



UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM
ENGENHARIA MECÂNICA

“DESENVOLVIMENTO DE UM INSTRUMENTO PARA
AVALIAÇÃO DA FORÇA LABIAL E MODELAGEM
COMPUTACIONAL DO MÚSCULO ORBICULAR DA BOCA”

TATIANA VARGAS DE CASTRO PERILO

Belo Horizonte, 06 de Junho de 2012

Tatiana Vargas de Castro Perilo

**“DESENVOLVIMENTO DE UM INSTRUMENTO PARA
AVALIAÇÃO DA FORÇA LABIAL E MODELAGEM
COMPUTACIONAL DO MÚSCULO ORBICULAR DA BOCA”**

Tese apresentada ao Programa de Pós Graduação em Engenharia Mecânica da Universidade Federal de Minas Gerais, como requisito parcial à obtenção do título de Doutor em Engenharia Mecânica.

Área de concentração: Bioengenharia

Orientador: Prof. Estevam Barbosa de Las Casas

Departamento de Engenharia de Estruturas da UFMG

Co-orientadora: Profa. Andréa Rodrigues Motta

Departamento de Fonoaudiologia da UFMG

Belo Horizonte

Escola de Engenharia da UFMG

2012



Universidade Federal de Minas Gerais

Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica

Av. Antônio Carlos, 6627 - Pampulha - 31.270-901 - Belo Horizonte - MG

Tel.: +55 31 3499-5145 - Fax.: +55 31 3443-3783

www.demec.ufmg.br - E-mail: cpgmec@demec.ufmg.br

**“DESENVOLVIMENTO DE UM INSTRUMENTO PARA
AVALIAÇÃO DA FORÇA LABIAL E MODELAGEM
COMPUTACIONAL DO MÚSCULO ORBICULAR DA BOCA”**

TATIANA VARGAS DE CASTRO PERILO

Tese defendida e aprovada em 06 de junho de 2012, pela Banca Examinadora designada pelo Colegiado do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica da Universidade Federal de Minas Gerais, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de "**Doutor em Engenharia Mecânica**", na área de concentração de "**Bioengenharia**".

Prof. Estevam Barbosa de Las Casas - (UFMG) – Orientador

Profa. Andréa Rodrigues Motta - (UFMG) – Co-orientadora

Prof. Carlos Alberto Cimini Junior - (UNICAMP) – Examinador

Prof. Hilton Justino da Silva - (UFPE) – Examinador

Prof. Javier Bayod López - (Universidad de Zaragoza) – Examinador

Prof. Márcio Falcão Santos Barroso - (UFSJ) – Examinador

Aos meus queridos, papai e Fernando, que partiram

cedo, mas continuaram iluminando meus passos...

saudades sempre!

Agradecimentos

Agradeço a Deus pela oportunidade de realizar este grande sonho. Agradeço por ter a benção de ter pessoas mais do que especiais no meu caminho. Obrigada Senhor por estar sempre ao meu lado, por lembrar que ainda sou capaz de continuar mesmo nos momentos mais difíceis.

Agradeço imensamente à minha família; ao Dinei, por estar sempre ao meu lado acreditando e buscando comigo a realização dos meus sonhos; à mamãe, exemplo de pessoa, mulher, esposa, mãe, que sempre acolhe a todos em suas orações; à minha irmã Carla, às minhas tias, tios, primos e todos os familiares que torceram por minha vitória ao longo destes vários anos de estudo.

Quero fazer um agradecimento especial a duas pessoas que estiveram mais do que presentes nesta fase da minha vida, o Estevam e a Andréa. Obrigada Estevam, por estar sempre de braços abertos para acolher minhas dúvidas, angústias e medos em enfrentar caminhos tão inovadores. Saiba que você é uma pessoa da qual tenho muito orgulho de ter tido a oportunidade de conhecer. Andréa, muito obrigada por tudo! Você sabe que é minha maior inspiração. Desde os primeiros semestres da faculdade já queria ser igual a você. Obrigada por me acolher tão bem, tenho uma felicidade imensa em conviver com você, Lucas e Carlos, mais do que minha eterna orientadora você é uma grande amiga.

Obrigada ao professor Márcio Barroso, que participou da idealização e construção de grande parte deste trabalho.

Obrigada aos colegas do Grupo de Engenharia Biomecânica, em especial a Amanda, Renata e Agnes, que compartilharam comigo alegrias, tristezas, descobertas e desafios. Agradecimento especial também ao Cláudio, que me acolheu com toda a atenção do mundo no CETEC, ajudando na resolução dos vários problemas que apareceram.

Obrigada aos amigos e professores da Universidad de Zaragoza, que compartilharam comigo conhecimentos tão novos. Em especial ao professor Javier Bayod e família, que me ajudaram muito no período em que estive longe de casa, me acolhendo com muito carinho.

Meus sinceros agradecimentos aos professores membros da banca, pela atenção e disponibilidade na leitura deste trabalho.

Agradeço à Clínica de Imagem ECOAR, que se prontificou a realizar os exames de ressonância magnética utilizados neste estudo, em uma parceria com a UFMG.

Agradeço às agências de fomento, CNPq, CAPES e FAPEMIG pelo auxílio financeiro na realização deste grande trabalho.

Muito obrigada!

Sumário

Lista de Figuras	8
Lista de Tabelas	11
Lista de Abreviaturas e Siglas	12
Resumo	14
1. Introdução	15
1.1 Objetivos	16
1.2 Descrição da Tese	16
2. Anatomia e Fisiologia do Músculo Orbicular da Boca	18
3. Estado da Arte	23
3.1 Instrumentos para Avaliação da Força Labial	23
3.2 Modelos Computacionais de Estruturas Orofaciais	31
4. Instrumento para Avaliação da Força Labial - FORLAB	34
4.1 Sistema Mecânico	34
4.1.1 Mordedor	35
4.1.2 Peça Base	36
4.1.3 Peça Guia	38
4.1.4 Peça Aplicadora	38
4.2 Sistema Eletrônico	42
4.3 Calibração	45
5. Testes Experimentais Utilizando o FORLAB	48
5.1 Descrição Metodológica dos Testes Experimentais	48
5.1.1 Análise Estatística dos Resultados	50
5.2 Resultados dos Testes Experimentais	51
6. Modelo Computacional do Músculo Orbicular da Boca	61
6.1 Construção do Modelo Geométrico	61
7. Análise Crítica dos Resultados	66
8. Conclusões e Trabalhos Futuros	72
8.1 Conclusões	72
8.2 Sugestões de Trabalhos Futuros	72
Abstract	74

Referências Bibliográficas _____	75
Apêndice 1 _____	81
Apêndice 2 _____	85
Anexo 1 _____	86
Anexo 2 _____	87

Lista de Figuras

Figura 1 – Músculos da face, com destaque para o músculo orbicular da boca _____	18
Figura 2 – Anatomia do músculo orbicular da boca _____	19
Figura 3 – Características histológicas do músculo orbicular da boca _____	20
Figura 4 – Frênulo labial superior e inferior _____	21
Figura 5 – Visão intra oral do músculo orbicular da boca _____	21
Figura 6 – Corte sagital da cabeça evidenciando a relação entre o músculo labial, língua e dentes	22
Figura 7 – Organograma do delineamento metodológico da construção do FORLAB _____	34
Figura 8 – Visão superior do aparelho para avaliação da força labial, sendo (a) o protótipo fabricado e (b) o desenho idealizado para fabricação _____	35
Figura 9 – Etapas do processo de fabricação do mordedor. (a) Peça base utilizada para apoio da massa, (b) peça base mais massa para molde, (c) mordedor pronto apoiado na peça base _____	36
Figura 10 – Peça base _____	37
Figura 11 – Peça guia _____	38
Figura 12 – Peça aplicadora _____	39
Figura 13 – Conjunto mecânico na posição de montagem (a) e montado (b) _____	39
Figura 14 – Conjunto mecânico do FORLAB montado _____	40
Figura 15 – Exemplos de pacientes indicados para utilizar o FORLAB _____	40
Figura 16 – Sistema mecânico do FORLAB montado _____	41
Figura 17 – Componentes que integram o sistema mecânico do FORLAB _____	41
Figura 18 – FlexiForce Sensor Model A201 _____	42
Figura 19 – Sistema de condicionamento do sinal _____	43
Figura 20 – Tela de interface com o usuário do FORLAB _____	43
Figura 21 – Correspondência entre o canal e a parte do lábio a ser avaliada _____	44
Figura 22 – Posicionamento dos canais no sistema mecânico do FORLAB _____	44

Figura 23 – Equipamento montado, sendo (a) sistema mecânico acoplado aos sensores e (b) material utilizado para confecção do mordedor _____	45
Figura 24 – Etapas da calibração, (a) conferência do nivelamento, (b) posicionamento do sensor, (c) apoio do padrão _____	45
Figura 25 – Ajuste polinomial das curvas obtidas na calibração para cada canal _____	46
Figura 26 – Encaixe do instrumento na cavidade oral _____	49
Figura 27 – Foto ilustrativa do momento da avaliação da força labial _____	49
Figura 28 – Análise do gráfico de força labial x tempo de medição _____	50
Figura 29 – Distribuição dos valores médios de força obtidos na amostra _____	52
Figura 30 – Comportamento da força labial total na primeira medição para os participantes 1 a 20	54
Figura 31 – Comportamento da força labial total na primeira medição para os participantes 21 a 40 _____	54
Figura 32 – Comportamento da força labial total na segunda medição para os participantes 1 a 20	54
Figura 33 – Comportamento da força labial total na segunda medição para os participantes 21 a 40 _____	55
Figura 34 – Comportamento da força labial total na terceira medição para os participantes 1 a 20	55
Figura 35 – Comportamento da força labial total na terceira medição para os participantes 21 a 40	55
Figura 36 – Comportamento médio da força labial total nas três medições _____	56
Figura 37 – Q-Q plot da força labial total _____	57
Figura 38 – Comportamento médio da força labial total nas três medições _____	57
Figura 39 – Comportamento médio da força do lábio superior nas três medições _____	58
Figura 40 – Q-Q plot da força do lábio superior _____	58
Figura 41 – Comportamento médio da força do lábio superior nas três medições _____	59
Figura 42 – Q-Q plot da força do lábio superior _____	59
Figura 43 – Análise do gráfico de força labial x tempo de medição _____	61
Figura 44 – Imagens ilustrativas de ressonância magnética obtidas em T1 e T2 (Hornak, 1996) _	62
Figura 45 – Protocolo utilizado para obtenção das imagens de ressonância magnética do músculo orbicular da boca _____	63

Figura 46 – Modelo geométrico do músculo orbicular da boca _____	63
Figura 47 – Modelo geométrico do músculo orbicular da boca _____	64
Figura 48 – Medidas obtidas no modelo geométrico (superior) e medidas antropométricas do músculo orbicular da boca obtidas in vivo (inferior) _____	64
Figura 49 – Medidas obtidas no modelo geométrico (superior) e medidas antropométricas do músculo orbicular da boca obtidas in vivo (inferior) _____	65
Figura 50 (Apêndice 1) – Áreas cervical (C) e incisal (I), face vestibular (V) e lingual (L) do dente _____	84
Figura 51 (Apêndice 1) – Classificação oclusal _____	84
Figura 52 (Apêndice 1) – Tipos de dentes _____	84

Lista de Tabelas

Tabela 1 – Valores médios obtidos para a força labial total, força do lábio superior e inferior nas três medições _____	53
Tabela 2 – Medidas de tendência central e variabilidade para a força labial total, força do lábio superior e inferior _____	56
Tabela 3 – Medidas antropométricas e da imagem de ressonância magnética do lábio _____	65
Tabela (Apêndice 2) – Valores médios da força labial obtidos em cada canal nas três medições _	85

Lista de Abreviaturas e Siglas

AmpOp	amplificador operacional
ANOVA	análise de variância
CAPES	Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível de Ensino Superior
CETEC	Centro Tecnológico de Minas Gerais
CNPq	Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico
CVP	coeficiente de variação de Pearson
desvpad	desvio padrão
f	frequência
FAPEMIG	Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais
FIG	figura
g	grama (unidade de medida de massa)
gf/mm ²	grama-força por milímetro quadrado (unidade de medida de pressão)
Hz	Hertz (unidade de medida de frequência)
\bar{I}	variante de tensão
INMETRO	Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia
interp	interpolação
ISO	<i>International Organization for Standardization</i>
L	leitura no instrument
LI	lábio inferior
LS	lábio superior
MATLAB	<i>MATrix LABoratory</i>
mm	milímetro (unidade de medida de comprimento)
MPa	megapascal (unidade de medida de pressão)
N	newton (unidade de medida de força)
N/m ²	newton por metro quadrado (unidade de medida de pressão)
∅	diâmetro
PIC ®	<i>Peripheral Interface Controler</i>
RAM	Memória de Acesso Aleatório (do ingles <i>Random Access Memory</i>)
repet	repetibilidade
resol	resolução
s	segundo (unidade de medida de tempo)
t	tempo

T1	tempo 1
T2	tempo 2
TAB	tabela
u	incerteza
U	incerteza expandida
UFMG	Universidade Federal de Minas Gerais
USB	Universal Serial Bus
V	volts (unidade de medida de tensão elétrica)
Ω	ohm (unidade de medida de resistência elétrica)
Ψ	densidade
σ_0	tensão inicial
$\bar{\lambda}$	alongamento

Resumo

O músculo orbicular da boca, que constitui os lábios humanos, participa ativamente de funções importantes como a sucção, mastigação, deglutição, fala, respiração e mímica facial. O objetivo geral deste estudo foi desenvolver um instrumento para medição da força dos lábios e como objetivos específicos analisar as características do instrumento bem como da força labial e o desenvolvimento de um modelo computacional do músculo orbicular da boca. Para construção do instrumento foi projetado e confeccionado, em prototipagem rápida, o sistema mecânico, composto por quatro peças posicionadas intraoralmente. Para construção do sistema eletrônico foram utilizados quatro sensores do tipo *FlexiForce*. Foi elaborado o sistema de conversão, amplificação e transmissão do sinal, sendo a aquisição dos dados feita por intermédio de um microcontrolador do tipo PIC®, com interface USB, sendo o armazenamento dos sinais feito em um microcomputador. Após calibração do instrumento foram avaliadas 40 mulheres, com idades entre 20 e 33 anos, média de 24,3, que apresentavam postural habitual de lábios fechados. Foram realizadas três medições consecutivas da força labial máxima, com tempo de contração de sete segundos e intervalo de um minuto entre os testes. Os dados obtidos foram analisados no programa estatístico R, versão 2.11, considerando nível de significância de 5%. Para construção do modelo computacional foram utilizadas imagens de ressonância magnética do músculo orbicular da boca de um indivíduo saudável, do sexo feminino, de 27 anos de idade. O programa Mimics™ foi utilizado para construção do modelo geométrico, sendo o mesmo validado mediante comparação com medidas antropométricas realizadas *in vivo*. Foram encontrados valores médios da força labial total entre 3,45 a 29,96 N, com média de 13,27 N e valores superiores para a força do lábio superior (7,33 N), quando comparada ao lábio inferior (5,94 N). Obteve-se semelhança estatística nos valores obtidos nas três medições da força labial realizadas consecutivamente no mesmo participante.

Descritores: Biomecânica, Instrumentação, Fonoaudiologia, Avaliação, Força muscular, Lábio, Simulação por computador.

1. Introdução

A Fonoaudiologia é uma ciência que a cada dia ganha reconhecimento e espaço. A atuação em Motricidade Orofacial¹, uma das grandes áreas de conhecimento da Fonoaudiologia, possibilita a recuperação de bebês que ainda não sabem se alimentar, de crianças e adultos que respiram, falam ou mastigam mal, e ainda de idosos que passam a ter dificuldades nas funções mais simples do dia a dia.

Uma série de questionamentos é compartilhada entre os profissionais que trabalham no processo de reabilitação das funções orofaciais, como a sucção, mastigação, deglutição, fala e respiração. Será que o paciente obteve ganho de força no treinamento muscular indicado? Será que é possível quantificar a avaliação realizada? Mas a principal delas talvez seja: como prescrever um tratamento eficiente e rápido? Estas perguntas direcionaram a busca de respostas dentro da Bioengenharia.

A Bioengenharia se propõe, em um trabalho transdisciplinar, aplicar conhecimentos e conceitos das engenharias na resolução de problemas e busca de descobertas na área da saúde (Öskaya e Leger, 2001). Trabalhar em Bioengenharia é trabalhar em equipe, é estar aberto à aquisição de novos conhecimentos e à troca de informações. Portanto, trata-se de um desafio constante, mas recompensador para qualquer pesquisador.

