segmento em relação à relevância clínica, considerada de 2mm, pode também ser visualizado no gráfico de *box plot* (Gráfico 31, a seguir).

Gráfico 31 - *Box plot* com representação dos valores das diferenças do posicionamento das estruturas medidos pelo RMS



Legenda: *Root Mean Square* (RMS).
Nota: A linha horizontal sinaliza o valor do limite da relevância clínica.
Fonte: A autora 2017.

4.8.2 <u>Avaliação pelos valores dos centroides considerando o sentido do deslocamento</u>

Pela verificação dos valores médios, mínimo e máximos do deslocamento de cada segmento em cada eixo, considerando-se o sentido do deslocamento (Tabela 16, a seguir),

pode-se comparar os valores obtidos, entre a cirurgia virtual e a cirurgia real, com o que é considerado clinicamente relevante.

Tabela 16 - Tabela com estatística descritiva contendo os valores mínimo, máximo, média e desvio padrão, para os valores da diferença do posicionamento dos centroides considerando o sentido de deslocamento

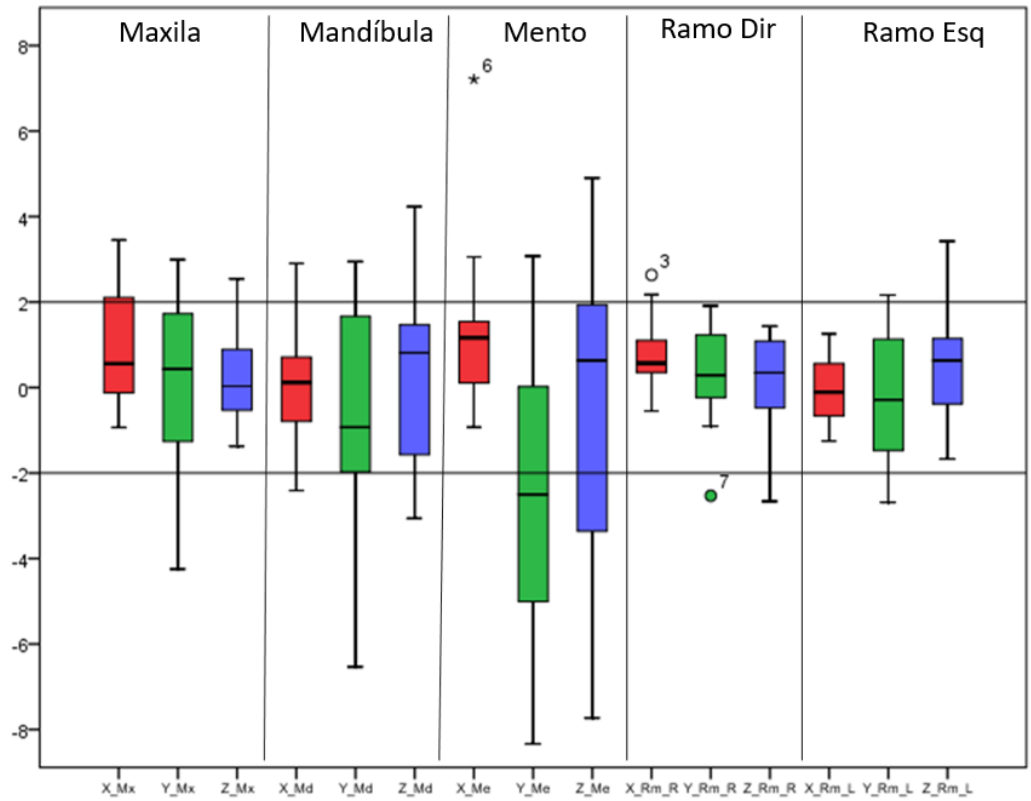
	N	Mínimo	Máximo	Média	Desvio Padrão
X_Mx	10	-0,93	3,45	0,9075	1,49579
Y_Mx	10	-4,25	2,99	0,1055	2,09289
Z_Mx	10	-1,37	2,54	0,2291	1,17437
X_Md	10	-2,41	2,90	0,0341	1,43961
Y_Md	10	-6,54	2,95	-0,6446	2,81070
Z_Md	10	-3,06	4,23	0,3765	2,18092
X_Me	10	-0,93	7,21	1,5252	2,28587
Y_Me	10	-8,34	3,08	-2,3119	3,63242
Z_Me	10	-7,73	4,90	-0,5057	3,78596
X_Rm_R	10	-0,55	2,63	0,7383	1,00792
Y_Rm_R	10	-2,53	1,91	0,2080	1,28433
Z_Rm_R	10	-2,66	1,44	0,0895	1,22410
X_Rm_L	10	-1,25	1,26	-0,0382	0,87709
Y_Rm_L	10	-2,69	2,16	-0,2983	1,54127
Z_Rm_L	10	-1,67	3,42	0,5314	1,44149

Fonte: A autora 2017.

Para os valores dos centroides, considerando o sentido do deslocamento, foram encontrados valores médios de diferença entre o planejado e o obtido de menos de 1mm para os segmentos maxilar, mandibular, ramo direito e ramo esquerdo, em cada um dos eixos, e de até 2,31mm para o segmento do mento**.**

O comportamento de cada segmento em relação à relevância clínica, considerada de 2mm, pode também ser visualizado no gráfico de *box plot* (Gráfico 32, a seguir).

Gráfico 32 - *Box plot* com representação dos valores das diferenças do posicionamento dos centroides das estruturas considerando o sentido do deslocamento



Legenda: **X = Eixo Transversal** / **Y = Eixo Anteroposterior** / **Z = Eixo Vertical.**
Nota: As linhas horizontais sinalizam o valor do limite da relevância clínica.
Fonte: A autora 2017.

4.8.3 Avaliação pelos valores dos centroides desconsiderando o sentido do deslocamento

Pela verificação dos valores médios, mínimos e máximos do deslocamento de cada segmento em cada eixo, desconsiderando-se o sentido do deslocamento (Tabela 17, a seguir), pode-se comparar os valores obtidos, entre a cirurgia virtual e a cirurgia real, com o que é considerado clinicamente relevante.

Tabela 17 - Estatística descritiva contendo os valores mínimo, máximo, média e desvio padrão, para os valores da diferença do posicionamento dos centroides desconsiderando o sentido de deslocamento

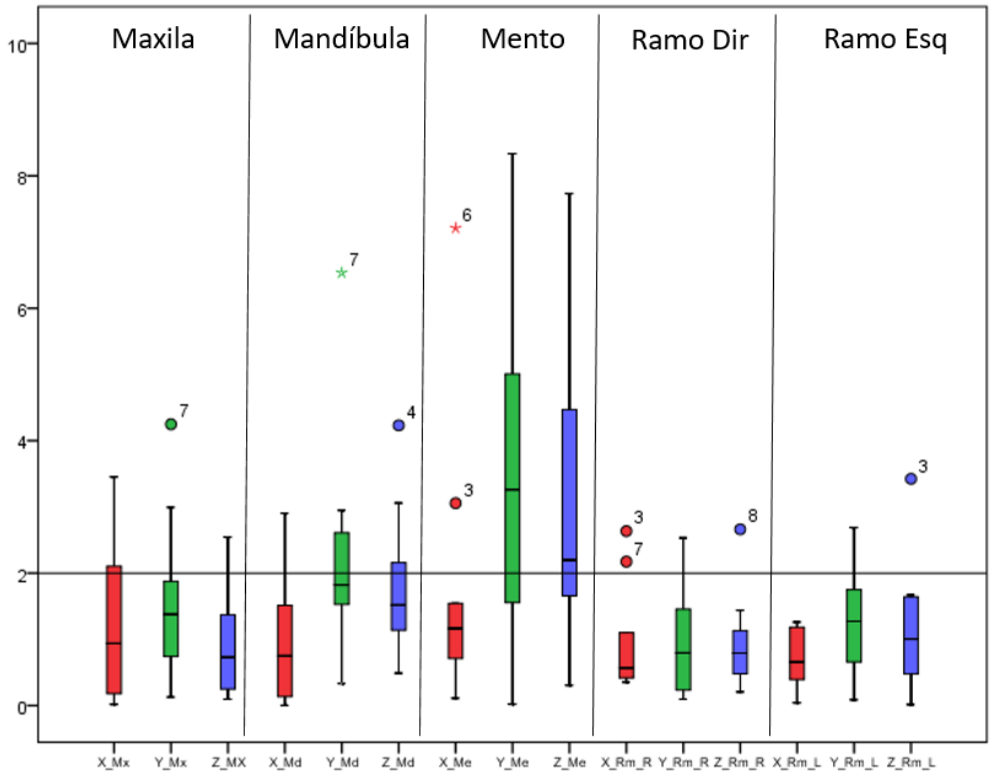
	N	Mínimo	Máximo	Média	Desvio Padrão
X_Mx	10	0,02	3,45	1,2863	1,14630
Y_Mx	10	0,13	4,25	1,6175	1,21887
Z_MX	10	0,10	2,54	0,8869	0,75060
X_Md	10	0,00	2,90	0,9777	1,00580
Y_Md	10	0,33	6,54	2,1959	1,73312
Z_Md	10	0,49	4,23	1,8082	1,13181
X_Me	10	0,11	7,21	1,7713	2,07938
Y_Me	10	0,02	8,34	3,4029	2,50334
Z_Me	10	0,31	7,73	2,9496	2,22498
X_Rm_R	10	0,35	2,63	0,9315	0,81083
Y_Rm_R	10	0,09	2,53	0,9643	0,81510
Z_Rm_R	10	0,21	2,66	0,9501	0,71010
X_Rm_L	10	0,04	1,26	0,7253	0,43184
Y_Rm_L	10	0,09	2,69	1,2899	0,79102
Z_Rm_L	10	0,01	3,42	1,1547	0,95402

Fonte: A autora 2017.

Para os valores dos centroides, desconsiderando o sentido do deslocamento, foram encontrados valores médios de diferença entre o planejado e o obtido de menos de 1mm para o segmento do ramo direito, em cada um dos eixos; de até 1,28mm para o segmento do ramo esquerdo, em cada um dos eixos; de até 1,61mm para o segmento da maxila, em cada um dos eixos; de até 2,19mm para o segmento do corpo da mandíbula, em cada um dos eixos, e de até 3,4mm, em cada um dos eixos, para o mento.