Uma das estruturas alvo do trabalho em Motricidade Orofacial é o músculo orbicular da boca, que constitui os lábios humanos. Este músculo participa ativamente de funções importantes como a sucção, responsável pela nutrição do bebê nos primeiros meses de vida; a fala, onde é responsável pela articulação de diversos sons; a respiração, direcionando o ar à cavidade nasal; movimentos da expressão facial, como o sorriso e o beijo; além de ter ação direta no controle e manutenção do bolo alimentar durante a mastigação e deglutição (Zemlin, 2005). É um dos poucos músculos do nosso organismo a apresentar um sistema de contração diferenciado, não possuindo pontos de origem ou inserção em estruturas ósseas. Tem forma circular e funciona como um esfíncter, mantendo o alimento e a saliva dentro da cavidade oral (Nordin e Frankel, 2001).

A proposta deste trabalho vai além do uso ou análise de instrumentos que o mercado disponibiliza. Pretende-se elaborar um aparelho que possa ser utilizado clinicamente na avaliação quantitativa de pacientes com dificuldades nas diversas funções que os lábios participam. E como pré requisito para o desenvolvimento de um instrumento que siga normas de biossegurança, que seja confortável, que não apresente riscos aos pacientes, é preciso conhecer detalhadamente as características da estrutura a ser avaliada, ou seja, conhecer as características anatômicas, do direcionamento das fibras, do sentido de contração e do comportamento desta musculatura em

*As palavras ou expressões seguidas por números sobrescritos apresentam sua definição no glossário (Apêndice 1)

diferentes situações. Portanto, com o intuito de possibilitar o aprofundamento do estudo das características do músculo orbicular da boca será desenvolvido também um modelo geométrico para caracterização desta estrutura, por meio de ferramentas disponíveis na Biomecânica Computacional. A partir de imagens médicas, como a ressonância magnética, e da geração de modelos geométricos correspondentes, torna-se possível a criação de modelos computacionais que podem ser utilizados para uma simulação mecânica da anatomia e fisiologia de determinado órgão ou tecido.

Desta maneira, utilizando as ferramentas da Biomecânica Computacional e da Biomecânica Experimental, este estudo tem como foco o estudo da musculatura labial – músculo orbicular da boca. Esta musculatura é fundamental em diversas funções importantes, alimentares e comunicativas, que são alvo do estudo e reabilitação fonoaudiológica. Na prática clínica e mesmo na literatura não foram encontrados estudos que apresentassem instrumentos semelhantes ao proposto neste trabalho. Portanto, trata-se de uma proposta inovadora, cujo impacto em longo prazo é a disponibilização no mercado de um aparelho que possibilite a quantificação das avaliações realizadas na prática fonoaudiológica clínica.

1.1 Objetivos

O objetivo principal deste estudo foi desenvolver um instrumento para medição da força dos lábios.

Os objetivos específicos foram:

- Apresentar as etapas de planejamento e construção de um instrumento para medição da força labial, evidenciando vantagens e desvantagens;
- Descrever as etapas de calibração do instrumento;
- Medir a força labial de um grupo de indivíduos saudáveis;
- Analisar o comportamento da força labial em diferentes medições consecutivas;
- Apresentar as etapas de elaboração de um modelo geométrico computacional que possibilite posterior estudo do comportamento mecânico do músculo orbicular da boca.

1.2 Descrição da Tese

Este trabalho está organizado em oito capítulos. O capítulo 1 apresenta os caminhos trilhados para idealização deste estudo, bem como introduz o tema, abordando a relevância e

justificativa do estudo. São apresentados também os objetivos, bem como a descrição da organização deste documento.

No capítulo 2 abordam-se as características anatômicas do músculo orbicular da boca e sua fisiologia aplicada às funções do lábio. Estas informações serão utilizadas ao longo de todas as etapas do estudo.

No capítulo 3 encontra-se, compilado e organizado de maneira cronológica, o referencial teórico utilizado para embasar o desenvolvimento do trabalho. O capítulo foi dividido em dois temas: instrumentos para medição da força labial e modelos computacionais de estruturas orofaciais. O item que busca referências científicas sobre a utilização de modelos computacionais apresenta trabalhos que abrangem a aplicação desta ferramenta no estudo de estruturas orofaciais e não somente do músculo orbicular da boca, uma vez que, quando restrita à modelagem dos lábios, a literatura mostrou-se escassa.

No capítulo 4 é apresentado o instrumento para avaliação da força labial de maneira detalhada. São demonstradas as etapas de planejamento e construção de cada componente que integra o sistema, finalizando na montagem completa do aparelho. Ainda neste capítulo é descrito o processo de calibração do instrumento, apresentando as incertezas do processo de medição.

O capítulo 5 descreve as medições realizadas com o aparelho. Para verificar a aplicabilidade do instrumento foram realizados testes experimentais em sujeitos saudáveis mediante aprovação do comitê de ética e pesquisa da Universidade Federal de Minas Gerais. Os requisitos para recrutamento e seleção da amostra são descritos, bem como as etapas de realização das medições. Este capítulo apresenta ainda os resultados obtidos nos testes para avaliação da força labial, analisados por meio de estatística apropriada.

O capítulo 6 apresenta as etapas para elaboração do modelo geométrico tridimensional do músculo orbicular da boca, realizada por meio da análise de imagens de ressonância magnética da região orofacial e posterior construção de um modelo de elementos finitos. Dados preliminares de simulações computacionais da contração dos lábios são apresentados utilizando um modelo matemático desenvolvido em conjunto com pesquisadores da Universidade de Zaragoza – Espanha.

No capítulo 7 os resultados obtidos são comparados com o referencial teórico e analisados de maneira crítica.

O capítulo 8 apresenta as principais conclusões e sugestões para próximas pesquisas.

2. Anatomia e Fisiologia do Músculo Orbicular da Boca

Responsável pela forma e função exercida pelos lábios humanos, o músculo orbicular da boca é constituído por fibras musculares orientadas de forma circular, cuja contração leva ao fechamento dos lábios e consequente imposição de força sobre os elementos dentários anteriores (Zemlin, 2005).

Faz parte do conjunto de músculos faciais (FIG.1) e carrega consigo características próprias deste grupo, como alta especificidade e precisão nos movimentos (Nordin e Frankel, 2001).

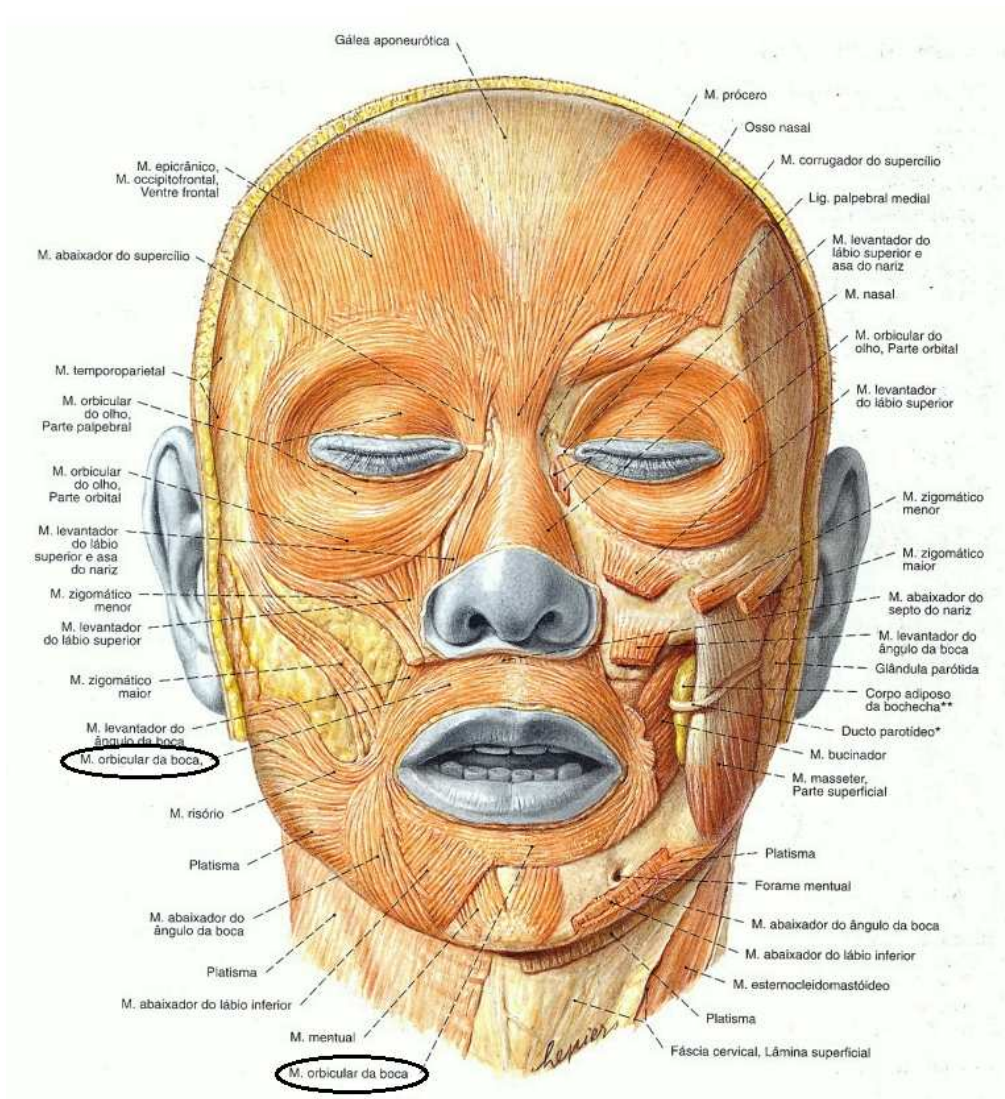


Figura 1 – Músculos da face, com destaque para o músculo orbicular da boca

Fonte: Atlas de Anatomia Humana Sobotta (Putz e Pabst, 2000)

Mesmo que possa parecer simples, o músculo orbicular da boca apresenta estrutura complexa. É formado por várias camadas que se ligam, por meio de um fino sistema músculo superficial, à derme² dos lábios superior e inferior, e servem como lugar de fixação para vários outros músculos que circulam a região oral. Diferente da maioria dos outros músculos faciais é proveniente não apenas de um, mas de dois arcos branquiais³, sendo que a lâmina mandibular⁴ forma o lábio inferior e a lâmina infra orbital⁵ o lábio superior (Rogers et al., 2009).

A anatomia exata deste músculo é pouco conhecida quando comparada a outros músculos, consistindo de fibras musculares superiores e inferiores. Estas, por sua vez, apresentam dois diferentes tipos de segmentos: periféricos e marginais (FIG.2). Os segmentos periféricos, superior e inferior, correspondem às fibras que se localizam mais distantes da abertura da boca e os segmentos marginais referem-se às fibras localizadas mais próximas da abertura (Bentsianov e Blitzer, 2004). As fibras dos segmentos marginais formam o chamado “vermelhão dos lábios” (Rogers et al., 2009)

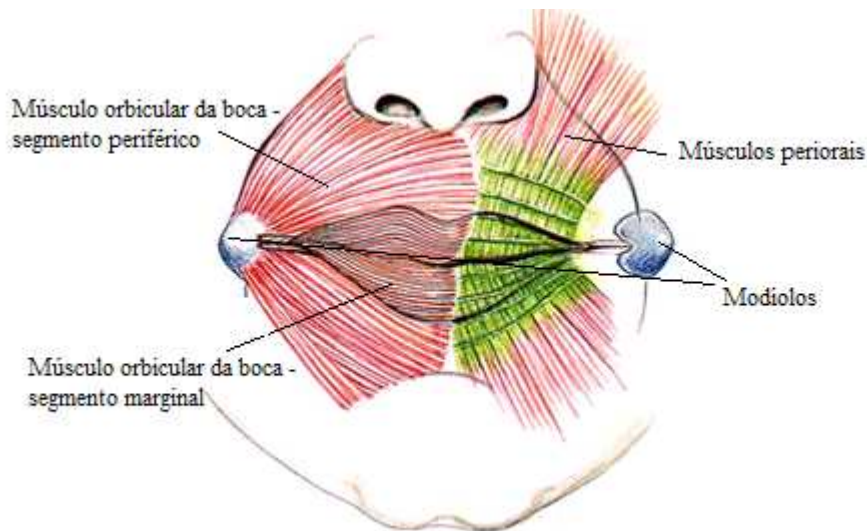
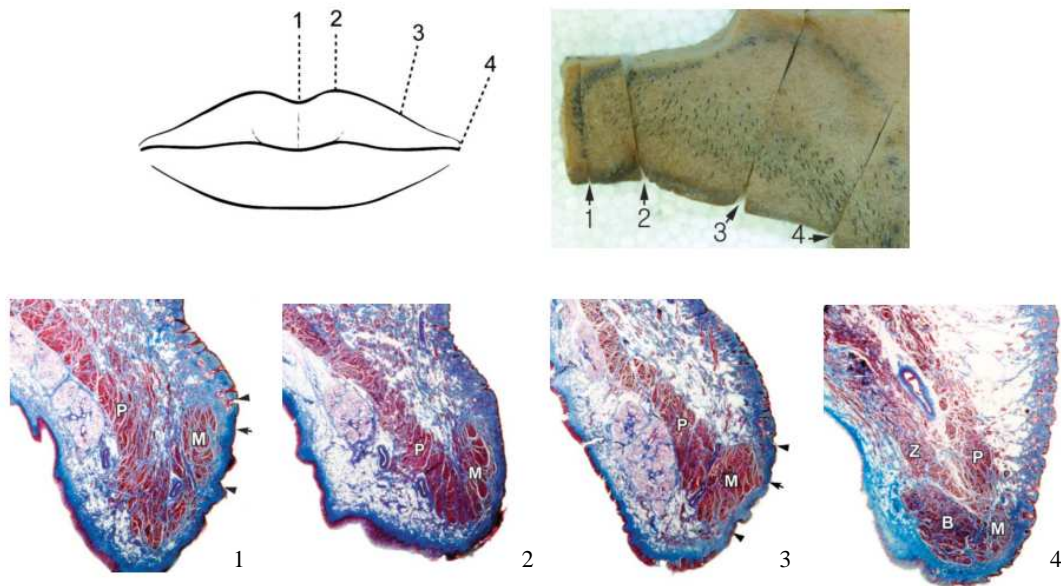


Figura 2 – Anatomia do músculo orbicular da boca

Fonte: Bentsianov e Blitzer (2004)

Estudos histológicos⁶ sobre as características do músculo orbicular da boca mostram que os segmentos periféricos são bandas de fibras horizontais, oblíquas e longitudinais, enquanto os segmentos das partes marginais contêm apenas fibras horizontais (Delaire e Precious, 1986; Mooney et al., 1988; Hwang et al.; 2007) (FIG.3).



Legenda: P – segmento periférico, M – segmento marginal; B – Bucinador; Z – zigomático maior

Figura 3 – Características histológicas do músculo orbicular da boca

Fonte: Hwang e colaboradores (2007)

As características do direcionamento das fibras de cada seguimento justificam os diferentes movimentos que o lábio é capaz de realizar. A contração das fibras periféricas, associada ao movimento dos músculos antagonistas (elevadores do lábio superior), promove elevação labial (exposição dos dentes), ação envolvida tanto na expressão facial quanto na fala. As fibras dos pares marginais agem principalmente pressionando o lábio contra as arcadas dentárias⁷, o que possibilita aos lábios envolver as bordas incisais⁸ e oclusais⁹ dos dentes. Adicionalmente, a ação das fibras dos pares marginais está diretamente envolvida na fala humana, delicadamente movendo o lábio superior na produção de sons labiais, como /f/ e /v/ (Bentsianov e Blitzer, 2004). De maneira geral, a contração das fibras de ambos os seguimentos, marginal e periférico, produzem mudanças na forma dos lábios e no tamanho da abertura da cavidade oral.

A parte dos lábios correspondente aos seguimentos periféricos é maior e serve como local de inserção dos músculos periorais¹⁰ (FIG.2). Algumas fibras do músculo orbicular da boca superior cruzam-se no plano médio apresentando uma única estrutura conhecida como filtro, à medida que passam em suas inserções na derme (Latham e Deaton, 1976). Lateralmente, os seguimentos marginais e labiais unem-se nos modíolos¹¹ (Latham e Deaton, 1976; Putz e Pabst, 2000).

Entre o músculo orbicular da boca e os dentes encontra-se um espaço denominado vestíbulo oral. Nesta região está presente uma prega de tecido mucoso, superior e inferiormente (FIG.4), denominada frênulo labial (Putz e Pabst, 2000). Alterações no frênulo labial podem levar à

problemas dentários. Neste estudo, a caracterização do vestíbulo oral é importante uma vez que se trata do local de posicionamento do instrumento para medição e reabilitação da força labial.