O comportamento de cada segmento, em relação à relevância clínica considerada de 2mm, pode também ser visualizado no gráfico de *box plot* (Gráfico 33, a seguir).

Gráfico 33 - *Box plot* com representação dos valores das diferenças do posicionamento dos centroides das estruturas desconsiderando o sentido do deslocamento



Legenda: **X = Eixo Transversal** / **Y = Eixo Anteroposterior** / **Z = Eixo Vertical.**
Nota: A linha horizontal sinaliza o valor do limite da relevância clínica.
Fonte: A autora, 2017.

5 **DISCUSSÃO**

5.1 **Do Material**

5.1.1 Composição da amostra

A amostra do estudo foi colhida consecutivamente, por conveniência, e acompanhada, desde o momento da obtenção da documentação pré-cirúrgica até a obtenção da documentação pós-cirúrgica.

Amostras são consideradas consecutivas quando se recruta cada paciente, que preenche os critérios de inclusão e exclusão, dentro de um intervalo de tempo ou número de pacientes, sendo a melhor e mais utilizada técnica de amostragem não probabilística. (80) No caso deste trabalho, foram recrutados todos os pacientes que procuraram o serviço do HUPE em um período de 17 meses, período que supera o maior dos problemas desse tipo de amostragem, que é quando o tempo da coleta é pequeno para conseguir cobrir uma parte representativa dos casos.

Amostras são classificadas por conveniência quando utilizam pacientes disponíveis na população acessível, sendo esta forma amplamente empregada na pesquisa clínica, devido a vantagens logísticas e de custos. Apresenta como desvantagem a possibilidade de selecionar indivíduos não representativos da população-alvo. (80) No caso desta pesquisa, pode ser que as deformidades dentofaciais encontradas entre os pacientes da pesquisa, com coleta em um centro único, não representem, em termos das deformidades apresentadas, o que seria encontrado na totalidade dos centros que tratam tais condições, por exemplo, na cidade do Rio de Janeiro. Porém, isso não interfere nas avaliações dos procedimentos, que foi o objetivo do trabalho, o que pode ser apoiado nas afirmações de Friedman et al. (81) de que esse tipo de amostra deve ser interpretada com cuidado, mas que a sua correta valorização dependerá do tipo de doença e tratamento estudado, assim como de dados da literatura que respaldem os resultados encontrados.

Quanto ao acompanhamento, esse foi prospectivo longitudinal, iniciando no momento da obtenção da documentação pré-cirúrgica, passando pelas fases de elaboração do planejamento virtual e execução da cirurgia, até a obtenção da documentação pós-cirúrgica.

Embora exista o conceito disseminado de que o ensaio clínico controlado randomizado seja o melhor tipo de estudo na modalidade experimental, nem sempre é possível aplicá-lo em todas as questões científicas, cabendo aos pesquisadores, em última análise, a definição do melhor tipo de desenho no estudo que pretende realizar. (82) No caso desta pesquisa, é necessário se confirmar a acurácia do método, a precisão dos programas utilizados e a padronização das avaliações dos resultados, em uma primeira etapa, para só depois partir-se para estudos controlados e randomizados, que possam ser realizados baseados em metodologias testadas e comprovadas.

Para a determinação do tamanho da amostra, foi considerado o limite da detecção das diferenças dos exames, que seria o erro máximo possível existente entre as duas tomografias, sendo este valor de 1,4mm. É evidente que o erro entre os dois exames tende a ser sempre menor, visto que 0,7mm é o limite máximo de diferença na reconstrução das tomografias (74, 83) e que esse erro pode ser menor na reconstrução de cada tomografia e pode acontecer no mesmo sentido nos dois exames, o que reduziria os valores e não os somaria como suposto quando consideramos o valor de 1,4mm. Mas nas avaliações dos resultados obtidos com as cirurgias ortognáticas, em relação ao planejado com técnicas convencionais ou com simulações virtuais, tanto em avaliações bidimensionais quanto tridimensionais, o valor normalmente aceito pelas pesquisas é de 2mm. Dessa forma, mesmo que o erro entre as duas tomografias fosse igual e no mesmo sentido e, portanto, se anulassem, o valor de 1,4mm ainda não extrapolaria o valor padrão do erro aceito na literatura mundial sobre o tema, e por isso o valor de n, obtido no cálculo amostral, é suficiente para detectar qualquer valor dentro deste limite.

5.1.2 Exames utilizados para o planejamento virtual e avaliação dos resultados da cirurgia

Para a realização do planejamento cirúrgico virtual, foi necessário obter-se uma tomografia computadorizada, fotografias faciais e um par de modelos escaneados das arcadas. Para a obtenção dos dados pós-cirúrgicos, foi necessária apenas a tomografia computadorizada, uma vez que a avaliação dos resultados da cirurgia foi realizada baseada no posicionamento dos segmentos ósseos.

Uma primeira questão tem relação com o tipo de tomografia. Alguns estudos, na literatura, foram realizados com tomografias computadorizadas convencionais com feixe em

leque (4, 16, 17, 35, 50, 57), mas esse exame submete o paciente a uma dosagem alta de radiação. (84, 85) As tomografias computadorizadas de feixe cônico reduzem muito a quantidade de radiação a qual o paciente é exposto e é eticamente aceitável para a realização deste tipo de planejamento. (84, 86) Por isso, todos os pacientes desta amostra realizaram exame CBCT.

Também com relação às tomografias, uma questão crítica é a definição da posição natural da cabeça (PNC), procedimento que pode alterar o planejamento, principalmente em casos de assimetrias faciais. (87, 88) Neste trabalho, a definição da PNC foi feita através de fotos obtidas do paciente com foco no horizonte distante (89), com posterior posicionamento da tomografia de acordo com as fotos no programa Dolphin Imaging 11.9, embora existam outros métodos para esta determinação, como a utilização de marcadores faciais, que são usados no momento da tomada da tomografia (90), sistemas de algoritmos, para calcular a rotação de objetos (90), ou ainda *scaners* a laser, com sensor de orientação acoplado à boca do paciente, usando jig individualizado. (87, 91) Todos os métodos, no entanto, apresentam algum problema de validação, além de variações de custo e praticidade. (90)

Uma última questão com relação às tomografias é que não se consegue boa resolução espacial na área dos dentes, uma vez que a presença das unidades ortodônticas (brackets, bandas, tubos, arcos) gera artefatos que não permitem imagens precisas desta área. (47, 92)

Necessita-se, então, de um outro recurso para a obtenção da reprodução fiel dos dentes (11, 12, 35, 46, 47, 93, 94), uma vez que esses são essenciais para a realização do planejamento e da confecção dos *splints* cirúrgicos (95, 96). Para obtenção dessa região com registro preciso, podem ser confeccionados modelos de gesso das arcadas, que são tomografados (11, 12), escaneados (11, 35, 46, 94), ou os registros podem ser obtidos por escaneamento intraoral. (58) Nesse trabalho, para a realização da sobreposição da área dos dentes nas tomografias pré-cirúrgicas, foram realizadas moldagens das arcadas com hidrocoloide irreversível (alginato) e confecção de modelos em gipso (com gesso pedra tipo IV), que foram escaneados.

5.2 **Dos Métodos**

5.2.1 Planejamento Virtual

5.2.1.1 Programa utilizado

Os planejamentos virtuais de todos os pacientes desta pesquisa foram realizados no módulo de planejamento cirúrgico virtual do *software* Dolphin Imaging® 11.9, uma vez que a proposição deste trabalho foi avaliar a acurácia do planejamento virtual das cirurgias ortognáticas utilizando esse programa específico. No entanto, existem diversos programas disponíveis para a realização de tais planejamentos, dentre eles encontram-se os *softwares* comerciais SimPlant® (Materialise, Leuven, Belgium), o próprio Dolphin Imaging® (Dolphin Imaging and Management Solutions, Chatworth, CA, USA), o NemoCeph (Nemotec, Madri, Spain), o Vistadent Pro (Dentsply GAC International, NY, USA) e alguns *softwares* independentes, entre eles o SurgiCase CMF® (Materialise, Belgium), o Maxilim® (Medicine Nobel Biocare Group, Belgium), o Amira® (Visage Imaging, Germany) e o VoXim® (IVS Solutions, Germany). Os dois primeiros são os mais amplamente utilizados e partem de diferentes origens para a realização dos planejamentos tridimensionais das cirurgias ortognáticas. O SimPlant® originou-se do planejamento de cirurgias guiadas tridimensionais em implantes dentários, e o Dolphin 3D® originou-se do traçado e planejamento cefalométrico lateral bidimensional convencional. (1)

O programa com o maior número de trabalhos publicados é o SimPlant® (4, 17, 35, 40, 58), provavelmente pelo incentivo da própria empresa para a realização de muitas destas pesquisas. Existem, também, vários trabalhos utilizando *softwares* independentes (19, 50, 52, 53, 67), mas muito pouco foi publicado com o uso do Dolphin Imaging® para a realização de planejamentos virtuais. Dos trabalhos publicados com o Dolphin Imaging® para a realização de planejamentos virtuais, um fez análise apenas dos custos, comparando o planejamento convencional com o virtual, realizado pelo Dolphin® (73), e dentre os que fizeram avaliação da acurácia do planejamento virtual, utilizando o Dolphin®, um considerou apenas um ponto na incisal do incisivo superior (20), um outro realizou avaliação utilizando traçado cefalométrico tridimensional de Mc Namara, que tem como limitação a dependência da

marcação dos pontos craniofaciais no três planos do espaço (14), e dois determinaram planos e pontos nas tomografias e fizeram medições angulares e lineares (13, 15), mas não existe ainda, na literatura, trabalhos com avaliações da acurácia do planejamento virtual para cirurgia ortognáticas com avaliação tridimensional feitas com este programa.