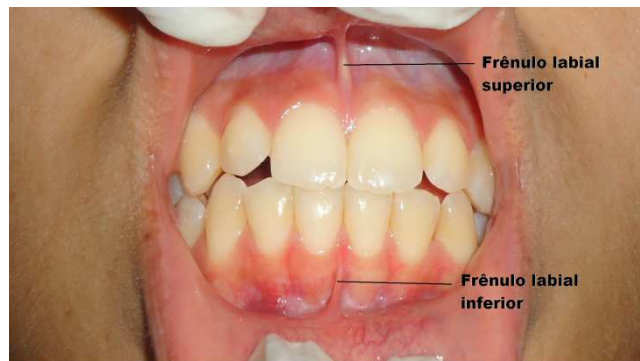


Figura 4 – Frênulo labial superior e inferior

Alterações na musculatura labial levam ao desencadeamento de importantes problemas funcionais. Dentre estes podem ser citadas distorções na produção da fala, caracterizadas principalmente pela imprecisão dos sons que requerem a contração do músculo orbicular da boca. Podem ser descritas ainda alterações nas funções alimentares, como a mastigação e deglutição, onde o não fechamento dos lábios leva à dificuldade na contenção do alimento dentro da cavidade oral e na geração de uma pressão negativa intra oral, indispensável para a correta propulsão do alimento (Garreto, 2005).

Outra importante função da estrutura labial é a pressão exercida sobre os dentes, tanto na arcada dentária⁷ superior quanto na inferior. Seu posicionamento anterior às arcadas dentárias tem o papel fundamental de opor resistência à pressão exercida pela língua (Felicio e Trawitzki, 2009). A FIG.5 apresenta uma visão intra oral do músculo orbicular da boca.

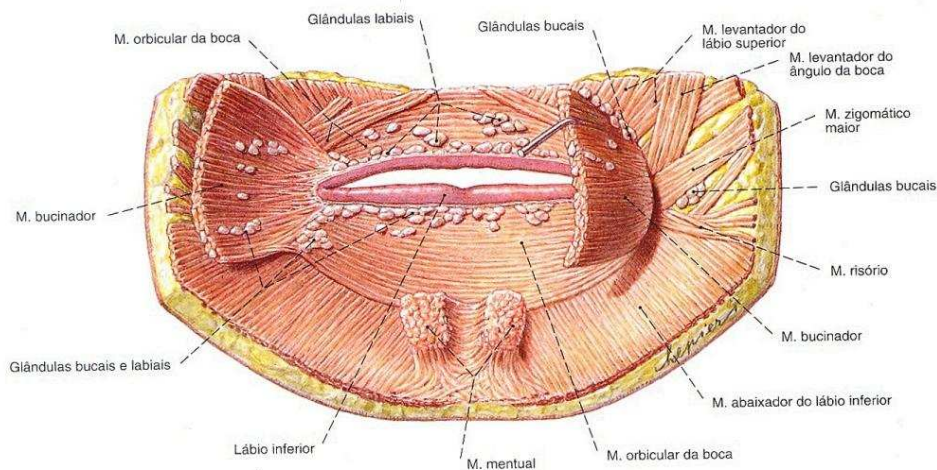


Figura 5 – Visão intra oral do músculo orbicular da boca

Fonte: Atlas de Anatomia Humana Sobotta (Putz e Pabst, 2000)

Os músculos linguais agem de forma a empurrar os dentes para a direção extra oral enquanto os lábios, quando cerrados, apresentam resistência a esta força, sendo que sua contração age pressionando os dentes para a direção intra oral. Este equilíbrio de forças permite que os elementos dentários cresçam e permaneçam posicionados de forma correta na cavidade oral (Garreto, 2005). A FIG.6 mostra a estreita correlação existente entre o músculo labial, a língua e os elementos dentários anteriores.

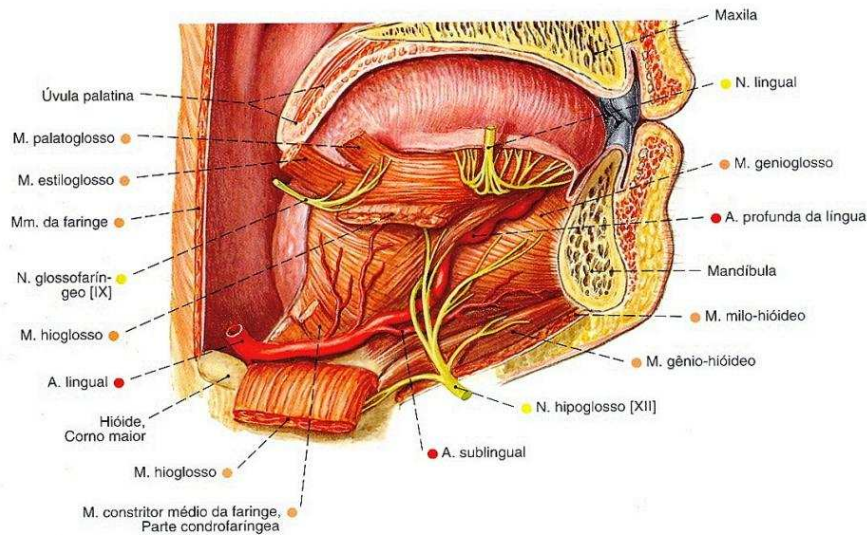


Figura 6 – Corte sagital da cabeça evidenciando a relação entre o músculo labial, língua e dentes

Fonte: Atlas de Anatomia Humana Sobotta (Putz e Pabst, 2000)

Conhecer a anatomia e fisiologia do músculo orbicular da boca foi o primeiro passo para a elaboração de todas as demais etapas deste estudo. O próximo capítulo abordará os principais trabalhos referentes a instrumentos para avaliação da força labial, e pesquisas que buscaram utilizar a Biomecânica Computacional no estudo de estruturas orofaciais.

3. Estado da Arte

O levantamento do referencial teórico foi realizado definindo previamente dois temas: instrumentos para avaliação da força labial e modelos computacionais de estruturas orofaciais. O item que descreve trabalhos anteriores sobre a utilização de modelos computacionais apresenta pesquisas que abrangem a aplicação desta ferramenta no estudo de estruturas orofaciais e não somente do músculo orbicular da boca, uma vez que, caso se restringisse a busca ao tema específico, não existiriam muitos trabalhos a serem considerados. As pesquisas descritas estão organizadas de maneira cronológica.

3.1 *Instrumentos para Avaliação da Força Labial*

No início da década de 70 foram publicados os primeiros trabalhos que demonstraram a preocupação dos profissionais na avaliação e reabilitação das estruturas e funções do sistema sensorio motor oral¹², discutindo a necessidade da realização de intervenções mais rápidas e eficientes, e principalmente reduzindo casos de recidivas¹³. Um destes primeiros estudos, desenvolvido por Garliner (1971), teve como objetivo a descrição de um instrumento elaborado especialmente para avaliar de maneira objetiva a força dos lábios humanos. O autor descreve a utilização de um dinamômetro no qual foi adaptado um botão, utilizado em roupas, fixo a um fio. O avaliador tracionava o dinamômetro, de modo a tracionar também o botão, que por sua vez encontrava-se posicionado entre os lábios e os dentes. O trabalho não descreveu os valores de força encontrados, mas apenas a técnica utilizada. Na discussão do artigo o próprio autor ressalta que, apesar do método fornecer valores quantitativos para a força dos lábios, não deixa de apresentar um componente subjetivo, uma vez que a tração do aparelho era realizada pelo próprio avaliador. É discutido ainda que a medição realizada poderia sofrer interferência de avaliador para avaliador e pelo posicionamento em que se encontrava o paciente.

Também com a proposta de descrever uma metodologia para avaliar quantitativamente a força do músculo orbicular da boca, Posen (1976) apresentou o desenvolvimento de um dispositivo constituído por uma haste rígida e um pequeno inserto de forma circular que foi encaixado entre os dentes e os lábios dos participantes. Como no primeiro estudo descrito, este autor fez uso de um dinamômetro. Os pacientes foram orientados a posicionar os lábios envolvendo o inserto e tracionar o mesmo, realizando movimento de tração cervical, ou seja, deslocando a cabeça contra o conjunto,

com a maior força que fossem capazes de realizar. Uma das inovações deste estudo é a correlação apresentado pelo autor entre os valores de força medidos e a classificação categórica da força labial. O autor avaliou 170 mulheres e 166 homens, na faixa etária de 8 a 18 anos com oclusão normal, e categorizou as medidas realizadas do seguinte modo: indivíduos que obtiveram valores entre 160 a 175 gf (~1,57 a 1,72 N) deveriam ser classificados como sujeitos com hipotonicidade¹⁴ de lábios, indivíduos que se encaixavam no grupo de 180 a 195 gf (~1,77 a 1,91 N) deveriam ser classificados como tendo leve hipotonicidade labial, indivíduos com pontuação entre 200 e 215 gf (~1,96 a 2,11 N) apresentariam tônus médio, sujeitos entre 220 e 235 gf (~2,16 a 2,30 N) eram indivíduos com leve hipertonicidade de lábios, e aqueles indivíduos cujos valores obtidos estivessem entre 240 a 260 gf (~2,35 a 2,55 N) deveriam ser classificados como apresentando hipertonicidade dos lábios.

Seguindo os passos de Posen (1976), Ingervall e Janson (1981) mediram a força dos lábios por meio de um dinamômetro em 50 crianças, com idades entre 7 e 13 anos, que acabavam de iniciar tratamento ortodôntico. Estes autores tiveram como objetivo correlacionar a força labial medida por meio do dinamômetro com a atividade eletromiográfica do músculo labial, e comparar estas avaliações entre crianças com diferentes tipos faciais¹⁵ e classificações oclusais¹⁶. Foram realizadas cinco medições para cada sujeito, possibilitando a avaliação da reprodutibilidade das medidas. Não foram encontradas correlações entre a força labial e a atividade eletromiográfica dos lábios, e a reprodutibilidade das avaliações foi descrita como limitada. Os valores de força labial variaram de 70 a 400 gf (~0,69 a 3,92 N) com média de 204 gf (~2,00 N). Também não se encontrou correlação entre as variáveis cefalométricas dentoalveolares¹⁷, incluindo a inclinação dos incisivos¹⁸, com os valores de força, bem com as características faciais dos sujeitos. Os autores concluíram que a ausência de correlação entre a força labial e as características morfológicas dos lábios, encontrada neste estudo, pode ser justificada pela dificuldade em avaliar de maneira quantitativa a força labial, ou mesmo porque pode haver pequena influência da musculatura labial sobre a dentição.

A partir da década de 90 observa-se o início da publicação de estudos que, além da avaliação isolada da força dos lábios, tinham como objetivo verificar a pressão que esta estrutura exerce sobre os elementos dentários na execução de diversas funções. Um trabalho cujo objetivo principal foi descrever os resultados de um treinamento para reabilitação da musculatura labial, discute também o efeito da pressão exercida pelos lábios sobre os dentes (Thüer e Ingerval, 1990). Os autores relataram a utilização de um dinamômetro para medição da força dos lábios e a descrição de um novo sistema para medição da pressão que os lábios exerciam sobre os dentes superiores e inferiores. Poucos detalhes foram descritos referente ao sistema de medição, porém este foi relatado como sendo constituído basicamente por um transdutor de pressão extraoral, incorporado a um sistema “*water-filled*” ligado a um ponto de medição intraoral. Foram realizadas medições antes do

início, durante e após o término do período de tratamento muscular proposto. Os autores avaliaram ainda a pressão dos lábios sobre os dentes nas funções de mastigação, deglutição e no repouso. Não foram apresentados os valores de força e pressão obtidos no estudo.

Unemori e colaboradores (1996) utilizaram um dispositivo colocado entre o lábio superior e o inferior, avaliando assim a força de selamento labial¹⁹. Os autores avaliaram as características de distribuição da pressão no selamento labial de dois indivíduos, no momento prévio e um ano após a realização de cirurgia ortognática²⁰. O dispositivo utilizado foi uma placa com sensores de pressão do tipo PDS (*pressure-distribution sensor*). Por meio de imagens geradas, foi possível visualizar as áreas de maior ou menor pressão de selamento, cujos valores médios variaram de 1,0 a 2,2 gf/mm² (~9,8 a 21,6 N/m²). O estudo mostrou que o método foi eficaz para ser utilizado no acompanhamento de indivíduos no pré e pós atendimento de cirurgia ortognática e terapia miofuncional orofacial²¹.

Seguindo a linha dos estudos que descrevem metodologias para avaliar a força exercida pelos lábios sobre os dentes e a correlação com as avaliações clínicas, Gentil e Tournier (1998) desenvolveram um estudo no qual foram realizadas avaliações da postura de repouso dos lábios, bem como durante a produção da fala, em uma amostra composta por 14 indivíduos. Para realização das medições foram utilizados sensores de força acoplados aos dentes e realizada a leitura dos sinais obtidos em um computador. Foram quantificados e descritos aspectos do controle dinâmico da força, tais como tempo de reação ao estímulo, pontos principais do pico de força e mudança da força ao longo do período de medição. Observou-se diferença entre as medições do lábio superior e inferior, tendo o lábio inferior mostrado maior estabilidade e pressão sobre os dentes.

Em um trabalho de McHenry e colaboradores (1999), cujo objetivo foi verificar se o avanço da idade poderia interferir de maneira significativa na geração das forças orais, foram avaliadas 40 mulheres, com idades entre 20 e 100 anos. Na metodologia deste estudo foram utilizados sensores de força acoplados aos dentes incisivos¹⁸, nas arcadas dentárias⁷ superior e inferior. O tempo de contração solicitado para cada avaliação foi de cinco segundos. Foram realizadas medições durante funções orais²² e avaliada a força máxima voluntária de contração da musculatura labial. Os resultados encontrados foram separados em subgrupos organizados por diferentes faixas etárias. Os valores médios de contração máxima do lábio superior foram da ordem de 5,8 N para as mulheres de 20 a 60 anos, e de 4,0 N para as mulheres que compunham o subgrupo de 80 a 100 anos. Para o lábio inferior, esses valores variaram entre 11,0 N para o primeiro grupo e 10,0 N para o segundo. Observou-se, portanto, valores de força significativamente superiores para o lábio inferior em comparação com o superior, no entanto pouca diferença foi observada entre os subgrupos.

Jung e pesquisadores (2003) objetivaram verificar os efeitos da força de selamento labial¹⁹ sobre as estruturas craniofaciais por meio da avaliação quantitativa da força do lábio superior. A

amostra deste estudo foi composta por 32 estudantes do sexo masculino, que apresentavam má oclusão²³. Foi utilizado um medidor de força entre os lábios, que continha um sensor com pequenas células de carga. Era solicitado aos participantes que apertassem com a maior força que conseguissem o dispositivo colocado entre os lábios superior e inferior. O tempo de contração solicitado foi de cinco segundos. Os valores médios encontrados foram da ordem de 3,3 a 13,1 N, enquanto os valores máximos atingidos pelos participantes variaram de 4,3 a 20,3 N.

Dois grupos descreveram a utilização de um método de avaliação da força labial baseado no desenvolvimento de um instrumento construído por meio da utilização de um dinamômetro. Ao dinamômetro foi adaptada uma placa de aço inoxidável, que permitia ao sujeito morder sobre a mesma utilizando como apoio um bocal, que era esterilizado após o uso. Sem mais detalhes sobre a metodologia empregada, os autores descreveram a realização de três medições em cada paciente, tomando como medida o maior valor dentre as três. Em um destes estudos, desenvolvido por Cantero e colaboradores (2003), foi avaliada a força labial de 90 crianças antes e após tratamento fonoaudiológico. Os valores de força medidos aumentaram significativamente após terapia miofuncional orofacial²¹, variando de 1,68 a 1,82 N no pré tratamento e de 2,05 a 2,34 N no pós tratamento. Utilizando a mesma metodologia González e colaboradores (2004) avaliaram 180 crianças, de 5 a 12 anos, sendo 90 com presença de selamento labial¹⁹ e outras 90 com selamento labial incompetente²⁴. Nas crianças que apresentavam selamento labial incompetente fizeram-se duas medições, pré e pós tratamento mioterápico²⁵. Os resultados indicaram valores de força que variaram de 1,57 a 2,15 N no pré-tratamento e de 2,03 a 2,72 N no pós-tratamento, tendo apresentado valores maiores de força as medições realizadas nas crianças do sexo masculino.

Ruan e colaboradores (2005) avaliaram a pressão dos lábios e da língua sobre os dentes, correlacionando os dados encontrados ao sexo e à função de deglutição. Foram avaliadas 39 crianças dos sexos feminino e masculino. Utilizaram-se transdutores de pressão acoplados nas faces lingual²⁶ e palatal²⁷ dos dentes incisivos superiores e nas faces lingual e vestibular²⁸ dos molares²⁹ inferiores. Os resultados apresentaram valores de pressão na região labial maiores nas crianças do sexo masculino, tanto no repouso quanto na deglutição. A pressão média exercida pelo lábio superior sobre o incisivo¹⁸ central superior esquerdo foi de 148 N/m². Este estudo apontou ainda a reprodutibilidade nas três medições realizadas para cada indivíduo.

Novamente utilizando um dinamômetro, um estudo desenvolvido por Garreto (2005) descreveu a adaptação do referido aparelho com um inserto intralabial, de forma circular, encaixado entre os lábios e os dentes. A autora descreve uma faixa de normalidade para a força de sujeitos sem alterações na musculatura labial, devendo esta estar compreendida entre três e cinco libras-força (13,3 a 22,2 N). Novamente é discutida aqui a interferência do profissional avaliador ou mesmo da

postura tomada pelo paciente no instante da medição, fatores estes que levam a interferência de erros importantes no processo de medição.

Em outro estudo, envolvendo uma amostra de pacientes que apresentava fenda labial³⁰, Trotman e colaboradores (2007) tiveram como objetivo investigar a força de fechamento labial e o tempo para alcance desta força, comparando 48 pacientes com essa característica e um grupo controle de 36 sujeitos constituído por sujeitos sem alterações na estrutura dos lábios. Os participantes foram avaliados em dois dias diferentes, sendo que em cada avaliação foram instruídos a produzir forças de compressão máxima e controle motor fino com cada lábio, superior e inferior. As medidas de força máxima para os pacientes saudáveis foram de 3,7 N para o lábio superior e 7,5 N para o lábio inferior. Os autores observaram que os lábios, inferior e superior, dos participantes com fenda labial apresentaram menor tempo de manutenção de força. Observaram ainda que o lábio inferior necessitou de um intervalo menor de tempo para atingir o seu pico máximo de força, que por sua vez era maior para o lábio superior.

Em mais um trabalho descrito por Ruan e colaboradores (2007), que objetivou verificar a força de lábios e língua sobre os elementos dentários, foram avaliadas 31 crianças, de 4 a 6 anos, por meio da utilização de sensores de força acoplados nos dentes. Foram fixados sensores nas faces lingual²⁶ e labial³¹ do dente incisivo¹⁸ inferior esquerdo e nas faces palatal²⁷ e labial³¹ do incisivo superior esquerdo. Os valores de força dos lábios e língua na função de deglutição, em postura habitual e máxima contração voluntária foram analisados e comparados entre um grupo de crianças com oclusão normal e outro grupo com má oclusão Classe III³². Os autores observaram que os indivíduos que apresentavam má oclusão Classe III tinham valores de forças menores, tanto de lábios quanto de língua, quando comparados aos indivíduos sem alterações de oclusão.

Em um estudo retrospectivo, envolvendo 30 pacientes que sofreram acidente vascular encefálico³³, com idades entre 49 e 88 anos, Hägg e Anniko (2008) pesquisaram a força labial por meio um instrumento denominado Lip Force Meter (LF100). Este instrumento é composto por um inserto que deve ser encaixado entre os lábios e os dentes, conectado a um fio de aço, que por sua vez está ligado a uma célula de carga. Após acomodação do paciente, o examinador segura o instrumento e solicita contração do paciente com os lábios, de forma a tracionar o fio para a leitura do valor de força. Foi realizada, além da avaliação da força labial, análise da capacidade de deglutição dos pacientes. As avaliações foram realizadas no período pré e pós tratamento mioterápico²⁵. Os autores encontraram valor médio da força labial de 7 N na medição realizada antes do início do tratamento, e média de 18,5 N no valor da força obtida após o término da intervenção, sendo esta diferença altamente significativa. Foi observado ainda melhora na capacidade da função de deglutição após o período de intervenção terapêutica.

Vários profissionais pesquisam a relação existente entre a força labial e a capacidade de deglutição em sujeitos que apresentaram acidente vascular encefálico³³. Trabalhando com esta população e ressaltando a escassez de instrumentação clínica que possa ser utilizada para a avaliação da força labial, Hägg e colaboradores (2008) descreveram um trabalho cujo objetivo foi testar as características metrológicas e analisar os resultados obtidos no Lip Force Meter, LF100. O estudo realizou uma análise das avaliações feitas por diferentes reabilitadores, verificando a correlação dos resultados obtidos nestas avaliações, de forma a testar a reprodutibilidade intra e inter examinador. Além disso, os autores buscaram determinar qual seria o valor mínimo de força, em newtons, aceitável para se considerar um sujeito como apresentando força adequada de lábios. Avaliou-se também a sensibilidade e especificidade do instrumento em questão. Foram avaliados 22 pacientes que já haviam sofrido acidente vascular encefálico e 42 sujeitos saudáveis, que integraram o grupo controle. Ambos os grupos foram submetidos a três medições da força labial utilizando o LF100, sendo aguardado um intervalo de dois minutos de descanso entre cada avaliação. As avaliações foram realizadas por dois profissionais diferentes. Foram encontrados resultados satisfatórios nas avaliações intra e intersujeitos, demonstrando reprodutibilidade dos dados, tanto no grupo controle quanto no grupo de estudo. Foi encontrada correlação altamente significativa na comparação das avaliações realizadas entre os dois grupos, sendo que a média da força labial apresentada pelos indivíduos integrantes do grupo controle foi significativamente maior ($24,7 \pm 6,3$ N) do que a média apresentada pelo grupo de sujeitos que já haviam tido um acidente vascular encefálico ($9,5 \pm 5,5$ N). A sensibilidade do instrumento foi de 91% e a especificidade de 95%. O ponto de corte considerado pelos autores para que os indivíduos sejam classificados como tendo força adequada de lábios foi de 15 N. Os autores finalizam o estudo concluindo que o instrumento LF100 mostrou ser uma ferramenta confiável para a avaliação da força dos lábios humanos.

Um estudo desenvolvido por Perilo (2008), junto ao Grupo de Biomecânica da UFMG, apresentou um protótipo para medição objetiva da força labial composto por um sensor intralabial, que acoplado mecanicamente a uma célula de carga, gerava um sinal analógico em tensão, que era tratado, transmitido, processado e armazenado em meio digital. Foram avaliadas 20 mulheres, de 20 a 28 anos, que apresentaram tensão adequada de lábios na avaliação clínica subjetiva e não possuíam história progressiva de alterações nas estruturas e funções do sistema sensorio motor oral¹², bem como qualquer alteração dentária. Realizaram-se três medições para cada sujeito, com tempo de dez segundos para cada teste e intervalo de dois minutos entre as medições. Os resultados encontrados mostraram valor médio de força de 8,9 N para a amostra. Observou-se alto coeficiente de variação na análise dos valores médios obtidos nos três testes de cada participante. Esta variação foi significativamente menor quando a análise se restringiu os valores obtidos apenas na segunda medição, o que sugere a interferência do fator aprendizado na primeira medição e o cansaço

muscular na terceira. Mediante a análise intersujeitos, novamente observou-se grande dispersão dos valores medidos. Foi observado perfil de força que apresentava pequena variação ao longo do tempo de medição e ausência de pontos notáveis que possam definir uma configuração única para a curva força x tempo, tais como pico de explosão de força ou decaimento. A autora enfatiza a importância do desenvolvimento de métodos quantitativos para medição das forças orais, os quais auxiliarão o profissional fonoaudiólogo a mensurar a evolução terapêutica, bem como facilitar a comunicação dos diversos profissionais que possam estar envolvidos no tratamento de um mesmo paciente.

Baseando-se em evidências clínicas, Hägg e Anniko (2010) utilizaram para avaliação da força labial o instrumento descrito por Hägg e colaboradores (2008) em um grupo de pacientes que já haviam sofrido acidente vascular encefálico³³. O objetivo do estudo foi verificar se a alteração da força labial, associada ou não a pacientes que apresentavam paralisia facial³⁴, poderia influenciar na capacidade de deglutição. Este estudo prospectivo envolveu 22 pacientes com acidente vascular encefálico, com idades entre 38 e 90, que apresentavam disfagia³⁵; 12 pacientes com paralisia facial unilateral e 45 sujeitos normais, com idades entre 25 e 87 anos. Todos os sujeitos foram avaliados por meio do LF100, e submetidos a uma avaliação da disfagia. Foi encontrada correlação significativa entre a força labial e o grau de disfagia nos pacientes do grupo de estudo. Foi visto ainda que a força labial não foi dependente da idade nos indivíduos do grupo controle, mas entre os sujeitos do grupo de estudo o aumento da idade apresentou correlação direta com a diminuição da força labial. Os autores concluíram que evidências clínicas podem ser confirmadas, uma vez que a força labial interfere de maneira importante na capacidade de deglutição dos pacientes, e a proposta de treinamento muscular para ganho de força labial é um ponto importante a ser abordado na reabilitação de pacientes com disfagia.

Jung e colaboradores (2010) desenvolveram um trabalho cujo objetivo foi medir a força de fechamento do lábio superior e inferior e verificar a correlação existente entre a força de fechamento máxima e a força do músculo mental, associando estes dados aos diferentes tipos de má oclusões²³. Para medição da força labial foi utilizado um instrumento denominado Y-meter, o qual permite medir a força labial na direção vertical, utilizando uma célula de carga, de maneira individualizada para o lábio superior e inferior. Para os indivíduos com oclusão Classe I de Angle³⁶ os resultados de força labial média variaram, respectivamente para homens e mulheres, de 3,64 a 9,56 N para lábio superior e de 1,77 a 5,59 N para lábio inferior; e de 0,83 a 3,71N – lábio superior e de 0,5 a 2,26 N – lábio inferior. A força de fechamento labial foi maior nos sujeitos com Classe I³⁶ quando comparados aos indivíduos com Classe II³⁷. A força do lábio superior foi maior do que a do lábio inferior em todos os grupos pesquisados. Os valores de força do fechamento labial podem ser descritos como uma variável da angulação do dente incisivo¹⁸ superior. Foi ainda observado que a

força do músculo mental está altamente correlacionada com a estrutura dentofacial e os diferentes tipos de má oclusão²³.

Com o objetivo de investigar se as pressões exercidas pelos lábios e língua sobre os dentes anteriores modificavam de acordo com as variáveis gênero, idade, oclusão e hábitos orais deletérios³⁹, pesquisadores (Lambrechts et al., 2010) realizaram um estudo com 107 sujeitos. O instrumento utilizado para avaliação da força labial foi denominado Myometer 160 cuja aplicação era avaliar a força de prensão dos lábios por meio do apertamento de uma placa metálica dupla. Os autores encontraram valores de força labial variando entre 0,5 a 7,5 N, com média de 2,95 N. As variáveis gênero, oclusão e hábitos orais influenciaram na força labial.

Schimmel e colaboradores (2011) apontaram que a diminuição da força labial pode levar a alterações na saúde oral, afetando diversas funções do sistema sensório motor oral¹² importantes na manutenção das atividades de vida diária. O estudo dos autores envolveu a participação de 31 pacientes internados após acidente vascular encefálico³³ com paralisia facial³⁴ unilateral e teve como objetivo verificar se a saúde oral, considerando a força labial e a função da mastigação, influenciava na qualidade de vida destes pacientes. Para avaliação da força labial foi utilizado o instrumento LF100 associada à avaliação clínica da função mastigatória, e para pesquisa da pontuação referente à qualidade de vida destes pacientes foi utilizado o questionário de qualidade de vida OHRQoL (*Oral Health-Related Quality of Life*). O grupo controle envolveu 24 sujeitos de idade similar, mesmo gênero e estado dental. Foram obtidos resultados no OHRQoL significativamente reduzidos nos pacientes com acidente vascular encefálico, no qual o comprometimento funcional demonstrou predominância quando comparado com aos aspectos psicológicos e psico-social. Os autores enfatizam que a avaliação da força labial apresenta-se como uma ferramenta importante na definição do diagnóstico e na pesquisa da qualidade de vida relacionada à saúde oral de pacientes pós acidente vascular encefálico.

Estudo recente buscou investigar se pacientes com obstrução nasal apresentavam diminuição na força de fechamento labial (Sabashi et al., 2011). Utilizando um instrumento denominado LIP DE CUM LDC® - 110R, os autores avaliaram 54 mulheres de 18 a 45 anos. A amostra foi dividida em dois grupos, com e sem obstrução nasal. Os valores de força de fechamento labial variaram de 4,2 a 14,9 N no grupo sem obstrução nasal e de 5,1 a 11,00 N no grupo de mulheres com obstrução nasal, sendo a diferença significativa. Os autores não encontraram correlação positiva entre força labial e as variáveis gênero e índice de massa corpórea.

Em 2012, Valentim realizou um trabalho que avaliou a força que o lábio superior e língua exercem sobre os dentes em 28 indivíduos jovens (10 homens e 18 mulheres) com e sem problemas de oclusão. Para isso, foi utilizado um sistema de medição composto por dois sensores Flexiforce, um circuito amplificador, uma placa de aquisição de dados e um computador. Os sensores foram

fixados ao dente incisivo¹⁸ superior direito sendo um na superfície vestibular²⁸ e um na palatina²⁷. Foram realizadas medições durante o repouso e a deglutição. Verificou-se que, no repouso, a força exercida pelo lábio foi de $0,02 \pm 0,02$ N e durante a deglutição estes valores foram de $0,15 \pm 0,14$ N.

3.2 Modelos Computacionais de Estruturas Orofaciais

A aplicação da Biomecânica Computacional para simulação do comportamento mecânico de estruturas orofaciais começou a ser utilizada há poucas décadas. Com o avanço da tecnologia para captura de imagens médicas, o exame de ressonância magnética passou a ser uma ferramenta essencial na criação de modelos de tecidos moles⁴⁰, cujas características geométricas passaram a ser cada vez mais semelhantes à realidade (Kumada et al., 1992).

Na tentativa de desenvolver um modelo computacional que pudesse simular a fisiologia do trato vocal⁴¹ na produção da fala, Wilhelms-Tricarico realizou dois estudos. Ambos apresentaram um modelo de elementos finitos da língua. O primeiro (Wilhelms-Tricarico, 1995) descreveu as etapas para construção do modelo, considerando as simplificações realizadas bem como as condições de contorno definidas. O autor ressaltou a dificuldade em modelar uma estrutura tão complexa e apresentou, ao final do estudo, um modelo da língua constituído por oito conjuntos musculares distintos. Em uma perspectiva biomecânica é discutido que um modelo composto por 150 a 200 elementos é grosseiro demais para simular a dinâmica da língua. Os resultados obtidos na simulação demonstraram a validação do método como primeiro passo para construção do modelo completo do trato vocal, mas ajustes ainda precisariam ser feitos para simular o real comportamento da língua. No ano seguinte (Wilhelms-Tricarico, 1996) o autor buscou estratégias para explicar a complexidade do comportamento da língua associada às demais estruturas do trato vocal, e apresentou soluções de controle que posteriormente seriam aplicadas ao modelo completo do trato vocal.

Em relação à imagem obtida no exame de tomografia computadorizada a ressonância magnética mostra maior contraste entre tecidos moles⁴⁰ na avaliação das estruturas da cavidade oral, além da capacidade de obter imagens coronais, sagitais e axiais, facilitando a identificação das fronteiras da estrutura a ser avaliada. O maior tempo de exame, maior custo e contraindicação de pacientes com claustrofobia⁴², dispnéia⁴³ intensa e portadores de implantes podem ser consideradas desvantagens. Souza e equipe (2003) relatam que a ressonância magnética é um exame que apresenta maior sensibilidade que a tomografia computadorizada na avaliação da evolução de pequenos tumores.

Um estudo desenvolvido por Chabanas e colaboradores (2003), teve como objetivo apresentar um modelo de elementos finitos que pudesse simular o comportamento dos tecidos moles da face em pacientes submetidos à cirurgia ortognática²⁰. Buscou-se avaliar se este tipo de modelagem poderia trazer contribuições para melhoria das intervenções clínicas cirúrgicas. Foram utilizadas imagens de ressonância magnética e levantadas as propriedades mecânicas do tecido muscular a serem utilizadas no modelo. Os autores concluem que a modelagem computacional foi capaz de simular as diferenças morfológicas apresentadas por pacientes submetidos à intervenção cirúrgica, sendo uma ferramenta indicada para auxiliar os profissionais da saúde.