É muito importante que cada um desses programas seja testado, pois os diferentes programas utilizam diferentes algoritmos para calcular os deslocamentos, e é incerto se a acurácia reportada com o uso de um determinado sistema pode ser transferida para outro sistema (1, 50, 52).

5.2.1.2 Realização por diferentes cirurgiões de um mesmo centro

Um outro ponto a ser discutido, em relação a esta pesquisa, é o da realização dos planejamentos e dos procedimentos cirúrgicos por diferentes cirurgiões, embora todos pertencentes a um mesmo serviço, com a mesma formação e com o mesmo tempo de experiência (residentes do terceiro ano do Serviço de Cirurgia e Traumatologia Bucomaxilofacial do HUPE).

Pode-se entender que isso tenha introduzido um viés, que é a diferença dos resultados obtidos entre os cirurgiões, ou que isso seja um fator de confirmação da reprodutibilidade do método, uma vez que os resultados encontrados não são exclusivos de um profissional, mas sim que podem ser obtidos por qualquer profissional com bom treinamento no método.

Na literatura, alguns trabalhos tiveram todos os pacientes da amostra operados por um mesmo cirurgião (20, 53, 56, 58, 97), alguns tiveram as cirurgias realizadas por diferentes profissionais (4, 15, 18) e a maior parte não especificou esta questão, mas nenhum deles discutiu este ponto como um possível viés da pesquisa.

5.2.2 Programas utilizados para pós-processamento das imagens

Se em todos os aspectos relacionados à avaliação do planejamento virtual para cirurgias ortognáticas existem muitas variações entre os trabalhos, esse, sem dúvida, pode ser considerado o aspecto com maior variabilidade. Na revisão sistemática, publicada em 2017

por Gaber et al. (21), com o objetivo de estabelecer um protocolo universal para a avaliação tridimensional dos planejamentos virtuais para cirurgia ortognática, eles estabelecem alguns parâmetros a serem seguidos pelas pesquisas.

O primeiro parâmetro sugerido por Gaber et al. (21) é que, para as avaliações, o registro entre os modelos dos dois tempos deve ser realizado baseado em voxel. (62, 64) Dos sete artigos, incluídos na revisão sistemática realizada por eles, apenas dois (19, 52) utilizaram esse tipo de registro, e entre os trabalhos publicados na literatura realizados com o Dolphin®, somente o de Borba et al. (20) utilizou registro baseado em voxel. No presente trabalho, as tomografias dos dois tempos avaliados foram registradas entre si com o registro baseado em voxel, sendo esta etapa realizada no próprio *software* Dolphin Imaging® 11.9.

O segundo parâmetro sugerido na revisão sistemática foi a utilização de métodos automáticos ou semiautomáticos para a avaliação com resultados que indiquem mudanças em 3D (98, 99), seja translacional ou rotacional, baseada nos diferentes eixos (X, Y e Z). Com a utilização dos programas ITK-SNAP® 3.6. Geomagic Qualify® 2013 e MeshValmet®, realizamos a segmentação semiautomática e a comparação e avaliação automática dos resultados obtidos entre o posicionamento dos segmentos planejados e obtidos na cirurgia real. Alguns trabalhos recentes ainda utilizam avaliações bidimensionais (35, 51), e dos que utilizam métodos tridimensionais, muitos falham ao usarem marcação de pontos para a avaliação (4, 16, 20), o que pode incorporar erros.

O terceiro parâmetro diz respeito à calibração, pois recomenda a checagem da reprodutibilidade intra e interexaminador para testar o método utilizado, o que está apresentado no item subsequente.

5.2.3 Calibração

A calibração foi realizada para verificar se os deslocamentos realizados no módulo cirúrgico do *software* Dolphin Imaging®, programa utilizado para a realização dos planejamentos virtuais, que tinham suas magnitudes conhecidas, eram corretamente identificados pelo método de determinação e localização dos centroides no *software* Geomagic Qualify®, programa usado para avaliação dos deslocamentos. Se, na avaliação dos movimentos simulados para a calibração, o *software* Geomagic Qualify® gerasse valores iguais aos usados no Dolphin® para a simulação, isso garantiria que os dados eram

corretamente transferidos e que a diferença encontrada posteriormente, entre os dados do planejamento virtual e da cirurgia real, seria relativa, exclusivamente, ao erro da cirurgia, e não por imprecisão entre os programas. Esta calibração, realizada conforme explicada no material e métodos, teve checagem intra e interexaminador realizada de forma que esse item também se enquadrou na recomendação da revisão sistemática de Gaber et al. (21), para estabelecimento do protocolo de avaliação tridimensional. Apenas alguns estudos relataram se foi feita calibração do método de avaliação e a forma como essa foi realizada. (4, 17, 52, 55, 57)

Não houve calibração para as medições realizadas no *software* MeshValmet®, pois as comparações realizadas neste programa são totalmente automáticas e partiram do posicionamento dos segmentos no *software* Geomagic Qualify®, que teve calibração realizada.

5.2.4 Análises estatísticas

A escolha dos testes foi feita de acordo com as características de normalidade da amostra. No entanto, para os valores do posicionamento dos centroides, apesar de algumas medidas (a minoria) terem mostrado distribuição assimétrica, foi feita a opção pelo uso de testes paramétricos. Essa opção foi feita pelo fato do método paramétrico ser bem mais preciso do que o método não paramétrico para amostras pequenas, como a desse trabalho. (100) A avaliação, no caso dos valores dos centroides com sentido do deslocamento, foi complementada com o método de Bland-Altman (79) que, segundo Gaber et al. (21), é o método mais adequado para avaliar a acurácia do planejamento virtual, pois essa análise avalia a concordância entre dois métodos que deveriam medir a mesma coisa, diferente do coeficiente de correlação, que não avalia concordância e sim associação. Alguns trabalhos publicados sobre este tema já vêm usando esse método para realizar as avaliações (4, 18, 51).

5.3 **Dos Resultados**

As avaliações dos resultados desta pesquisa foram realizadas por dois processos diferentes, ambos já relatados na literatura. O primeiro fez a comparação do posicionamento das superfícies das estruturas nos dois tempos avaliados (pré-cirúrgico, com a simulação virtual, e pós-cirúrgico). O segundo comparou a diferença do posicionamento do centroide, por translação isolada, de cada estrutura nos dois tempos, decompondo esse posicionamento nas coordenadas X, Y e Z. Para as análises estatísticas da alteração de posicionamento de cada segmento foi considerado o valor do limite da detecção de diferenças (erro) dos exames (1,4mm).

Para a avaliação da diferença de posicionamento das superfícies, foi utilizado o valor do RMS que, como explicado anteriormente, no material e métodos, corresponde à média absoluta das distâncias de uma forma normalizada, útil quando existem grandes variações de valores, tanto para positivo quanto para negativo. O uso deste recurso também foi utilizado por Hsu et al. (4), Kim et al. (12), Bobek et al. (18) e Schouman et al. (101) .

Nesta pesquisa, considerando os valores de RMS, houve diferença estatisticamente significativa para os valores do segmento mandibular (p=0,013) e do mento (p=0,013). Esses segmentos já foram relatados em pesquisas anteriores como sendo os mais críticos em termos de acurácia (16, 19, 46, 102). Aqui, vale ressaltar que muitas pesquisas fizeram a validação considerando apenas o posicionamento da maxila, como os estudos de Sun et al. (55), Li et al. (56) e Shehab et al. (57), e, portanto, desconsiderando as estruturas com maior variação. Uma justificativa é que se a maxila é a que tem o seu posicionamento transferido da forma mais confiável pelo *splint* cirúrgico, ela seria a principal estrutura para avaliar a acuracidade da transferência, e que os outros segmentos incorporariam de forma mais significativa as alterações que são dependentes da técnica cirúrgica, além dos fatores do planejamento em si. A maior parte das pesquisas que fizeram avaliação da maxila e da mandíbula encontraram valores mais discrepantes para o segmento mandibular (4, 14, 16, 17, 19, 40, 51, 59, 67), ao contrário de Bobek et al. (6) e Stokbro et al. (15), que encontraram maior diferença no posicionamento da maxila, que segundo Stokbro et al. (15), pode ter sido causado pelo fato da cirurgia da mandíbula ter sido realizada primeiro e ter transferido erros para o segmento maxilar.

Para a diferença do posicionamento dos centroides de forma linear, o posicionamento de cada ponto centroide foi decomposto nas três coordenadas do espaço neste trabalho. A

decomposição de pontos marcados manualmente nas três coordenadas do espaço já foi utilizada para diversas avaliações, como nos trabalhos de Bobek et al. (18), Zinser et al. (40), Xia et al. (51), Hernandez-Alfaro e Guijarro-Martinez (58), Schouman et al. (101), embora a decomposição do centroide nos eixos só tenha sido feita por Hsu et al. (4). De acordo com as últimas recomendações (21), essa decomposição nos eixos (x, y e z) fornece dados de avaliação tridimensional mais precisos.

Neste trabalho, os dados em relação ao posicionamento dos centroides mostraram diferença estatisticamente significativa para o deslocamento transversal do ramo direito, considerando o sentido do deslocamento, e para o deslocamento vertical de ambos os ramos, desconsiderando o sentido do deslocamento, o que está de acordo com os achados de Tucker et al. (52), um dos poucos trabalhos sobre o tema que avaliou esses segmentos.

Pelos valores encontrados, pode-se considerar acurado o planejamento cirúrgico virtual para cirurgias ortognáticas realizado com o *software* Dolphin Imaging 11.9.

5.4 **Significado clínico**

Apesar dos dados estatísticos serem importantes para validar o método, o principal dado de uma pesquisa clínica deve apontar para o seu uso na prática diária. Para isso, consideramos os dados que são amplamente descritos e considerados nos estudos, relativos ao tema, na literatura internacional. Quase a totalidade dos trabalhos que abordam o tema consideram como acurácia e, consequentemente, sucesso, para a realização do planejamento cirúrgico virtual, valores de diferença de deslocamento, entre o planejado e o obtido, de até 2mm (4, 20, 50, 53) ou até 2mm e 4° (16, 51, 52, 101).