Wen e colaboradores (2006a) relataram a construção de um modelo em três dimensões da estrutura maxilar com seus componentes dentários. Os objetivos dos autores foram comparar o crescimento ósseo maxilar pré e pós enxerto ósseo em pacientes com fenda palatina³⁰, além de investigar a influência da força labial sobre a porção anterior/frontal da maxila. Foram realizados ensaios com a aplicação de vetores de força labial sobre a face anterior do modelo de elementos finitos. Com os resultados obtidos, os autores apontaram a importância da reconstrução do músculo labial em pacientes com fenda labiopalatina, uma vez que a força dos lábios influencia de maneira significativa o crescimento ósseo e dentário.

Com o objetivo de investigar a biomecânica da distribuição das forças das estruturas que podem agir sobre os elementos ósseos da face, em especial a maxila, outro estudo, dos mesmos pesquisadores, Wen e colaboradores (2006b), descreveu o desenvolvimento de um modelo de elementos finitos da maxila para investigar a ação da força labial sobre a região frontal e frontolateral das estruturas ósseas e dentárias. O modelo era de um adulto jovem com fenda labiopalatina³⁰, no momento pré e pós enxerto ósseo. Os autores mais uma vez ressaltaram o impacto positivo dos estudos embasados em modelos numéricos para a análise do comportamento de tecidos vivos, em especial a importância da pressão exercida pela musculatura labial sobre o crescimento e modelamento das estruturas ósseas em pacientes que apresentam fenda labiopalatina.

Ventura e colaboradores (2009) apresentaram um estudo pioneiro da aplicação de imagens de ressonância magnética para o estudo da produção de diferentes sons do português de Portugal. O objetivo da pesquisa foi criar um protocolo que se aplicasse à obtenção de imagens de ressonância magnética no estudo da fala. Foi apresentado um modelo tridimensional do trato vocal, onde os autores concluíram que a ressonância magnética é uma ferramenta promissora no estudo das estruturas orofaciais, possibilitando a identificação realista da posição e forma dos articuladores⁴⁴, incluindo o músculo orbicular da boca.

Em 2009, Olszewsk e colaboradores realizaram um estudo que teve como objetivo identificar as características do músculo orbicular da boca *in vivo*, a partir da análise de imagens de ressonância magnética. Os autores relatam que a análise das imagens médicas possibilitou a

reconstrução dos músculos da região oral de maneira satisfatória. No entanto, ressaltaram que houve dificuldade na identificação dos limites entre diferentes grupos musculares na região do módolo¹¹ e nos locais de inserção dos músculos elevadores do lábio superior.

A partir do uso de diferentes tipos de imagens médicas, dentre elas a ressonância magnética, Kim e colaboradores (2010) apresentaram uma metodologia para simulação do comportamento do tecido ósseo, muscular e elementos dentários, no pré e pós operatório de pacientes submetidos à cirurgia ortognática²⁰. Para validação, o modelo foi aplicado a quatro casos cirúrgicos. Os autores confirmam que melhorias podem ser alcançadas com o uso das ferramentas de simulação computacional na otimização de procedimentos cirúrgicos das regiões crânio-maxilo-mandibulares.

Novamente com o enfoque de compreender o comportamento dos articuladores na produção da fala, Nazari e colaboradores (2010) apresentam um modelo biomecânico da face, o qual foi utilizado para simulação dos movimentos musculares na produção de diferentes sons e na expressão facial. É ressaltado que atenção especial deve ser dada à caracterização do músculo dos lábios, considerando a forte influência desta estrutura na simulação dos movimentos articulatorios. É discutida a influência das características da musculatura perioral no comportamento do músculo orbicular da boca. O papel indireto da rigidez da face, principalmente na área das bochechas, fez com que os movimentos labiais ficassem limitados. A consideração da interferência de músculos adjacentes é importante na tentativa de uma modelagem mais realista da dinâmica orofacial.

O estudo de Bucki e colaboradores (2010) discutiu a utilização de um programa computacional denominado MMRRep (*Mesh-Match-and-Repair*) para criação e reparação da malha de um modelo geométrico dos músculos da face. A complexidade da configuração dos músculos orofaciais fez com que a geração da malha viesse acompanhada de erros. A reparação destes erros favoreceu a construção de um modelo com características estruturais mais semelhantes ao músculo real.

Foi investigada a eficiência do uso de imagens de ressonância magnética para reproduzir a dinâmica dos articuladores⁴⁴ durante a fala (Ventura et al., 2011). Durante a realização do exame o movimento de produção de determinadas vogais do português era registrado. Sequências de imagens de ressonância magnética de diferentes posições do trato vocal foram utilizadas para a reconstrução do modelo. Os autores consideraram ser o exame de ressonância magnética uma técnica útil e precisa na obtenção da morfologia e no posicionamento de articuladores, no entanto, limitações em termos da velocidade de aquisição das imagens e abrangência dos protocolos utilizados mostram-se como restrições da técnica.

4. Instrumento para Avaliação da Força Labial - FORLAB

O instrumento para medição da força labial desenvolvido foi denominado FORLAB e é composto por dois sistemas: sistema mecânico e sistema eletrônico. Para facilitar a descrição deste estudo, bem como a compreensão das etapas de planejamento e execução este capítulo está estruturado em três etapas, de acordo com o organograma abaixo (FIG.7).

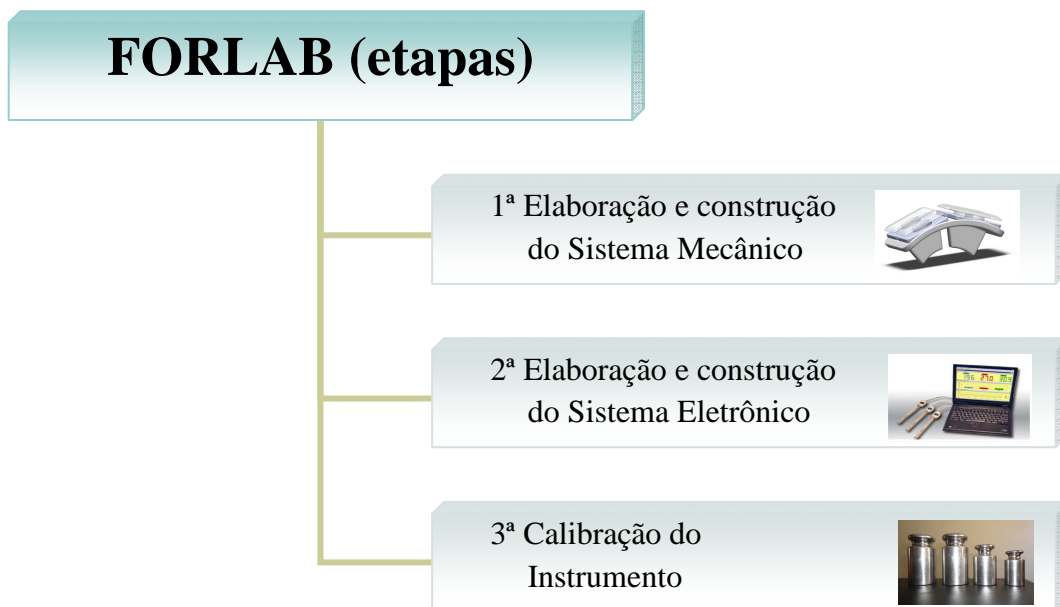


Figura 7 – Organograma do delineamento metodológico da construção do FORLAB

4.1 Sistema Mecânico

O sistema mecânico refere-se ao conjunto de componentes mecânicos projetado e desenvolvido para a aquisição do sinal referente à força do lábio. É constituído por peças que, adaptadas intra oralmente, possibilitam o posicionamento e estabilização dos sensores para medição da força labial. Para utilização clínica é importante que esse sistema seja pequeno, de fácil manuseio e higienização, e que tenha baixo custo e fácil acessibilidade.

Os seguintes componentes constituem o sistema mecânico do FORLAB: mordedor, peça base, peça guia e peça aplicadora. Cada componente será apresentado detalhadamente a seguir.

4.1.1 Mordedor

O objetivo do mordedor é possibilitar a fixação do sistema mecânico na cavidade oral. Esta fixação é feita pelo apoio do sistema nas arcadas dentárias⁷. A proposta inicial foi a utilização de um mordedor disponível no mercado, utilizado por boxeadores, encontrado em lojas de artigos esportivos (FIG.8). Mas os primeiros ensaios com o uso do aparato mostraram que as características e dimensões da peça não atendiam as propostas do estudo. O primeiro mordedor idealizado, quando acoplado aos demais componentes do sistema, fez com que o conjunto ficasse grande demais para o encaixe na cavidade oral.

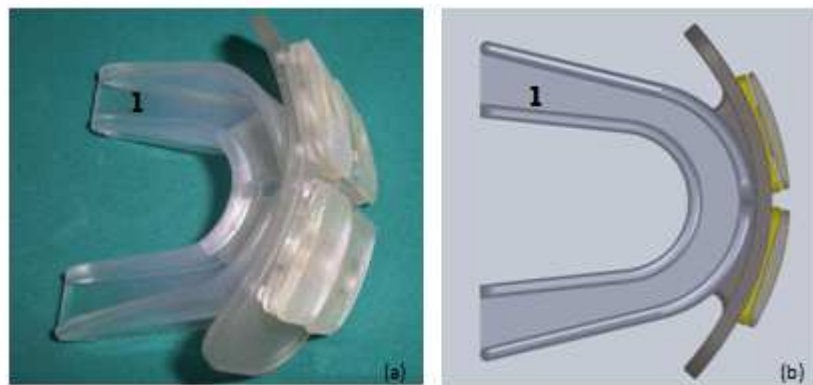


Figura 8 – Visão superior do aparelho para avaliação da força labial, sendo (a) o protótipo fabricado e (b) o desenho idealizado para fabricação

Desta maneira, este foi substituído por outro tipo de mordedor que passou a compor o sistema mecânico do FORLAB. A proposta da nova peça é que esta fosse confeccionada individualmente pra cada pessoa que viesse a utilizar o FORLAB. Em um primeiro momento pareceu ser uma tarefa que tomaria tempo e trabalho, fato que não se confirmou na prática. Para confecção do mordedor o material selecionado foi silicone de adição, mesmo material utilizado por dentistas para confecção de modelos odontológicos, sendo indicado para moldagens de alta precisão.

Inicialmente foi preparado o material de molde, por meio da mistura manual dos componentes base e catalisador, segundo instruções do fabricante. Após obtenção de uma massa de cor uniforme, a mesma foi acoplada à peça base e introduzida na boca da pessoa a ser avaliada. O avaliador auxiliou no direcionamento da mordida a ser feita sobre a massa, de modo a deixar a peça base centralizada. Após acomodação do conjunto (peça base + massa para molde) foram aguardados

três minutos para secagem. Ao término deste período o mordedor era retirado da cavidade oral e já se encontrava pronto para ser utilizado na realização das medições (FIG.9).

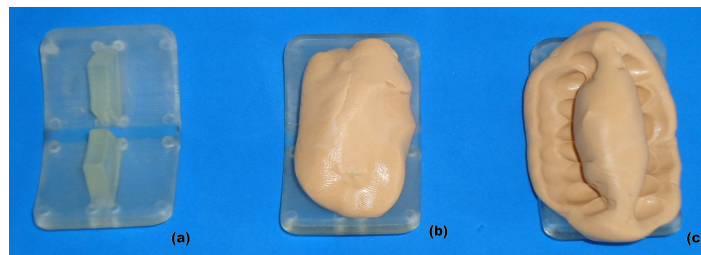


Figura 9 – Etapas do processo de fabricação do mordedor. (a) Peça base utilizada para apoio da massa, (b) peça base mais massa para molde, (c) mordedor pronto apoiado na peça base

Durante a confecção dos moldes dois problemas foram encontrados, levando a necessidade de uma segunda moldagem e descarte do primeiro molde feito. Observou-se que: (i) não se obteve a centralização entre a linha média dentária e a linha média da peça base, o que levou ao posicionamento errado do aparelho e conseqüentemente erro na distribuição da força entre os canais; (ii) e a não impressão dos dentes superiores no molde, impossibilitando o encaixe do instrumento. Estes problemas foram identificados após secagem da massa e acoplamento do molde no restante do sistema. Todas as etapas descritas para confecção do molde foram refeitas com atenção especial ao posicionamento da massa e à realização da mordida no local correto.

Observados esses cuidados, a confecção individualizada do mordedor mostrou-se uma tarefa de fácil execução e alta precisão. Possibilitou que o sistema mecânico ficasse adequadamente posicionado e fixado nas arcadas dentárias⁷ e com dimensão reduzida.

Após confecção do mordedor o mesmo deverá ser acoplado à peça base.

4.1.2 *Peça Base*

A peça base é o segundo componente do sistema mecânico (FIG.10). Sua função é servir de apoio para os quatro sensores que integram o equipamento. Possui características geométricas que favorecem o encaixe no mordedor e a fixação das peças guia (a serem apresentadas no próximo tópico). Apresenta curvatura em parábola, seguindo a característica das arcadas dentárias⁷ (Putz e Pabst, 2000) e possui quatro receptáculos de superfície plana, local de encaixe dos sensores. Cada receptáculo possui ainda quatro furos em suas extremidades para fixação das peças guia.

Para apresentação das dimensões dos componentes, os eixos foram considerados de acordo com o posicionamento da peça na cavidade oral. A peça base apresenta dimensão vertical total de 33 mm (eixo Z), sendo que destes 23 mm correspondem a uma superfície reta e os 10 mm restantes apresentam-se como abaulamentos criados nas extremidades para evitar quinas e consequentemente favorecer o conforto do paciente. Cada receptáculo apresenta aproximadamente 22 mm de largura e 15 mm de altura, onde estão distribuídos quatro furos, 2 mm de profundidade e 2,9 mm de diâmetro, os quais servirão de encaixe para a peça guia. As dimensões da peça base foram as menores possíveis considerando o tamanho dos sensores.

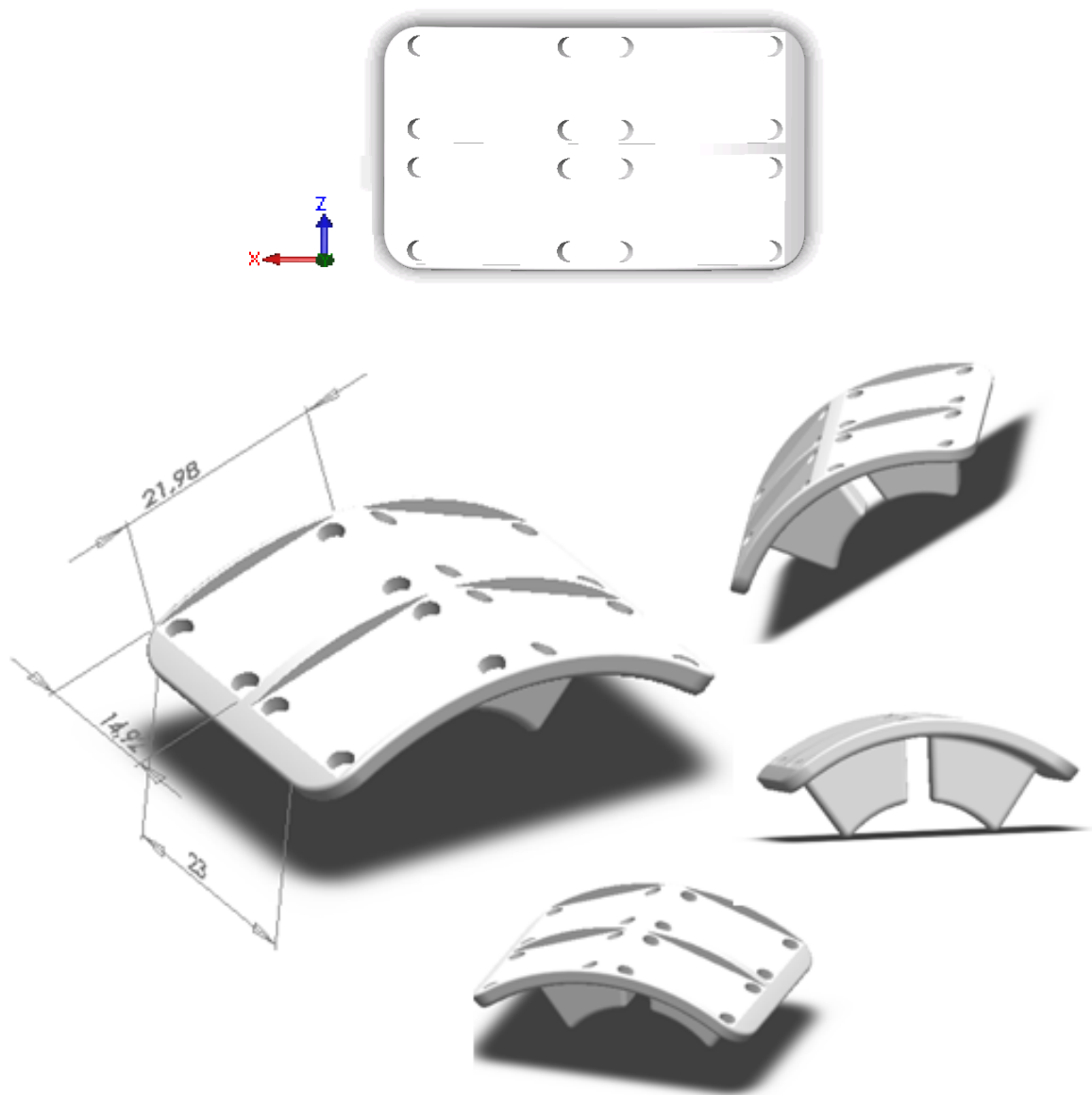


Figura 10 – Peça base

4.1.3 Peça Guia

Em número de quatro, as peças guia (FIG.11) têm a função de fixar cada sensor no interior do seu receptáculo e servem como guia para as peças aplicadoras (as peças aplicadoras serão apresentadas no próximo tópico). Espera-se desta forma que a pressão exercida nas peças aplicadoras seja transferida em sua totalidade ao sensor, possibilitando a quantificação da força aplicada naquela área. A facilidade de encaixe, realizado por pressão, favorece a retirada dos sensores para higienização e substituição, esta última em caso de problemas e ou dano em algum dos sensores.

Com relação às dimensões da peça guia, a mesma apresenta largura total de 22 mm, sendo 19 mm de superfície reta e 3 mm de suavização de ambas as quinas, altura total de 15 mm, sendo que destes 3 mm correspondem à ambas as quinas. A peça guia apresenta ainda um furo central vazado de 10 mm de diâmetro e 3 mm de altura (equivalente a espessura da peça). Este furo tem a função de direcionar a peça aplicadora até o sensor. Temos ainda quatro projeções cilíndricas com diâmetro de 2,8 mm nas extremidades da peça 3 mm de altura. Estas projeções, que encaixadas sob pressão nos receptáculos da peça base, possibilitarão a fixação dos sensores.

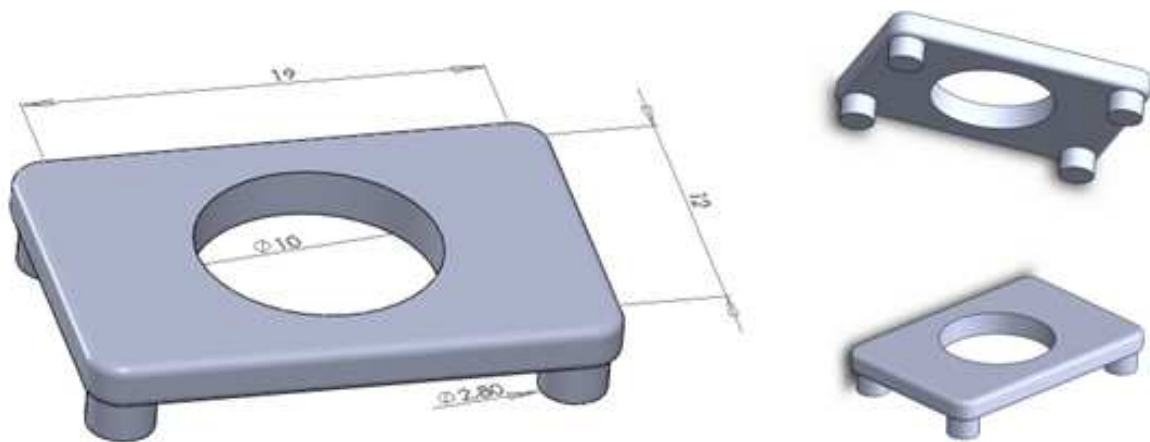


Figura 11 – Peça guia

4.1.4 Peça Aplicadora

Completando a lista dos componentes que integram o sistema mecânico do FORLAB temos a peça aplicadora (FIG.12). Também em número de quatro são as responsáveis por transmitir a força exercida pelos lábios aos sensores.

Apresenta as mesmas dimensões de largura e altura da peça guia 22x15 mm. Possui no centro uma projeção cilíndrica cujo diâmetro é 9 mm e a altura 6 mm, correspondendo à área sensível do sensor e ligeiramente menor que o diâmetro da abertura da peça guia. O cálculo da altura desta projeção em comparação a altura do furo central da peça guia foram feitos de maneira a impedir que o atrito entre as peças influenciasse de maneira significativa a medição da força labial. Cada peça aplicadora é posicionada de maneira a receber, individualmente, as forças referentes ao lábio superior direito, superior esquerdo, lábio inferior direito e inferior esquerdo. Estas projeções possibilitam que toda a força seja aplicada de forma axial em relação aos sensores.

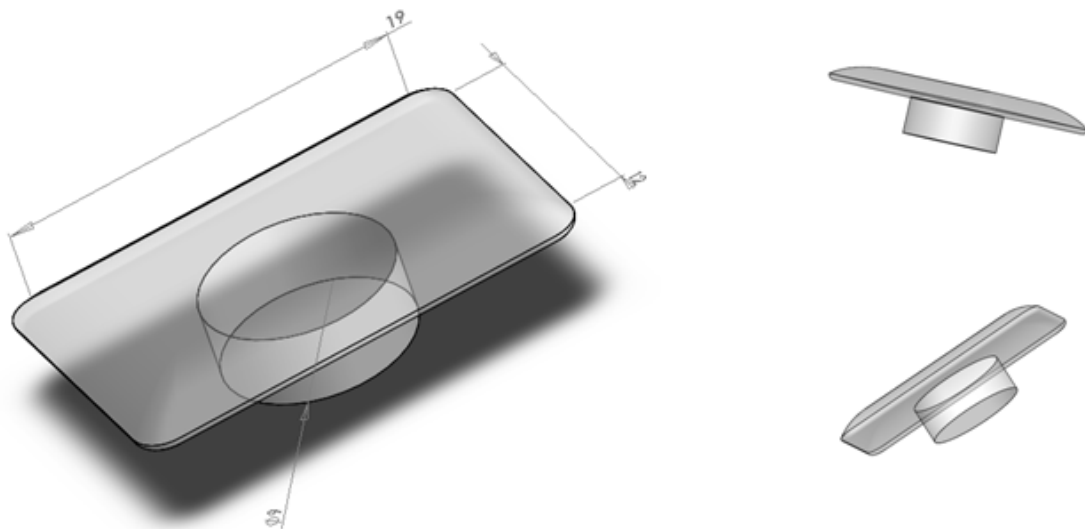


Figura 12 – Peça aplicadora

A disposição para encaixe das peças base, guia e aplicadora, bem como o conjunto montado, pode ser visualizado nas FIG.13 e 14.

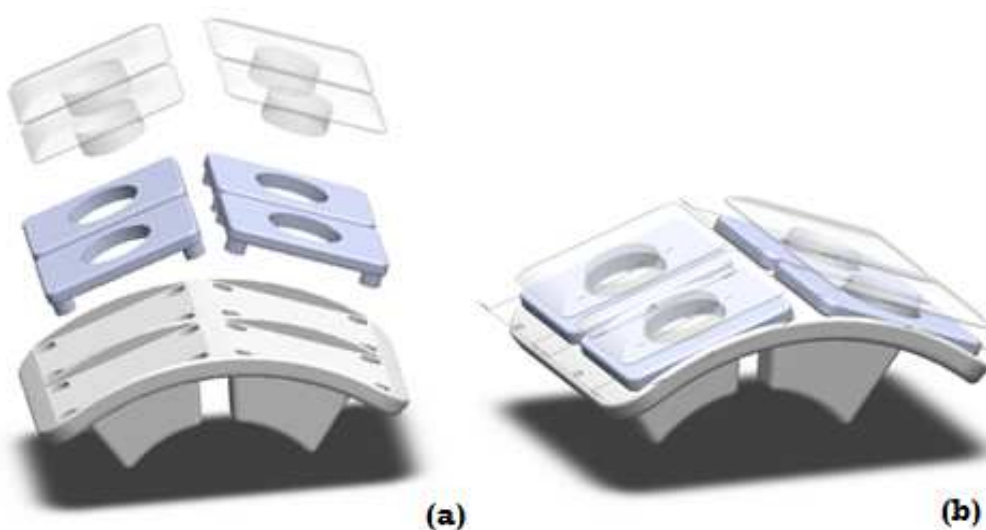


Figura 13 – Conjunto mecânico na posição de montagem (a) e montado (b)



Figura 14 – Conjunto mecânico do FORLAB montado

Todas as peças que integram o sistema mecânico do FORLAB, com exceção do mordedor, foram confeccionadas pela técnica de prototipagem rápida.

A prototipagem rápida é um processo utilizado para a fabricação de componentes físicos a partir de informações geométricas fornecidas por um sistema em três dimensões (conhecido em algumas áreas por impressora 3D). Este processo consiste em adicionar material na forma de camadas planas sucessivas, possibilitando a fabricação de peças complexas, com alta precisão, sem a necessidade de moldes e ferramentas. Neste estudo cada componente foi projetado previamente no programa Solid Works®. O material utilizado na prototipagem foi o fotopolímero RenShape™ SL 5510.

É importante ressaltar que o planejamento do sistema mecânico para o encaixe de quatro sensores possibilitará a avaliação isolada de quatro diferentes regiões do músculo orbicular da boca. Poderá ser realizada avaliação isolada da força do lábio superior, em caso de pacientes que venham a apresentar esta necessidade, bem como a avaliação isolada das regiões direita e esquerda dos lábios. De uma forma geral pacientes respiradores orais⁴⁵ tendem a apresentar maior diminuição na força do lábio inferior (Sociedade Brasileira de Fonoaudiologia, 2003). Pacientes com paralisia facial³⁴ unilateral também poderão se beneficiar de uma avaliação específica de diferentes regiões do músculo orbicular da boca. A FIG.15 ilustra diferentes pacientes que poderão se beneficiar com o uso do FORLAB.



Figura 15 – Exemplos de pacientes indicados para utilizar o FORLAB

Após finalização do projeto e produção de cada componente, o sistema mecânico montado apresentou características favoráveis ao uso como tamanho reduzido, fácil manuseio e higienização, e baixo custo (FIG.16).

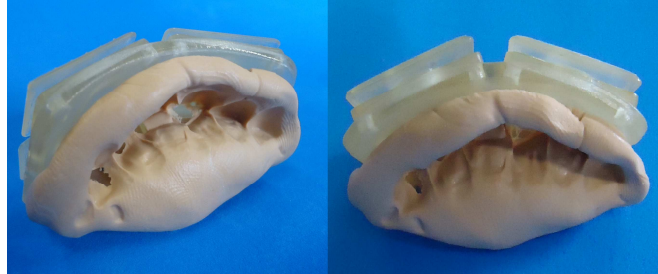


Figura 16 – Sistema mecânico do FORLAB montado

A FIG.17 apresenta uma síntese dos componentes que integram o sistema mecânico do FORLAB.


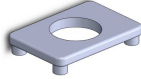
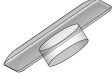
SISTEMA MECÂNICO DO FORLAB		
COMPONENTE	IMAGEM	FUNÇÃO
Mordedor		Fixar o sistema mecânico na cavidade oral e dar apoio à peça base
Peça base		Servir de apoio para os sensores e peças guia
Peça guia		Fixar os sensores na peça base e direcionar a peça aplicadora
Peça aplicadora		Transmitir a força exercida pelos lábios aos sensores
Todos os componentes foram fabricados e utilizados de acordo com normas de biossegurança		

Figura 17 – Componentes que integram o sistema mecânico do FORLAB

4.2 Sistema Eletrônico

O sistema eletrônico do FORLAB foi desenvolvido em parceria com o grupo de pesquisa coordenado pelo Prof. Márcio Falcão Santos Barroso da Universidade Federal de São João del-Rei - UFSJ.

Foram selecionados sensores de força do tipo FSR (Force-Sensitive Resistor), modelo *FlexiForce* A201, que apresentaram características metrológicas compatíveis com a aplicação proposta. A faixa de abrangência de leitura do sensor era de 0 a 110 N, a área sensível de 9,53 mm, espessura de 0,208 mm e comprimento de 51 mm. A escolha por este tipo de sensor baseou-se em: (i) a sua saída resistiva que, embora seja não linear em relação à força aplicada, pode, por meio de um sistema de transdução adequado, linearizar os valores em tensão elétrica; (ii) é relativamente pequeno e muito leve e não possui volume considerável, o que torna a sua utilização intralabial fácil; (iii) possui haste flexíveis o que é importante para possibilitar o seu encaixe na peça base; (iv) custo reduzido por unidade; (v) é apropriado para a utilização em seres humanos e segue as recomendações de biossegurança. Os *FlexiForce* podem ser usados para medir forças estáticas ou dinâmicas, e são finos o bastante para permitir uma medição não invasiva.

Os sensores são construídos por duas camadas de substrato, compostos de filme de poliéster. Em cada camada um material condutivo é aplicado (prata), seguido de uma camada de tinta sensível à pressão. Um adesivo é então usado para laminar as duas camadas de substrato, que juntas formam o sensor. O círculo prateado, no topo da tinta sensível à pressão, define a área ativa sensível. A prata se estende da área sensível aos conectores, na outra extremidade do sensor, formando a pista condutiva. Foto ilustrativa do sensor pode ser visualizada na FIG.18.



Figura 18 – *FlexiForce* Sensor Model A201

Para construção do sistema de transdução, transmissão e armazenamento dos dados foram utilizados amplificadores operacionais (AmpOp) para linearização dos sinais e conversão dos valores de resistência elétrica (Ω) para tensão elétrica (V). O sinal foi ainda recebido por um

sistema de amplificação para transmissão. Em síntese, o sistema de condicionamento do sinal pode ser visualizado na FIG.19.



Figura 19 – Sistema de condicionamento do sinal

A aquisição de dados foi feita por intermédio de um microcontrolador do tipo PIC[®], com interface USB, sendo o armazenamento dos sinais feito em um computador modelo HP ProBook 4530s, processador Intel Core, memória RAM de 4,00 GB e sistema operacional de 64 Bits. A vantagem de se usar o PIC[®] foi não precisar de alimentação externa e, além disso, possibilitou a independência da placa de aquisição de dados, deixando o aparelho independente de fabricantes e reduzindo o custo final da montagem.

A interface com o usuário foi desenvolvida em linguagem LabView 2009 SP1, da National Instruments. A tela para aquisição do sinal (FIG.20) possui espaço para registro do nome do paciente e de outras informações que o profissional avaliador achar necessário, como idade, sexo, data da avaliação ou treinamento. É possível selecionar o período, em segundos, durante o qual o profissional deseja realizar cada medida. A tela apresenta ainda quatro janelas para visualização simultânea dos quatro sensores de força que integram o FORLAB. No momento da visualização o profissional e paciente, caso seja de interesse do avaliador, poderão acompanhar o comportamento da força ao longo do tempo selecionado para medição. Ao término de cada avaliação é gerado um relatório dos resultados obtidos. A taxa de amostragem do instrumento é de 100 Hz. Com estas informações torna-se possível a construção de um banco de dados de cada paciente, possibilitando o melhor acompanhamento da evolução clínica.



Figura 20 – Tela de interface com o usuário do FORLAB

A disposição dos quatro sensores em relação ao sistema mecânico está ilustrada nas FIG.21 e 22. O sensor conectado ao canal 1 é responsável pela informação dos valores de força do lábio superior direito, o canal 2 avalia a força do lábio superior esquerdo, o canal 3 mensura os valores do lábio inferior direito e o canal 4 do lábio inferior esquerdo. Esta organização facilita que o avaliador acompanhe a formação dos gráficos de força x tempo durante o momento da avaliação.