Esta pesquisa mostrou que os valores para praticamente todos os seguimentos ficaram dentro destes limites, sendo os valores de diferença entre o planejado e o obtido de 1,72mm (média) e 1,67mm (mediana) para o segmento maxilar; de 2,09mm (média) e 1,99mm (mediana) para o segmento mandibular; de 2,83mm (média) e 2,91mm (mediana) para o segmento do mento; de 1,19mm (média) e 1,03mm (mediana) para o segmento do ramo direito, e de 1,24mm (média) e 1,02 (mediana) para o segmento do ramo esquerdo, considerando as superfícies das estruturas.

Avaliando-se pela diferença do posicionamento dos centroides, os valores mostram a mesma tendência, com diferenças médias, entre o planejado e o obtido, quando o sentido do

deslocamento é considerado, de menos de 1mm para os segmentos maxilar, mandibular, ramo direito e ramo esquerdo, em cada um dos eixos; e de até 2,31mm para o segmento do mento; e de menos de 1mm para o segmento do ramo direito, em cada um dos eixos; de até 1,28mm para o segmento do ramo esquerdo, em cada um dos eixos; de até 1,61mm para o segmento da maxila, em cada um dos eixos; de até 2,19mm para o segmento do corpo da mandíbula, em cada um dos eixos; e de até 3,4mm, em cada um dos eixos, para o mento, quando não é considerado o sentido do deslocamento. Embora alguns desses valores superem o valor de 2mm, é importante frisar na comparação com outros trabalhos (4, 17, 18, 35, 40, 51-53, 55, 57, 67) que todos os segmentos foram analisados, o que não aconteceu com nenhum outro trabalho publicado.

Uma importante questão, que influencia o posicionamento de todos os segmentos, diz respeito ao posicionamento vertical. (43) Na maior parte dos casos, assim como ocorreu nesta pesquisa, esse posicionamento é feito por uma medição linear manual na região anterior da maxila. As goteiras estabelecem a relação dos maxilares entre si, mas o posicionamento vertical dos segmentos ósseos, em relação à base do crânio, não é controlado por estes posicionadores interoclusais, e sim determinados no momento cirúrgico, por medições manuais. Um erro nesse posicionamento pode alterar todo o restante. Metzger et al. (11) citaram o problema do controle vertical de cirurgias bimaxilares e relataram que são necessários esforços para desenvolver um meio de controle. Zinser et al. (40) citaram diversos mecanismos, como *splints* duplos, medições em diferentes pontos e pinos transcutâneos para esse controle, mas terminam por concluir que o plano maxilar e a dimensão posterior são difíceis de controlar por esses métodos e incorporam erro à técnica. Sun et al. (55) também afirmaram que, durante a cirurgia, as modificações verticais na maxila dependem do cirurgião e das ferramentas de mensuração, e não do *splint* que transfere o planejamento virtual. Para superar este problema, vários posicionadores vêm sendo desenvolvidos a fim de exercer este controle vertical, como o uso de um posicionador ajustado à superfície maxilar, para obter controle vertical do complexo maxilomandibular, proposto por Bai et al. (61); o uso de um posicionador para a maxila, baseado na anatomia da superfície óssea, proposto por Zinser el al. (17) e Han et al. (48) ou o posicionador em Y, que liga a superfície não operada da maxila ao *splint* interoclusal, proposto por Kang et al. (103). O uso desses posicionadores adicionais torna os procedimentos cirúrgicos mais complexos, muitas vezes demandando um maior deslocamento dos tecidos moles, o que pode resultar em aumento do tempo cirúrgico, aumento do edema e piora da condição pós-operatória (17, 44, 59, 61, 69).

Em relação à mandíbula, como já foi dito nesta discussão, ela mostrou menor acurácia do que a maxila na maior parte dos trabalhos, e alguns autores atribuíram isso ao *splint* interoclusal, que pode gerar uma autorrotação da mandíbula (19, 46, 102). Dai et al. (104) discutiram o eixo de rotação da mandíbula, que segundo eles não tem sido precisamente definido na cirurgia virtual e pode ter efeitos profundos na posição relativa do posicionamento dos fragmentos da mandíbula, que são reposicionados baseados no *splint* intermediário virtual. Para tentar melhorar o posicionamento da mandíbula, Farrel et al. (42) e Mazzoni et al. (102) sugeriram posicionadores específicos, que evitem essa autorrotação.

Em relação ao mento, esse posicionamento é ainda mais impreciso, porque embora sua movimentação seja incluída no planejamento virtual, nenhuma forma de transferência física, do planejamento para a cirurgia real, é normalmente incorporada. Nos casos de navegação (40, 53, 105), ainda é possível fazer a confirmação durante o procedimento cirúrgico, mas nos demais casos o posicionamento é puramente clínico, o que, segundo o resultado deste trabalho e dos demais publicados na literatura, diminui a acurácia do procedimento. Outras questões que devem ser levadas em consideração são a possibilidade de intencionalmente alterar-se a posição planejada para o mento para obter-se uma melhor harmonia facial de acordo com a visualização clínica no momento da cirurgia e a incorporação de erros de outros segmentos na hora da medição final do posicionamento do mento, pois o posicionamento do mento está intimamente relacionado com o posicionamento do segmento distal da mandíbula e consequentemente incorpora os erros deste que se somam ao erro do próprio segmento. Os trabalhos que conseguiram um incremento relevante nesse posicionamento foram os que utilizaram posicionadores específicos para o segmento (4, 42), fazendo, assim, a transferência física do planejado para o momento cirúrgico real.

Pelos valores encontrados, também pode-se considerar o Dolphin Imaging 11.9 clinicamente aceitável para a realização dos planejamentos virtuais para cirurgia ortognática.

5.5 **Avaliação crítica**

Os resultados deste trabalho mostraram que o planejamento cirúrgico virtual realizado com o módulo cirúrgico do *Dolphin Imaging* 11.9 tem boa acurácia, pois, retirando o segmento do mento, todos os outros ficaram dentro do padrão estabelecido na literatura como

adequado. No entanto, assim como já relatado em outros trabalhos (15, 35, 50, 53), esse procedimento não tem boa precisão, mostrando muita variação entre os resultados.

Um dos fatores que, segundo demostrado por outros trabalhos, pode aumentar a acurácia e a precisão desse tipo de planejamento é a adição de posicionadores extras prototipados (4, 16, 17, 56, 57, 61, 102, 103), além dos *splints* interoclusais mais comumente usados (11, 35, 51, 55, 58, 67). Esses posicionadores podem auxiliar no posicionamento vertical, auxiliar a manutenção dos côndilos em posição, durante o procedimento cirúrgico, e guiar o posicionamento do mento.

Esses posicionadores adicionais mostram aumento na acurácia e precisão do posicionamento dos segmentos (40, 57), mas, a princípio, provocam aumento do tempo do planejamento, do tempo do procedimento cirúrgico e dos custos do procedimento (59, 69), embora Mazzoni et al. (102) tenham afirmado que esses posicionadores são de fácil execução, baratos e reduzem o tempo da cirurgia. Vale a reflexão se estas melhorias obtidas têm relevância clínica e se elas seriam necessárias e justificáveis para todos os casos, uma vez que a forma atual de planejamento e confecção dos *splints* já oferece resultados clinicamente adequados, para a maioria dos casos.

Outra questão diz respeito ao tipo de avaliação. Embora este trabalho tenha seguido todos os protocolos de avaliação tridimensional, apenas avaliações lineares foram feitas. Avaliações angulares podem complementar os resultados.

No entanto, como afirmou Mazzoni et al. (102), apesar de todos os avanços tecnológicos, a qualidade do resultado cirúrgico ainda está na habilidade de cada cirurgião individual em alcançar o planejamento cirúrgico e, nesse sentido, o treinamento foi e será sempre a chave do sucesso.

CONCLUSÃO

Pela análise dos dados estatísticos e de relevância clínica das avaliações tridimensionais, de acordo com o que foi proposto, foi possível concluir, em relação à acurácia do planejamento cirúrgico virtual realizado com o *software* Dolphin Imaging, realizados em pacientes portadores de má oclusão de Classe II ou Classe III, sem crescimento, que:

a) para o segmento maxilar, obteve-se boa acurácia, baseado nos valores das análises estatísticas e da relevância clínica;
b) para o segmento distal da mandíbula (corpo da mandíbula), os resultados estatísticos para o posicionamento da superfície da estrutura mostraram diferenças significativas entre o planejado e o obtido, mas com valores ainda dentro do clinicamente aceitável, mostrando boa acurácia;
c) para os segmentos proximais da mandíbula (ramos mandibulares), apesar dos resultados da diferença de posicionamento dos centroides decompostos nos eixos terem apresentado resultados estatisticamente significativos, esses valores ficaram bem aquém do limite da relevância clínica, podendo ser considerados como apresentando boa acurácia;
d) para o segmento do mento, tanto os resultados estatísticos para o posicionamento da superfície da estrutura quanto à avaliação dos valores de relevância clínica ficaram distantes do aceitável, indicando que o planejamento não tem acurácia para esse segmento;
e) com esse tipo de planejamento realizado com o *software* Dolphin Imaging® 11.9, considerando-se a diferença de 2mm entre o planejado e o obtido como clinicamente aceitável, pode-se conseguir posicionamento cirúrgico com acurácia para os segmentos maxilo-mandibulares, com exceção do segmento do mento.

REFERÊNCIAS

1. Stokbro K, Aagaard E, Torkov P, Bell RB, Thygesen T. Virtual planning in orthognathic surgery. Int J Oral Maxillofac Surg. 2014;43(8):957-65.

2. Haas Jr OL, Becker OE, de Oliveira RB. Computer-aided planning in orthognathic surgery-systematic review. Int J Oral Maxillofac Surg. 2014;44:329-42.

3. Medeiros P, Medeiros P. Cirurgia Ortognática para o Ortodontista. 3ª ed. São Paulo: Editora Santos; 2013. 360 p.

4. Hsu SS, Gateno J, Bell RB, Hirsch DL, Markiewicz MR, Teichgraeber JF, et al. Accuracy of a computer-aided surgical simulation (CASS) protocol for orthognathic surgery: a prospective multicenter study. J Oral Maxillofac Surg. 2013;71(1):128-42.