Figura 21 – Correspondência entre o canal e a parte do lábio a ser avaliada

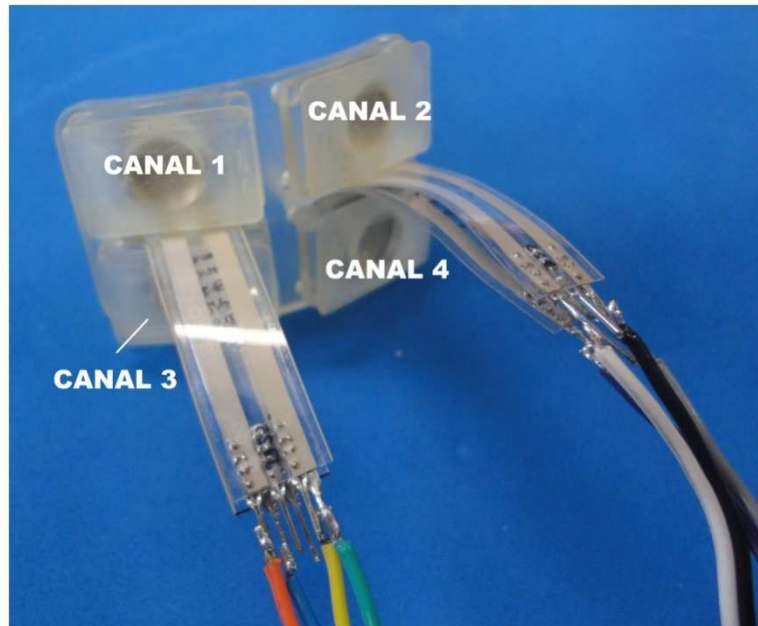


Figura 22 – Posicionamento dos canais no sistema mecânico do FORLAB

O FORLAB é então montado a partir da junção entre os sistemas mecânico e eletrônico. A FIG.23 mostra o instrumento pronto para o uso e o material utilizado para confecção do mordedor e higienização das peças.



Figura 23 – Equipamento montado, sendo (a) sistema mecânico acoplado aos sensores e (b) material utilizado para confecção do mordedor

4.3 Calibração

De maneira geral, o resultado da medição de uma grandeza física é apenas uma estimativa ou uma aproximação do valor verdadeiro do mensurando, no caso o músculo orbicular da boca. Como consequência desse fato, o resultado da medição somente é completo quando acompanhado do valor declarado das incertezas. O cálculo das incertezas foi feito de acordo com as etapas propostas no ISO GUM (Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement).

Cada um dos quatro sensores que integram o FORLAB foi calibrado individualmente utilizando-se força conhecida, a qual foi equiparada aos valores de saída do instrumento. Para que fosse possível a calibração do sistema montado e não do sensor isoladamente, foi construído um suporte que serviu de apoio para a peça base (FIG.24).

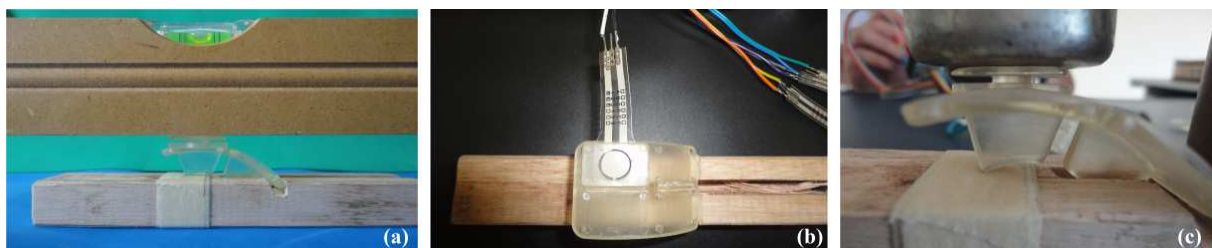


Figura 24 – Etapas da calibração, (a) conferência do nivelamento, (b) posicionamento do sensor, (c) apoio do padrão

O sistema foi calibrado para uma faixa de medição de força entre 0 e 27 N. Para estabelecer essa faixa levou-se em consideração valores obtidos em estudos prévios (Hägg e Anniko, 2008; Hägg e colaboradores, 2008; Perilo, 2008; Hägg e Anniko, 2010), bem como medidas obtidas em estudo piloto com o FORLAB.

Os testes de calibração foram realizados no Laboratório de Biomecânica da UFMG, em uma superfície plana, com temperatura ambiente entre 25 e 27°C. Para cada peso aplicado foi obtido um sinal de saída em Volts. Foi obtida a média de três medições para cada força aplicada. Observou-se que o sistema apresentava uma taxa elevada de erro aleatório, ou seja, apresentando valores de saída diferentes mediante condições controladas, como posicionamento, avaliador, local e temperatura. Desta forma optou-se por fazer uma média de quatro avaliações realizadas com o FORLAB, para cada sensor.

O tempo de aplicação das forças foi de 7 segundos (mesmo tempo empregado nas medições). Foi utilizada uma linha de tendência polinomial para ajuste do sinal. Os polinômios obtidos por meio da curva de calibração descrevem a relação entre o padrão utilizado na calibração e a saída elétrica do sensor, em volts, retornada pelo sistema, sendo y a força medida em newtons (N) com o instrumento calibrado e x o valor da tensão elétrica em volts (V). Os polinômios gerados para cada canal, bem como a curva de calibração estão apresentados na FIG.25.

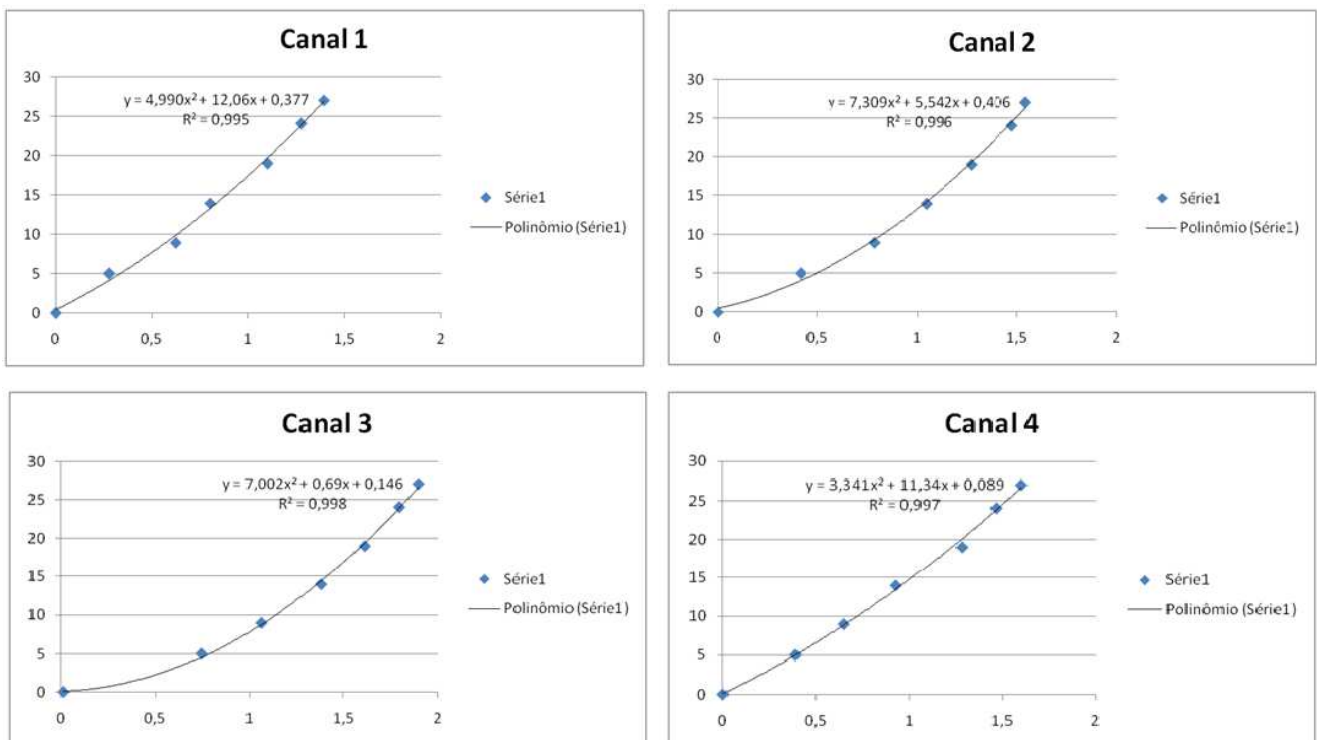


Figura 25 – Ajuste polinomial das curvas obtidas na calibração para cada canal

Os polinômios gerados foram utilizados para conversão do sinal medido, em volts, para newtons. Foi realizada uma simulação, por meio do método de Monte Carlo para se verificar a qualidade do ajuste das curvas. Na correlação entre a simulação e os dados reais obteve-se os valores de $R^2 = 0,995$ para o canal 1, $R^2 = 0,996$ para o canal 2, $R^2 = 0,998$ para o canal 3 e $R^2 = 0,997$ para o canal 4, o que indica que o ajuste está adequado.

A repetitividade do sistema foi calculada, indicando a faixa dos valores, simétrica em torno do valor médio, dentro do qual o erro aleatório do sistema de medição é esperado. O cálculo da repetitividade foi realizado pelo produto da incerteza padrão pelo coeficiente t-student considerando-se quatro graus de liberdade (t-student igual a 2,776), para uma probabilidade de 95%.

Antes de cada calibração foi realizado ensaio primário com 110% da força máxima sobre o sensor, de maneira que o sistema se expandisse de forma adequada (conforme orientações do fabricante).

Como recomendado na norma NIT-DICLA-021 do INMETRO, o valor numérico da incerteza da medição foi fornecido com dois algarismos significativos e o valor numérico do resultado da medição, arredondado para o último algarismo significativo do valor da incerteza expandida, atribuída ao resultado da medição. Para o processo de arredondamento, as regras usuais de arredondamento de números foram utilizadas (ISO 31-0:1992).

As incertezas expandidas apresentadas pelo instrumento variaram de 2,26 a 20,75%, sendo que para valores medidos acima de 15 N este número não ultrapassou 7,75%. A análise completa das incertezas do sistema está apresentada no anexo 1.

Este capítulo apresentou as etapas de idealização e construção do FORLAB, bem como os testes realizados para validação do sistema de medição.

Ao final da construção do instrumento, considerando sua inovação tecnológica, foi realizado o depósito de pedido de patente de invenção para o FORLAB junto ao INPI – Instituto Nacional de Propriedade Intelectual, registrado em 25/08/2010 com o nº 0000221003075228.

5. Testes Experimentais Utilizando o FORLAB

Esta etapa do estudo foi realizada após aprovação pelo Comitê de Ética em Pesquisa da Universidade Federal de Minas Gerais sob o parecer nº. 0302.0.203.000-10 (Anexo 2).

5.1 Descrição Metodológica dos Testes Experimentais

A amostra, selecionada por conveniência, foi composta por 40 mulheres, na faixa etária de 20 a 33 anos, média de 24,3 anos. Para participar dos experimentos para avaliação da força labial todas as participantes deveriam apresentar postural habitual de lábios selados¹⁹. Para confirmar este fator de inclusão foi realizada observação da postura labial em repouso em momento de distração, por 5 minutos, e questionado aos participantes sua postura labial em outros momentos e situações do dia a dia, sendo incluídos na pesquisa apenas os participantes que apresentaram e relataram selamento labial presente, no repouso, nas duas situações. Não foram avaliadas as características de tipologia facial e oclusão nos participantes da amostra. Todas as avaliações foram realizadas pelo mesmo avaliador.

Para realização das avaliações foi inicialmente feita a moldagem anterior da arcada de cada participante, segundo passos descritos para confecção do mordedor (seção 4.1.1). Após a retirada do molde da cavidade oral foram aguardados dois minutos para descanso da musculatura. Este tempo foi necessário uma vez que a musculatura foi estimulada por três minutos consecutivos (tempo de secagem da massa de molde).

O protocolo elaborado para realização das avaliações foi:

- 1º - Encaixe do FORLAB na cavidade oral, realização da primeira medição seguida por retirada do instrumento da boca e descanso de 1 minuto;
- 2º - Encaixe do FORLAB na cavidade oral, realização da segunda medição seguida por retirada do instrumento da boca e descanso de 1 minuto;
- 3º - Encaixe do FORLAB na cavidade oral, realização da terceira medição seguida por retirada do instrumento da boca e término da avaliação.

Antes de iniciar cada medição o conjunto formado pela peça base, peças guias, peças aplicadoras e sensores foi revestido com filme de PVC (policloreto de vinila) utilizado para proteger alimentos, e encaixado na cavidade oral do participante (FIG.27). Realizou-se a higienização dos componentes com álcool 70% no intervalo de cada avaliação. Com o instrumento encaixado na boca a pessoa era orientada a fazer a maior força que conseguisse com os lábios, no sentido de pressionar os dentes. O posicionamento do indivíduo foi feito de maneira a impedir que o mesmo visualizasse a formação do gráfico de força (FIG.28).



Figura 26 – Encaixe do instrumento na cavidade oral

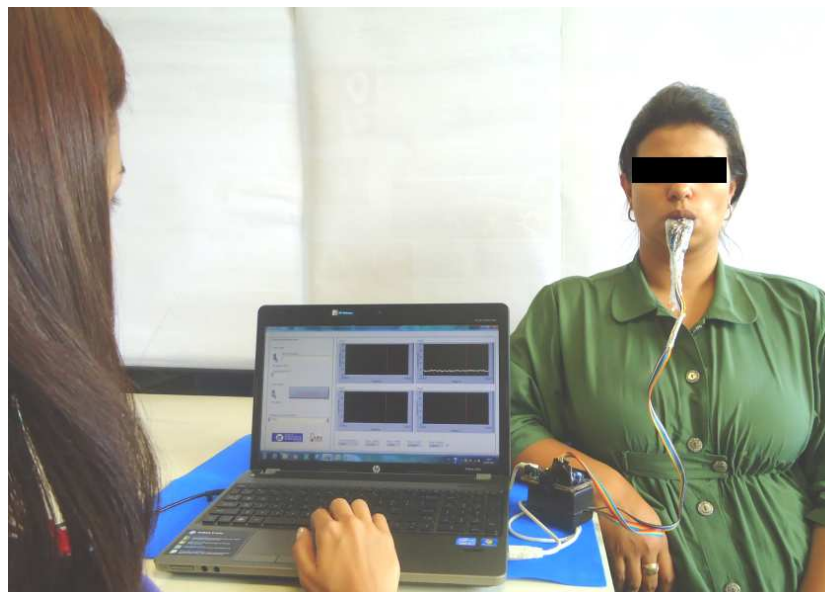


Figura 27 – Foto ilustrativa do momento da avaliação da força labial

Foi programado no *software* um tempo de 12 segundos de registro para obtenção dos dados. A distribuição do tempo de medição está apresentada na FIG.29, sendo o registro iniciado sem a contração voluntária das participantes e com o instrumento já encaixado na cavidade oral (a). Foram aguardados 3 segundos de gravação até que o avaliador emitisse uma ordem para realização da

força (b). A ordem foi: “Você terá que fazer a maior força que conseguir de modo a pressionar os lábios contra a peça que está na sua boca e manter esta força até ouvir a ordem para relaxar”. Os participantes sustentavam a força dos lábios por 7 segundos, até serem orientados a descansar (c), eram aguardados mais 2 segundos até o término do registro do sinal (d) e retirada do instrumento da boca. Com esta distribuição foi possível verificar o comportamento da força labial previamente, durante e após a contração solicitada.

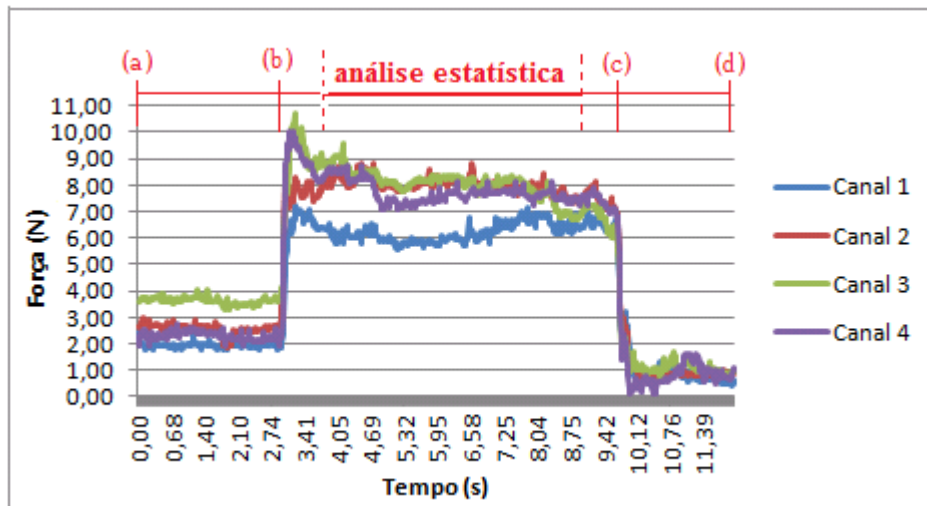


Figura 28 – Análise do gráfico de força labial x tempo de medição

Para a análise estatística dos resultados foram utilizados os valores obtidos em um período de 5 segundos de contração muscular sustentada, sendo este tempo selecionado dentre os 7 segundos de contração exigida (FIG.29). Este período foi selecionado por se tratar da faixa mais estável de manutenção da força (Trotman et al, 2007; Perilo, 2008).