5. Bengtsson M, Wall G, Greiff L, Rasmusson L. Treatment outcome in orthognathic surgery-A prospective randomized blinded case-controlled comparison of planning accuracy in computer-assisted two- and three-dimensional planning techniques (part II). J Craniomaxillofac Surg. 2017;45(9):1419-24.

6. Bobek SL, Farrell BB, Farrel BB, Tucker M. Simplified Protocol of Virtual Surgical Planning for Orthognathic Surgery. J Oral Maxillofac Surg. 2012;70(90): e-68-9.

7. Choi JY, Song KG, Baek SH. Virtual model surgery and wafer fabrication for orthognathic surgery. Int J Oral Maxillofac Surg. 2009;38(12):1306-10.

8. Cousley RR, Turner MJ. Digital model planning and computerized fabrication of orthognathic surgery wafers. J Orthod. 2014;41(1):38-45.

9. Levine JP, Patel A, Saadeh PB, Hirsch DL. Computer-aided design and manufacturing in craniomaxillofacial surgery: the new state of the art. J Craniofac Surg. 2012;23(1): 288-93.

10. Xia JJ, Gateno J, Teichgraeber JF, Yuan P, Li J, Chen KC, et al. Algorithm for planning a double-jaw orthognathic surgery using a computer-aided surgical simulation (CASS) protocol. Part 2: three-dimensional cephalometry. Int J Oral Maxillofac Surg. 2015; 44(12):1441-50.

11. Metzger MC, Hohlweg-Majert B, Schwarz U, Teschner M, Hammer B, Schmelzeisen R. Manufacturing splints for orthognathic surgery using a three-dimensional printer. Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod. 2008;105(2):e1-7.

12. Kim DS, Woo SY, Yang HJ, Huh KH, Lee SS, Heo MS, et al. An integrated orthognathic surgery system for virtual planning and image-guided transfer without intermediate splint. J Craniomaxillofac Surg. 2014;42(8):2010-7.

13. Li Y, Jiang Y, Zhang N, Xu R, Hu J, Zhu S. Clinical feasibility and efficacy of using virtual surgical planning in bimaxillary orthognathic surgery without intermediate splint. J Craniofac Surg. 2015;26(2):501-5.

14. Borba AM, Haupt DB, Silva ALF, Brozoski MA, Naclerio-Homem MDG, Miloro M. Inaccuracies on Virtual Planned Orthognathic Cases: a retrospective evaluation. J Oral Maxillofac Surg. 2016:74(9):e-25-6.

15. Stokbro K, Aagaard E, Torkov P, Bell RB, Thygesen T. Surgical accuracy of three-dimensional virtual planning: a pilot study of bimaxillary orthognathic procedures including maxillary segmentation. Int J Oral Maxillofac Surg. 2016;45(1):8-18.

16. Zhang N, Liu S, Hu Z, Hu J, Zhu S, Li Y. Accuracy of virtual surgical planning in two-jaw orthognathic surgery: comparison of planned and actual results. Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol. 2016;122(2):143-51.

17. Zinser MJ, Mischkowski RA, Sailer HF, Zoller JE. Computer-assisted orthognathic surgery: feasibility study using multiple CAD/CAM surgical splints. Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol. 2012;113(5):673-87.

18. Bobek S, Farrell B, Choi C, Farrell B, Weimer K, Tucker M. Virtual surgical planning for orthognathic surgery using digital data transfer and an intraoral fiducial marker: the charlotte method. J Oral Maxillofac Surg. 2015;73(6):1143-58.

19. Baan F, Liebregts J, Xi T, Schreurs R, de Koning M, Berge S, et al. A New 3D Tool for Assessing the Accuracy of Bimaxillary Surgery: The OrthoGnathicAnalyser. PLoS One. 2016;11(2):e0149625.

20. Borba AM, Haupt D, de Almeida Romualdo LT, da Silva AL, da Graca Naclerio-Homem M, Miloro M. How Many Oral and Maxillofacial Surgeons Does It Take to Perform Virtual Orthognathic Surgical Planning? J Oral Maxillofac Surg. 2016;74(9): 1807-26.

21. Gaber RM, Shaheen E, Falter B, Araya S, Politis C, Swennen GRJ, et al. A Systematic Review to Uncover a Universal Protocol for Accuracy Assessment of 3-Dimensional Virtually Planned Orthognathic Surgery. J Oral Maxillofac Surg. 2017;75(11):2430-40.

22. Olson RE, McMahon R, Winer H. Orthognathic surgery. Surg Clin North Am. 1973; 53(1):253-76.

23. Dann JJ, 3rd, Fonseca RJ, Bell WH. Soft tissue changes associated with total maxillary advancement: a preliminary study. J Oral Surg. 1976;34(1):19-23.

24. Burstone CJ, James RB, Legan H, Murphy GA, Norton LA. Cephalometrics for orthognathic surgery. J Oral Surg. 1978;36(4):269-77.

25. Cousley RR, Grant E. The accuracy of preoperative orthognathic predictions. Br J Oral Maxillofac Surg. 2004;42(2):96-104.

26. Eckhardt CE, Cunningham SJ. How predictable is orthognathic surgery? Eur J Orthod. 2004;26(3):303-9.

27. Tayfur V, Yilmaz M, Baytekin C, Topcu A, Barutcu A. Follow-up form for patients undergoing orthognathic surgery. J Craniofac Surg. 2005;16(1):190-2.

28. Ellis E, 3rd. Accuracy of model surgery: evaluation of an old technique and introduction of a new one. J Oral Maxillofac Surg. 1990;48(11):1161-7.

29. Donatsky O, Bjorn-Jorgensen J, Holmqvist-Larsen M, Hillerup S. Computerized cephalometric evaluation of orthognathic surgical precision and stability in relation to maxillary superior repositioning combined with mandibular advancement or setback. J Oral Maxillofac Surg. 1997;55(10):1071-9.

30. Proffit WR, Turvey TA, Phillips C. The hierarchy of stability and predictability in orthognathic surgery with rigid fixation: an update and extension. Head Face Med. 2007;3:21.

31. Faber J. Benefício Antecipado: uma nova abordagem para o tratamento com cirurgia ortognática que elimina o preparo ortodôntico convencional. Dental Press J Orthod. 2010;15(1):144-57.

32. Moreira LM, Leal MPS. Planejamento virtual em cirurgia ortognática:uma mudança de paradigma. Rev Bras Odontol. 2013;70(1):45-8.

33. Bettega G, Cinquin P, Lebeau J, Raphael B. Computer-assisted orthognathic surgery: clinical evaluation of a mandibular condyle repositioning system. J Oral Maxillofac Surg. 2002;60(1):27-34.

34. Popat H, Richmond S, Drage NA. New developments in: three-dimensional planning for orthognathic surgery. J Orthod. 2010;37(1):62-71.

35. Aboul-Hosn Centenero S, Hernandez-Alfaro F. 3D planning in orthognathic surgery: CAD/CAM surgical splints and prediction of the soft and hard tissues results - our experience in 16 cases. J Craniomaxillofac Surg. 2012;40(2):162-8.

36. Rieck KL. Real problems in a virtual world - pearls and pitfalls of orthognathic virtual surgical planning. Int J Oral Maxillofac Surg. 2015; 44(Suppl. 1):e-14-5.

37. Elis E 3rd. Condylar positioning devices for orthognathic surgery: are they necessary? . J Oral Maxillofac Surg. 1994;52(6):536-52.

38. Marmulla R, Mühling J. Computer-assisted condyle positioning in orthognathic surgery. J Oral Maxillofac Surg. 2007;65(10):1963-8.

39. Chapus J, Schramm A, Pappas I, HallermannW, Schwenzer-Zimmerer K, Langlotz F, et al. A new system for computer-aided preoperative planning and intraoperative navigation during corrective jaw surgery. IEEE Trans Inf Technol Biomed. 2007;11(3): 274-87.

40. Zinser MJ, Sailer HF, Ritter L, Braumann B, Maegele M, Zoller JE. A paradigm shift in orthognathic surgery? A comparison of navigation, computer-aided designed/computer-aided manufactured splints, and "classic" intermaxillary splints to surgical transfer of virtual orthognathic planning. J Oral Maxillofac Surg. 2013;71(12):2151 e1-21.

41. Turvey T, Hall DJ, Fisch LC, Epker BN. Surgical-orthodontic treatment planning for simultaneous mobilization of the maxilla and mandible in the correction of dentofacial deformities. Oral Surg Oral Med Oral Pathol. 1982;54(5):491-8.

42. Farrell BB, Franco PB, Tucker MR. Virtual surgical planning in orthognathic surgery. Oral Maxillofac Surg Clin North Am. 2014;26(4):459-73.

43. Lee MB. The Tridimensional Orthognatic Gauge: An external Intraoperative Device for the Verification of Virtual Surgical Planning. J Oral Maxillofac Surg. 2013;71(9):e-66-7.

44. Adolphs N, Haberl EJ, Liu W, Keeve E, Menneking H, Hoffmeister B. Virtual planning for craniomaxillofacial surgery-7 years of experience. J Craniomaxillofac Surg. 2014; 42(5):e289-95.

45. Krutoy J, Appelblatt R. Two cases of maxillarymalpositioning following maxillary and mandibular orthognathic surgery using CT-guided virtual surgical planning. J Oral Maxillofac Surg. 2014; 72(9):e-138-9.

46. Dai J, Tang M, Xin P, Hu G, Si J, Dong Y, et al. Accurate movement of jaw segment in virtual 3D orthognathic surgery. J Craniofac Surg. 2014;25(2):e140-3.

47. Uechi J, Tsuji Y, Konno M, Hayashi K, Shibata T, Nakayama E, et al. Generation of virtual models for planning orthognathic surgery using a modified multimodal image fusion technique. Int J Oral Maxillofac Surg. 2015;44(4):462-9.

48. Han JJ, Yang HJ, Hwang SJ. Repositioning of the Maxillomandibular Complex Using Maxillary Template Adjusted Only by Maxillary Surface Configuration Without an Intermediate Splint in Orthognathic Surgery. J Craniofac Surg. 2016;27(6):1550-3.

49. Lee SJ, Woo SY, Huh KH, Lee SS, Heo MS, Choi SC, et al. Virtual skeletal complex model- and landmark-guided orthognathic surgery system. J Craniomaxillofac Surg. 2016;44(5):557-68.

50. Marchetti C, Bianchi A, Bassi M, Gori R, Lamberti C, Sarti A. Mathematical modeling and numerical simulation in maxillo-facial virtual surgery (VISU). J Craniofac Surg. 2006;17(4):661-7.

51. Xia JJ, Gateno J, Teichgraeber JF, Christensen AM, Lasky RE, Lemoine JJ, et al. Accuracy of the computer-aided surgical simulation (CASS) system in the treatment of patients with complex craniomaxillofacial deformity: a pilot study. J Oral Maxillofac Surg. 2007;65(2):248-54.

52. Tucker S, Cevidanes LH, Styner M, Kim H, Reyes M, Proffit W, et al. Comparison of actual surgical outcomes and 3-dimensional surgical simulations. J Oral Maxillofac Surg. 2010;68(10):2412-21.

53. Mazzoni S, Badiali G, Lancellotti L, Babbi L, Bianchi A, Marchetti C. Simulation-guided navigation: a new approach to improve intraoperative three-dimensional reproducibility during orthognathic surgery. J Craniofac Surg. 2010;21(6):1698-705.

54. Foley B, Lewallen B, Moore K, McKenna SJ. Is Virtual Surgical Planning in Orthognathic Surgery Error Proof? J Oral Maxillofac Surg. 2012;70(9):e-63-4.

55. Sun Y, Luebbers HT, Agbaje JO, Schepers S, Vrielinck L, Lambrichts I, et al. Accuracy of upper jaw positioning with intermediate splint fabrication after virtual planning in bimaxillary orthognathic surgery. J Craniofac Surg. 2013;24(6):1871-6.

56. Li B, Zhang L, Sun H, Yuan J, Shen SG, Wang X. A novel method of computer aided orthognathic surgery using individual CAD/CAM templates: a combination of osteotomy and repositioning guides. Br J Oral Maxillofac Surg. 2013;51(8):e239-44.

57. Shehab MF, Barakat AA, AbdElghany K, Mostafa Y, Baur DA. A novel design of a computer-generated splint for vertical repositioning of the maxilla after Le Fort I osteotomy. Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol. 2013;115(2):e16-25.

58. Hernandez-Alfaro F, Guijarro-Martinez R. New protocol for three-dimensional surgical planning and CAD/CAM splint generation in orthognathic surgery: an in vitro and in vivo study. Int J Oral Maxillofac Surg. 2013;42(12):1547-56.

59. Lin HH, Chang HW, Lo LJ. Development of customized positioning guides using computer-aided design and manufacturing technology for orthognathic surgery. Int J Comput Assist Radiol Surg. 2015;10(12):2021-33.

60. Liebregts JH, Timmermans M, De Koning MJ, Bergé SJ, Maal TJ. Three-dimensional facial simulation in bilateral sagittal split osteotomy: a validation study of 100 patients. J Oral Maxillofac Surg. 2015;73(5):961-70.

61. Bai S, Bo B, Bi Y, Wang B, Zhao J, Liu Y, et al. CAD/CAM surface templates as an alternative to the intermediate wafer in orthognathic surgery. Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod. 2010;110(5):e1-7.

62. Almukhtar A, Ju X, Khambay B, McDonald J, Ayoub A. Comparison of the accuracy of voxel based registration and surface based registration for 3D assessment of surgical change following orthognathic surgery. Plos One. 2014;9(4):e93402.

63. Gkantidis N, Schauseil M, Pazera P, Zorkun B, Katsaros C, Ludwig B. Evaluation of 3-Dimensional superimposition techniques on various skeletal structures of the head using surface models. PlosOne. 2015;10(2):e0118810.

64. Weissheimer A, Menezes LM, Koerich L, Pham J, Cevidanes LH. Fast three-dimensional superimposition of cone beam computed tomography for orthopaedics and orthognathic surgery evaluation. Int J Oral Maxillofac Surg. 2015;44(9):1188-96.

65. Song KG, Baek SH. Comparison of the accuracy of the three-dimensional virtual method and the conventional manual method for model surgery and intermediate wafer fabrication. Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod. 2009;107(1):13-21.

66. Kwon TG, Choi JW, Kyung HM, Park HS. Accuracy of maxillary repositioning in two-jaw surgery with conventional articulator model surgery versus virtual model surgery. Int J Oral Maxillofac Surg. 2014;43(6):732-8.

67. De Riu G, Meloni SM, Baj A, Corda A, Soma D, Tullio A. Computer-assisted orthognathic surgery for correction of facial asymmetry: results of a randomised controlled clinical trial. Br J Oral Maxillofac Surg. 2014;52(3):251-7.

68. Wu TY, Lin HH, Lo LJ, Ho CT. Postoperative outcomes of two- and three-dimensional planning in orthognathic surgery: A comparative study. J Plast Reconstr Aesthet Surg. 2017;70(8):1101-11.

69. Adolphs N, Liu W, Keeve E, Hoffmeister B. RapidSplint: virtual splint generation for orthognathic surgery - results of a pilot series. Comput Aided Surg. 2014;19(1-3):20-8.

70. Hossameldin RH, McCain JP. The Efficacy of Computer-Based Pre Operative Virtual Planning of Orthognatic Surgery and Fabrication of Intra-Operative Cutting and Positioning Guides with Pre Bending ofFixation Maxillary Plates. J Oral Maxillofac Surg. 2014;72(9):e-24-5.

71. Hammoudeh JA, Howell LK, Boutros S, Scott MA, Urata MM. Current Status of Surgical Planning for Orthognathic Surgery: Traditional Methods versus 3D Surgical Planning. Plast Reconstr Surg Glob Open. 2015;3(2):e307.

72. Wrzosek MK, Peacock ZS, Laviv A, Goldwaser BR, Ortiz R, Resnick CM, et al. Comparison of time required for traditional versus virtual orthognathic surgery treatment planning. Int J Oral Maxillofac Surg. 2016;45(9):1065-9.

73. Resnick CM, Inverso G, Wrzosek M, Padwa BL, Kaban LB, Peacock ZS. Is There a Difference in Cost Between Standard and Virtual Surgical Planning for Orthognathic Surgery? J Oral Maxillofac Surg. 2016;74(9):1827-33.

74. Molen AD. Considerations in the use of cone-beam computed tomography for buccal bone measurements. Am J Orthod Dentofacial Orthop. 2010;137(4 Suppl):S130-5.

75. Yushkevich PA, Piven J, Hazlett HC, Smith RG, Ho S, Gee JC, et al. User-guided 3D active contour segmentation of anatomical structures: significantly improved efficiency and reliability. Neuroimage. 2006;31(3):1116-28.

76. Styner M, Oguz I, Xu S, Brechbuhler C, Pantazis D, Levitt JJ, et al. Framework for the Statistical Shape Analysis of Brain Structures using SPHARM-PDM. Insight J. 2006; (1071):242-50.

77. Carugo O. Statistical validation of the root-mean-square-distance, a measure of protein structural proximity. Protein Eng Des Sel. 2007;20(1):33-7.

78. Proffit WR, Ackerman JL. Diagnosis and Treatment Planning. In: Graber TM, Swain BF, editores. Current Orthodontic Concepts and Techniques. St. Louis: Mosby; 1982. p. 3-100.

79. Bland JM, Altman DG. Statistical methods for assessing agreement between two methods of clinical measurement. Lancet. 1986;1(8476):307-10.

80. Luna Filho B. Basic step sequence in the development of research protocols. Arq Bras Cardiol. 1998;71(6):735-40.

81. Friedman LM, Fuberg CD, DeMets DL. Fundamentals of Clinical Trials. 3rd ed. St Louis: Mosby-Year Book; 1996. 360 p.

82. Browner WS, Hulley SB, Cummings SR, Grady D, Newman TB. Delineando a pesquisa clínica: uma abordagem epidemiológica: Artmed; 2008.

83. Mayyas E, Wen N, Liu D, Glide-Hurst C, Ajlouni M, Chetty I. TU-E-BRB-10: Dosimetric Consequences of Setup Errors Using CBCT for SBRT Localization. Med Phys. 2012;39(6Part24):3910.

84. Ludlow J, Davies-Ludlow L, Brooks S. Dosimetry of two extraoral direct digital imaging devices: NewTom cone beam CT and Orthophos Plus DS panoramic unit. Dentomaxillofac Radiol. 2003;32(4):229-34.

85. Garib DG, Raymundo Jr R, Raymundo, MV, Raymundo DV, Ferreira, SN. Tomografia computadorizada de feixe cônico (Cone beam): entendendo este novo método de diagnóstico por imagem com promissora aplicabilidade na Ortodontia. R Dental Press Ortodon Ortop Facial. 2007;12(2):139-56.

86. Mozzo P, Procacci C, Tacconi A, Martini P, Andreis I. A new volumetric CT machine for dental imaging based on the cone-beam technique: preliminary results. Eur Radiol. 1998;8(9):1558-64.

87. Xia JJ, Gateno J, Teichgraeber JF. New clinical protocol to evaluate craniomaxillofacial deformity and plan surgical correction. J Oral Maxillofac Surg. 2009;67(10):2093-106.

88. Xia JJ, McGrory JK, Gateno J, Teichgraeber JF, Dawson BC, Kennedy KA, et al. A new method to orient 3-dimensional computed tomography models to the natural head position: a clinical feasibility study. J Oral Maxillofac Surg. 2011;69(3):584-91.

89. Moorrees C. Natural head position--a revival. Am J Orthod Dentofacial Orthop. 1994;105(5):512-3.

90. Kim DS, Yang HJ, Huh KH, Lee SS, Heo MS, Choi SC, et al. Three-dimensional natural head position reproduction using a single facial photograph based on the POSIT method. J Craniomaxillofac Surg. 2014;42(7):1315-21.

91. Schatz EC, Xia JJ, Gateno J, English JD, Teichgraeber JF, Garrett FA. Development of a technique for recording and transferring natural head position in 3 dimensions. J Craniofac Surg. 2010;21(5):1452-5.

92. Plooij JM, Maal TJ, Haers P, Borstlap WA, Kuijpers-Jagtman AM, Berge SJ. Digital three-dimensional image fusion processes for planning and evaluating orthodontics and orthognathic surgery. A systematic review. Int J Oral Maxillofac Surg. 2011;40(4):341-52.

93. Ayoub AF, Rehab M, O'Neil M, Khambay B, Ju X, Barbenel J, et al. A novel approach for planning orthognathic surgery: the integration of dental casts into three-dimensional printed mandibular models. Int J Oral Maxillofac Surg. 2014;43(4):454-9.

94. Kang SH, Lee JW, Kim MK. Use of the surface-based registration function of computer-aided design/computer-aided manufacturing software in medical simulation software for three-dimensional simulation of orthognathic surgery. J Korean Assoc Oral Maxillofac Surg. 2013;39(4):197-9.

95. Swennen GR, Barth EL, Eulzer C, Schutyser F. The use of a new 3D splint and double CT scan procedure to obtain an accurate anatomic virtual augmented model of the skull. Int J Oral Maxillofac Surg. 2007;36(2):146-52.

96. Jayaratne YS, McGrath CP, Zwahlen RA. How accurate are the fusion of cone-beam CT and 3-D stereophotographic images? PLoS One. 2012;7(11):e49585.

97. Swennen GR. Timing of three-dimensional virtual treatment planning of orthognathic surgery: a prospective single-surgeon evaluation on 350 consecutive cases. Oral Maxillofac Surg Clin North Am. 2014;26(4):475-85.

98. Carvalho Fde A, Cevidanes LH, da Motta AT, Almeida MA, Phillips C. Three-dimensional assessment of mandibular advancement 1 year after surgery. Am J Orthod Dentofacial Orthop. 2010;137(4 Suppl):S53 e1-12.

99. Cevidanes LH, Bailey LJ, Tucker GR, Jr., Styner MA, Mol A, Phillips CL, et al. Superimposition of 3D cone-beam CT models of orthognathic surgery patients. Dentomaxillofac Radiol. 2005;34(6):369-75.

100. Mingoti SA, Glória FAA. Comparing Mingoti and Glória's and Niverthi and Dey's multivariate capability indexes. Production. 2008;18:598-608.

101. Schouman T, Rouch P, Imholz B, Fasel J, Courvoisier D, Scolozzi P. Accuracy evaluation of CAD/CAM generated splints in orthognathic surgery: a cadaveric study. Head Face Med. 2015;11:24.

102. Mazzoni S, Bianchi A, Schiariti G, Badiali G, Marchetti C. Computer-aided design and computer-aided manufacturing cutting guides and customized titanium plates are useful in upper maxilla waferless repositioning. J Oral Maxillofac Surg. 2015;73(4):701-7.

103. Kang SH, Kim MK, Kim BC, Lee SH. Orthognathic Y-splint: a CAD/CAM-engineered maxillary repositioning wafer assembly. Br J Oral Maxillofac Surg. 2014;52(7):667-9.

104. Dai J, Dong Y, Xin P, Hu G, Xiao C, Shen S, et al. A novel method to determine the potential rotational axis of the mandible during virtual three-dimensional orthognathic surgery. J Craniofac Surg. 2013;24(6):2014-7.

105. Bell RB. Computer planning and intraoperative navigation in cranio-maxillofacial surgery. Oral Maxillofac Surg Clin North Am. 2010;22(1):135-56.

APÊNDICE A – Termo de Consentimento Livre e Esclarecido Pós-informação

UNIVERSIDADE DO ESTADO DO RIO DE JANEIRO
Centro Biomédico
Faculdade de Odontologia
Programa de Doutorado em Ortodontia

Rio de Janeiro, _____ de _____ de _____.

Prezado Paciente:

A Faculdade de Odontologia da UERJ, e sob orientação do Doutorado da Faculdade de Odontologia da UERJ, está realizando uma pesquisa intitulada: Avaliação da acurácia do planejamento virtual em cirurgias ortognáticas: Estudo longitudinal.

O objetivo deste estudo é fazer uma avaliação tridimensional da precisão do método de planejamento virtual em predizer às alterações produzidas nos ossos maxilar e mandibular durante o procedimento cirúrgico.

Para isso, serão realizadas duas tomografias computadorizadas de feixe cônico, uma antes do tratamento, para viabilizar o planejamento cirúrgico e outra duas semanas após, para a avaliação das alterações promovidas na maxila e na mandíbula através do procedimento cirúrgico. Nesses mesmos tempos serão realizadas moldagens, com hidrocolóides irreversíveis, das arcadas.

Salientamos que a participação neste estudo é absolutamente voluntária, sendo que a recusa não acarretará em qualquer prejuízo para o tratamento odontológico que o paciente venha a necessitar. As informações contidas neste estudo são sigilosas, ficando sempre preservada a identidade do paciente. Os dados obtidos no trabalho serão utilizados somente em aulas, revistas e eventos científicos, visando colaborar para o tratamento da maloclusão.

Atenciosamente,

Dra. Andressa O.B. Teixeira – Doutoranda–FO/UERJ-Telefone: (22) 9911-2454
Prof. Marco Antonio de Oliveira Almeida - Orientador da Pesquisa
Faculdade de Odontologia – Telefone: (21) 2569-3829

Eu,_____,
certifico que, lendo as informações contidas no termo de consentimento e suficientemente esclarecido(a) sobre todos os itens, autorizo a minha participação no estudo.

Assinatura do Paciente

Assinatura do Pesquisador (Andressa Otranto de Britto Teixeira)

APÊNDICE B – Passo a Passo no Programa Dolphin Imaging® 11.9

1 - Compactação das tomografias no formato DICOM:

Existe, no programa, um comando que permite que a compactação das tomografias seja realizada sem perda de qualidade da imagem. Era mantida a compressão de 30% (*recommended*) e, com isso, os voxels das tomografias, que inicialmente tinham tamanho de 0,3mm, eram redimensionados para 0,4mm. Exportava-se as tomografias compactadas para pastas nomeadas como tomografias reduzidas, no mesmo formato DICOM.

2 - Superposição das tomografias baseada em voxels:

Após a compactação, era realizada a superposição do modelo de T2 para o modelo de T1. No comando *Superimposition*, determinava-se o modelo de T1 como *Base Volume* e o T2 como *2nd Volume*. Com o cursor marcando o hard tissue, manipulava-se até que todos os artefatos fossem removidos da imagem de cada um dos tempos. Marcava-se os mesmos 5 pontos em cada uma das imagens (sutura frontonasal, sutura frontomaxilar direita e esquerda e pontos no soalho da órbita direita e esquerda) e dava-se o comando para superpor. Após essa primeira superposição, uma segunda era realizada, restringindo a área da superposição à área localizada da base do crânio para cima. Após esta etapa, era possível verificar, através da análise dos cortes das tomografias nos diferentes planos, se a superposição das partes cranianas estava perfeitamente encaixada e, consequentemente, se a posição da tomografia pós-operatória, em relação ao crânio, estava igual à da tomografia pré-operatória. Após a verificação, a tomografia pós-cirúrgica era novamente exportada, agora para uma pasta nomeada tomografia pós-cirúrgica Registrada, também no formato DICOM.

3 – Realização da simulação cirúrgica

Abria-se a tomografia pré-cirúrgica compactada e em Tools – Orthognathic Surgical Planning – Start New Workup a simulação cirúrgica era realizada com a seguinte sequência: 1_SetUp- marcava-se um ponto em cada fragmento a ser gerado, 2_Crop- marcava-se a região de cada segmento, 3_Clean-Up- fazia-se a superposição dos modelos de gesso das arcadas, escaneados nos segmentos maxilar e mandibular por best fit, 4_Osteotomy- estabeleciam-se as linhas de osteotomia para cada estrutura a ser operada, 5_Landmark- marcava-se os pontos de referência nas estruturas, 6_Treatment- estabelecia-se como cada fragmento ia ser movimentado nas direções anteroposterior, transversal e vertical, 7_Present- visualizavam-se

os segmentos, com opção de movimentação de cada fragmento para visualização das correções, 8_Splint- visualizava-se a movimentação no nível da oclusão, com geração do *splint* cirúrgico, e exportava-se o mesmo no formato .STL, para posterior confecção física.

4 - Exportação dos arquivos das tomografias e dos segmentos cirúrgicos simulados para o formato .STL

Abria-se a tomografia pós-operatória compactada. Em *Seg* manipulava-se, até ficar apenas tecido duro sem artefatos, criava-se e salvava-se a superfície. Em seguida, exportava-se a superfície em *.STL - binnary recommended* -, escolhia-se a pasta para salvar e nomeava-se o arquivo como Nomedopaciente_Pos – *Save*- Ok.

A janela do pré-operatório ficava aberta, ia em *Photo/Surface* e manipulava-se, até ficar apenas os tecidos duros (como fez na tomografia pós-operatória), criava-se a superfície e salvava. No comando *select display*- com o *soft tissue* marcado, exportava-se a superfície em *.STL binnary recommended* - escolhia a pasta para salvar e nomeava-se o arquivo, como Nomedopaciente_Pré, e salvava.

Exportavam-se também os cinco segmentos cirúrgicos: maxila, mandíbula, mento, ramo direito e ramo esquerdo, em formato .STL. Para isso, marcavam-se os segmentos a serem exportados no Orthognatic Surgical Planning e usavam-se os comandos *export select surfaces- STL binnary recommended,* e salvava dentro da pasta do paciente.

5 – Criação do modelo para transferência das coordenadas (MTC)

O modelo ósseo pré-cirúrgico ou guia ósseo (gerado com o objetivo de criar um sistema de coordenadas, posteriormente, no Geomagic Qualify®, que fosse o mesmo sistema de coordenadas do Dolphin Imaging®) era criado a partir da tomografia pré-operatória, seguindo a sequência: *3D Edit*-. Usando o comando *Volume Sculpting* -, fazia-se o recorte de cada plano: no axial, o recorte era feito na altura das raízes dos dentes da maxila; no sagital, aproximadamente na linha média facial; e no coronal, seccionando o corpo das vértebras cervicais, locais escolhidos devido à facilidade de marcação posterior de pontos para determinação dos planos que seriam utilizados para criação do sistema de coordenadas. Após cada recorte, era dado o comando *Sculpt Out*, e então passava-se para o seguinte, repetindo-se o comando. Após o recorte dos três planos, o guia também era exportado em .STL

APÊNDICE C – Passo a Passo no Programa Geomagic Qualify®

Inicialmente, foram importados os arquivos .STL oriundos do programa Dolphin Imaging® 11.9 - de cada um dos segmentos simulados e do guia ósseo (MTC), além dos arquivos .STL dos esqueletos faciais pré- cirúrgico (PréCir) e pós-cirúrgico (PósCir), gerados no ITK-SNAP® 3.6.

1- Obtenção dos modelos precisos, recortados de maneira consistente e orientados de acordo com a superposição baseada em voxel da base craniana:

A partir deste momento, o modelo 3D do esqueleto facial do momento pré- cirúrgico (PréCir) era replicado 5 vezes. Em seguida, nomeava-se cada um dos modelos repicados com o nome da região anatômica de interesse, seguida do sufixo PréCir (MaxilaPréCir, MandíbulaPréCir, MentoPréCir, RamoDireitoPréCir e RamoEsquerdoPréCir) e excluía-se, de cada um, as estruturas que não correspondiam à nomenclatura. Ao final, tínhamos os 5 modelos pré-cirúrgicos precisos. Neste momento, duplicavam-se estes 5 modelos e cada um deles era superposto aos fragmentos simulados gerados pelo Dolphin Imaging® e renomeados, trocando-se o sufixo PréCir por Simulados, obtendo-se, dessa maneira, os fragmentos precisos do planejamento cirúrgico virtual. Por fim, o modelo 3D do esqueleto facial do momento pós-cirúrgico (PósCir) era replicado 5 vezes. Em seguida, nomeava-se cada um dos modelos repicados com o nome da região anatômica de interesse, seguida do sufixo PósCir, excluindo-se, de cada um, as estruturas que não correspondiam à nomenclatura.

Até o presente passo, já havíamos obtido os modelos precisos de cada uma das 5 regiões anatômicas de interesse (RAI), nos 3 tempos estudados (PréCir, Simulado e PósCir), em suas respectivas posições, de acordo com a superposição da base craniana. Embora os modelos já possuíssem a qualidade de superfície adequada, os limites das RAI ainda não haviam sido consistentemente definidos entre os tempos. Para tal, foram duplicados todo os modelos de PósCir e Simulados, e cada duplicata foi superposta ao modelo correspondente de PréCir (*best-fit*), para que pudessem ser recortados juntos, garantindo que os 3 tempos de cada RAI tivessem exatamente os mesmos limites. Em seguida, os modelos de PósCir e Simulados (já recortados de maneira padronizada) foram superpostos (*best-fit*) de volta aos seus correspondentes não recortados, mas que mantinham suas posições, de acordo com a superposição na base craniana. No final, eram utilizados para comparações os modelos consistentemente recortados, mas orientados de acordo com a superposição baseada em voxel,

previamente realizada nos passos iniciais da sequência metodológica descrita no *software* Dolphin Imaging®.

Para a geração dos modelos maxilares, em específico, era mantida apenas a cortical externa de cada uma delas.

2- Criação do sistema de coordenadas no Geomagic Qualify®, utilizando-se as referências geradas pelo Dolphin Imaging®:

Neste momento, era criado o sistema de coordenadas específico para o caso, tomando como referência o guia ósseo (MTC) que havia sido importado do Dolphin Imaging®. Eram criados 3 planos (através da determinação de 3 pontos para cada), de forma a definir os planos axial, sagital e coronal. Os planos eram correlacionados então aos eixos de referência do sistema de coordenadas (XY - axial / XZ - Coronal / YZ - Sagital). E este sistema de coordenadas recém-criado era definido como o sistema de referência para todas as medidas.

3- Homogeneização das malhas de triângulos dos modelos:

Para deixar cada um dos fragmentos de cada região com o mesmo número de triângulos na malha, utilizava-se o comando *remesh* (homogeniza o tamanho dos triângulos da malha), seguido do comando *decimate,* com o qual é possível arbitrar com quantos triângulos o operador quer que a malha seja composta. Para a padronização do número de triângulos, escolhia-se o valor menor entre os três, após a redefinição da malha.

4 – Determinação dos centroides:

Optou-se, nesta metodologia, pela escolha de apenas um ponto que expressasse a posição espacial da RAI. Como a definição manual de pontos de referência (*landmarks*) em 3D é bastante desafiadora, apresentando, em geral, uma reprodutibilidade não ideal, decidiu-se pela utilização de um ponto que fosse geometricamente determinado, de maneira consistente, entre os modelos de uma mesma RAI.

O ponto centroide foi escolhido, uma vez que as estruturas tridimensionais deste estudo eram expressas por superfícies e não por volumes completamente fechados. O ponto centroide de um triângulo é definido, em geometria, como o encontro de suas três medianas e, por sua vez, o ponto centroide de uma estrutura é definido como a posição espacial média de todos os centroides. Determinava-se, então, o centroide tridimensional de cada estrutura que, devido a não variação expressiva da forma de superfície (pois o período entre planejamento cirúrgico e tomografia pós-cirúrgica era em torno de 15 dias, o qual é muito limitado para que

se possa observar qualquer remodelação das RAI), ao recorte consistente entre os fragmentos e à homogeneização de tamanho e número de triângulos das malhas, se posicionavam exatamente da mesma forma em relação aos modelos que representavam. Sendo assim, a diferença de posicionamento entre eles representou o deslocamento translacional das estruturas nos tempos avaliados.

5 – Quantificação das translações nos três planos do espaço:

Tendo definido o centroide como o ponto representativo da região anatômica de interesse, a quantificação da diferença de posicionamento entre os centroides de cada estrutura nos diferentes tempos pode ser calculada de forma absoluta ou decomposta nos três planos do espaço. Dessa maneira, foi possível rastrear os deslocamentos verticais, anteroposteriores e transversais.

ANEXO – Aprovação do Comitê de Ética em Pesquisa

HOSPITAL UNIVERSITÁRIO
PEDRO ERNESTO/
UNIVERSIDADE DO ESTADO

PARECER CONSUBSTANCIADO DO CEP

DADOS DO PROJETO DE PESQUISA

Título da Pesquisa: Avaliação da acurácia do planejamento virtual em cirurgias ortognáticas
Pesquisador: Andressa Otranto de Britto Teixeira
Área Temática:
Versão: 1
CAAE: 46729315.3.0000.5259
Instituição Proponente: Hospital Universitário Pedro Ernesto/UERJ
Patrocinador Principal: FUND COORD DE APERFEICOAMENTO DE PESSOAL DE NIVEL SUP

DADOS DO PARECER

Número do Parecer: 1.158.061
Data da Relatoria: 08/07/2015

Apresentação do Projeto:
O projeto está bem apresentado

Objetivo da Pesquisa:
Avaliar do planejamento virtual em cirurgia ortognática

Avaliação dos Riscos e Benefícios:
Prezado pesquisador: Caracteriza-se como risco direto para os sujeitos da pesquisa a possibilidade de desconforto ou constrangimento no momento do preenchimento dos questionários. Os pesquisadores devem se comprometer a minimizar os riscos ou desconfortos indiretos que possam vir a ser causados.

Comentários e Considerações sobre a Pesquisa:
O assunto é atual e relevante. Projeto bem estruturado apresentando todas informações necessárias para avaliação ética.

Considerações sobre os Termos de apresentação obrigatória:
Termos de apresentação obrigatória estão de acordo com a legislação pertinente e devidamente assinados pelos responsáveis.

Endereço: Avenida 28 de Setembro 77 - Térreo
Bairro: Vila Isabel **CEP:** 20.551-030
UF: RJ **Município:** RIO DE JANEIRO
Telefone: (21)2868-8253 **Fax:** (21)2264-0853 **E-mail:** cep-hupe@uerj.br

HOSPITAL UNIVERSITÁRIO
PEDRO ERNESTO/
UNIVERSIDADE DO ESTADO

Continuação do Parecer: 1.150.061

Recomendações:

Não há

Conclusões ou Pendências e Lista de Inadequações:

O trabalho pode ser realizado da fora como está apresentado. Diante do exposto e à luz da Resolução CNS nº466/2012, o projeto pode ser enquadrado na categoria – APROVADO.

Situação do Parecer:

Aprovado

Necessita Apreciação da CONEP:

Não

Considerações Finais a critério do CEP:

Tendo em vista a legislação vigente, o CEP recomenda ao Pesquisador: 1. Comunicar toda e qualquer alteração do projeto e termo de consentimento livre e esclarecido. Nestas circunstâncias a inclusão de pacientes deve ser temporariamente interrompida até a resposta do Comitê, após análise das mudanças propostas. 2. Os dados individuais de todas as etapas da pesquisa devem ser mantidos em local seguro por 5 anos para possível auditoria dos órgãos competentes. 3. O Comitê de Ética solicita a V. Sª., que encaminhe relatórios parciais e anuais referentes ao andamento da pesquisa ao término da pesquisa encaminhe a esta comissão um sumário dos resultados do projeto.

RIO DE JANEIRO, 23 de Julho de 2015

Assinado por:
MICHELLE QUARTI MACHADO DA ROSA
(Coordenador)

Endereço: Avenida 28 de Setembro 77 - Térreo
Bairro: Vila Isabel **CEP:** 20.551-030
UF: RJ **Município:** RIO DE JANEIRO
Telefone: (21)2868-8253 **Fax:** (21)2264-0853 **E-mail:** cep-hupe@uerj.br