Considerando a amostra estudada, foram realizadas 40 avaliações, sendo que em cada avaliação foram obtidas três medições sequenciais. Considerando que em cada medição foram gerados quatro gráficos (referentes a cada um dos canais avaliados), obteve-se, ao final dos testes experimentais, um total de 480 gráficos de força labial x tempo de contração.

5.1.1 Análise Estatística dos Resultados

As informações coletadas foram organizadas em um banco de dados no Excel®. Os resultados descritivos foram obtidos utilizando medidas de tendência central e de variabilidade, sendo apresentados para cada avaliação realizada.

Os dados foram organizados de maneira a possibilitar a avaliação das forças registradas em cada parte do músculo orbicular da boca (análise de cada canal individualmente), bem como dos valores de força do lábio superior (canal 1 + canal 2), lábio inferior (canal 3 + canal 4) e a avaliação do registro da força labial total (somatória dos valores dos quatro canais).

Para verificar se houve diferença significativa entre os valores de força nas medições 1, 2 e 3 utilizou-se a ANOVA para medidas repetidas. O termo medidas repetidas é usado para designar medidas feitas na mesma variável ou na mesma unidade experimental em mais de um momento. Para realização da ANOVA para medidas repetidas é necessário que dois pressupostos sejam satisfeitos: o comportamento dos dados seja aproximadamente normal e a variância das três medidas seja constante. Esse último pressuposto chama-se esfericidade e foi testado pela estatística épsilon de Greenhouse-Geisser após realização da ANOVA. No caso de tal pressuposto ser violado, aplica-se uma correção nos graus de liberdade da estatística de teste da ANOVA, e reavalia-se a decisão do teste. Para verificar se o comportamento dos dados foi normal utilizou-se o teste de normalidade de Shapiro-Wilks, o gráfico boxplot e o q-q plot (quantil-quantil plot). Este último permite determinar se dois conjuntos de dados pertencem à mesma distribuição de probabilidades, sendo os pontos formados pelos quantis amostrais, devendo os mesmos alinharem-se numa reta de inclinação 1 para que as distribuições das amostras possam ser consideradas as mesmas.

Foi realizada modelagem para respostas correlacionadas utilizando-se o procedimento conhecido por Equações de Estimação Generalizadas (EEG), com o objetivo de avaliar, através do ajuste do modelo, se havia diferença significativa entre a força realizada pelos lábios superior e inferior, nas três medições do experimento. As EEG são um método unificado para modelar respostas contínuas, como é o caso da força labial.

No experimento realizado foi adotado um nível de significância de 5%, sendo as hipóteses testadas durante as análises consideradas estatisticamente significativas caso o p-valor dos testes seja inferior ao nível de significância adotado.

A análise foi realizada no *software* estatístico RTM versão 2.11.

5.2 Resultados dos Testes Experimentais

Os resultados descritivos, obtidos em cada canal separadamente, estão apresentados no Apêndice 2.

A FIG.30 apresenta a distribuição dos valores médios de força labial total, força do lábio superior e lábio inferior na amostra, considerando a média das três medições. Observa-se limite

superior próximo a 30 N e limite inferior próximo a 5 N para a força labial total. Os valores de força do lábio superior apresentam-se ligeiramente maiores do que os do lábio inferior.

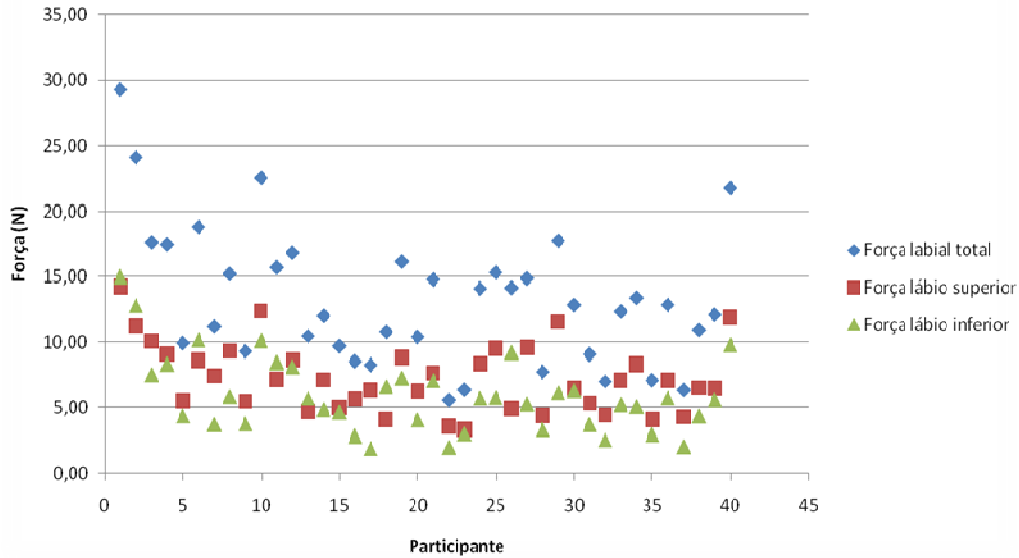


Figura 29 – Distribuição dos valores médios de força obtidos na amostra

Na TAB.1 estão apresentados os valores descritivos para a força do lábio superior, lábio inferior e força labial total, em cada medição. Novamente observamos valores superiores no registro da força do lábio superior em comparação ao lábio inferior, na maioria dos sujeitos avaliados.

As FIG.31, 32, 33, 34, 35 e 36 apresentam o comportamento da força labial total para cada indivíduo participante, considerando o tempo em segundos. É possível verificar as características da força de cada indivíduo em relação ao outro nas três medições, e como esse comportamento oscila de uma medição a outra.

Tabela 1 – Valores médios obtidos para a força labial total, força do lábio superior e inferior nas três medições

Participante	Medição 1			Medição 2			Medição 3		
	Lábio superior	Lábio inferior	Total	Lábio superior	Lábio inferior	Total	Lábio superior	Lábio inferior	Total
1	15,22	14,22	29,44	13,92	15,04	28,96	13,67	15,79	29,46
2	11,81	12,30	24,11	9,39	14,48	23,88	12,59	11,75	24,34
3	11,47	7,12	18,59	9,49	7,66	17,15	9,27	7,84	17,11
4	8,26	7,44	15,71	10,31	8,77	19,09	8,78	8,80	17,58
5	4,54	3,19	7,72	6,45	5,26	11,71	5,63	4,67	10,30
6	7,02	8,49	15,51	9,81	11,59	21,41	9,05	10,47	19,52
7	6,32	3,26	9,58	9,83	3,79	13,62	6,26	4,13	10,40
8	5,63	4,02	9,65	10,04	5,88	15,91	12,36	7,68	20,04
9	7,65	6,84	14,49	5,90	2,57	8,47	2,97	1,94	4,92
10	14,23	11,46	25,69	10,99	9,88	20,87	12,00	9,05	21,06
11	5,19	6,44	11,63	7,38	8,83	16,21	9,06	10,18	19,24
12	9,32	7,85	17,17	8,66	8,65	17,31	8,02	7,94	15,96
13	3,81	3,60	7,41	5,78	8,66	14,44	4,53	4,98	9,51
14	5,48	3,44	8,92	8,92	5,07	13,99	7,07	6,10	13,18
15	3,96	2,65	6,61	4,68	4,95	9,63	6,45	6,40	12,84
16	5,63	2,33	7,96	5,32	1,35	6,67	6,12	4,89	11,02
17	5,50	1,69	7,19	6,34	2,32	8,66	7,23	1,73	8,96
18	4,44	6,98	11,42	4,93	6,49	11,42	3,04	6,45	9,49
19	6,37	4,64	11,01	10,45	8,93	19,38	9,68	8,34	18,02
20	4,91	3,32	8,24	8,39	4,52	12,91	5,65	4,38	10,03
21	6,32	7,62	13,94	7,98	6,96	14,94	8,72	6,74	15,46
22	3,55	2,70	6,25	3,15	1,63	4,78	4,02	1,69	5,71
23	2,82	2,41	5,24	3,70	2,62	6,32	3,54	4,04	7,58
24	7,37	8,24	15,61	8,54	4,31	12,85	9,15	4,70	13,85
25	6,56	5,34	11,90	10,48	6,13	16,60	11,51	5,91	17,42
26	6,03	13,47	19,50	3,62	7,33	10,95	5,14	6,88	12,03
27	8,06	3,05	11,11	9,00	5,92	14,92	11,68	6,88	18,57
28	3,87	2,11	5,98	4,16	3,48	7,63	5,19	4,46	9,65
29	11,79	6,35	18,14	11,97	5,83	17,80	10,98	6,33	17,31
30	7,77	7,80	15,57	6,90	7,05	13,95	4,95	4,13	9,08
31	5,69	3,87	9,56	4,53	2,94	7,47	5,85	4,34	10,19
32	3,83	2,94	6,77	5,52	2,28	7,80	3,98	2,50	6,49
33	7,42	5,20	12,62	6,30	4,00	10,30	7,65	6,53	14,17
34	7,26	4,13	11,39	7,33	5,19	12,51	10,35	5,96	16,31
35	3,09	2,19	5,29	3,45	2,39	5,84	5,88	4,32	10,21
36	8,94	6,16	15,11	7,02	6,36	13,39	5,35	4,80	10,15
37	5,51	2,20	7,71	5,37	2,55	7,92	2,00	1,45	3,45
38	7,52	4,44	11,96	5,51	4,21	9,72	6,63	4,45	11,08
39	6,33	5,77	12,10	5,95	5,28	11,23	7,23	5,83	13,06
40	12,15	10,86	23,02	12,01	10,53	22,54	11,68	8,00	19,68

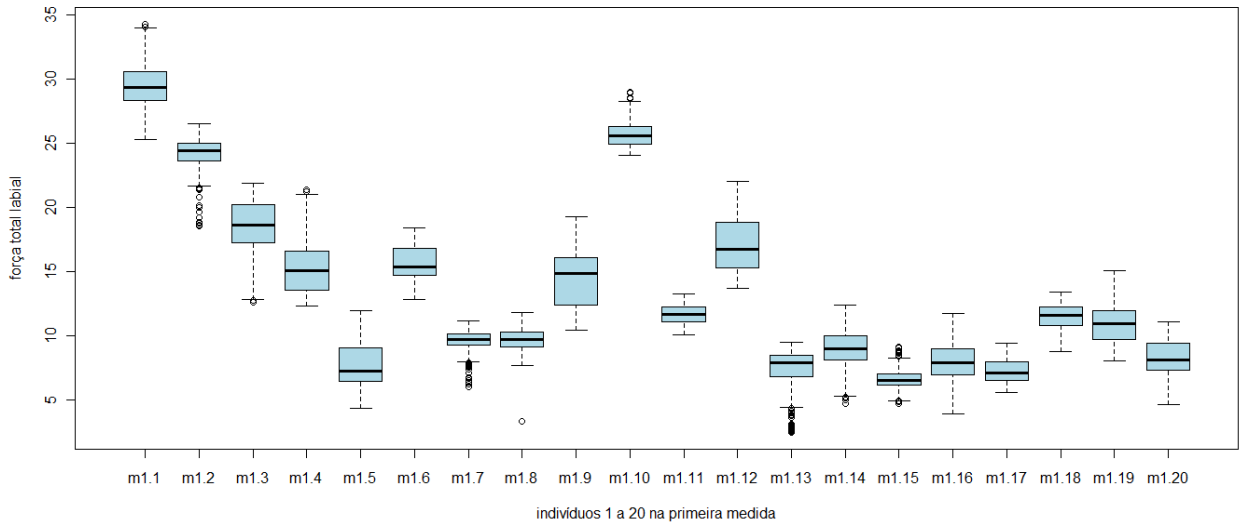


Figura 30 – Comportamento da força labial total na primeira medição para os participantes 1 a 20

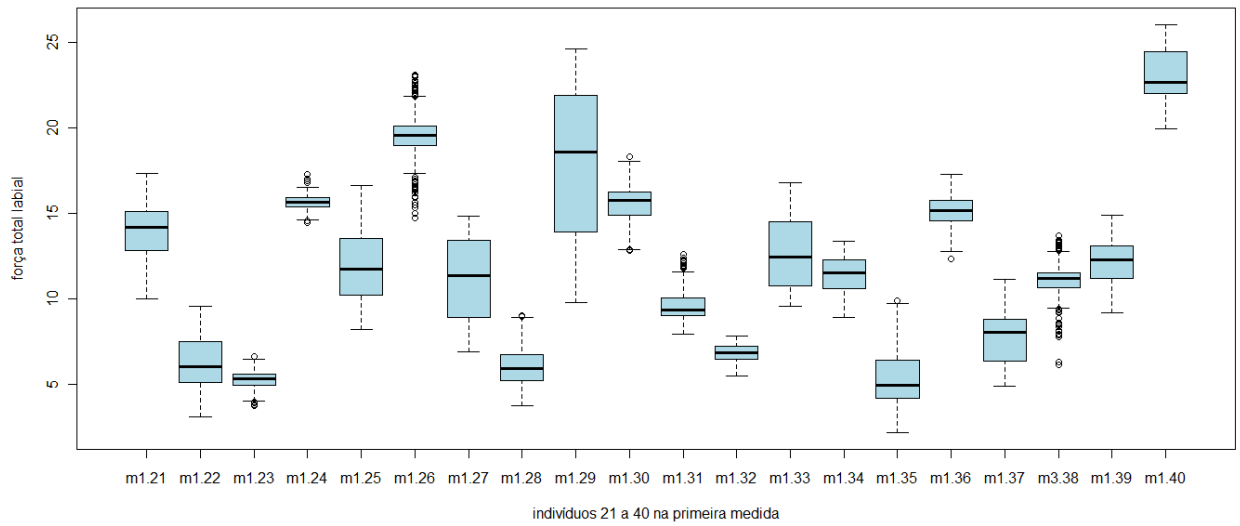


Figura 31 – Comportamento da força labial total na primeira medição para os participantes 21 a 40

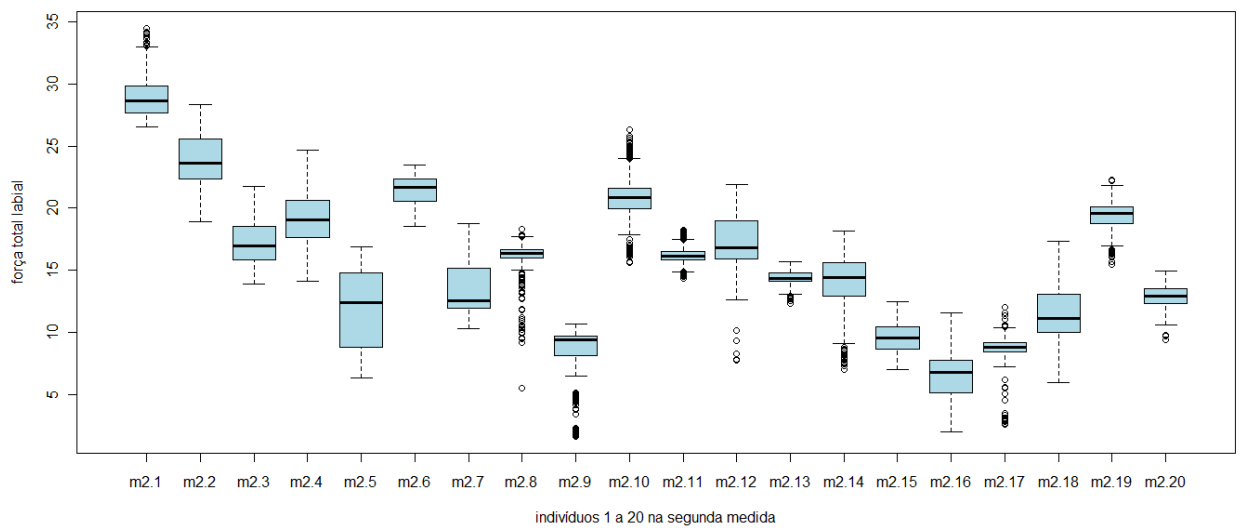


Figura 32 – Comportamento da força labial total na segunda medição para os participantes 1 a 20

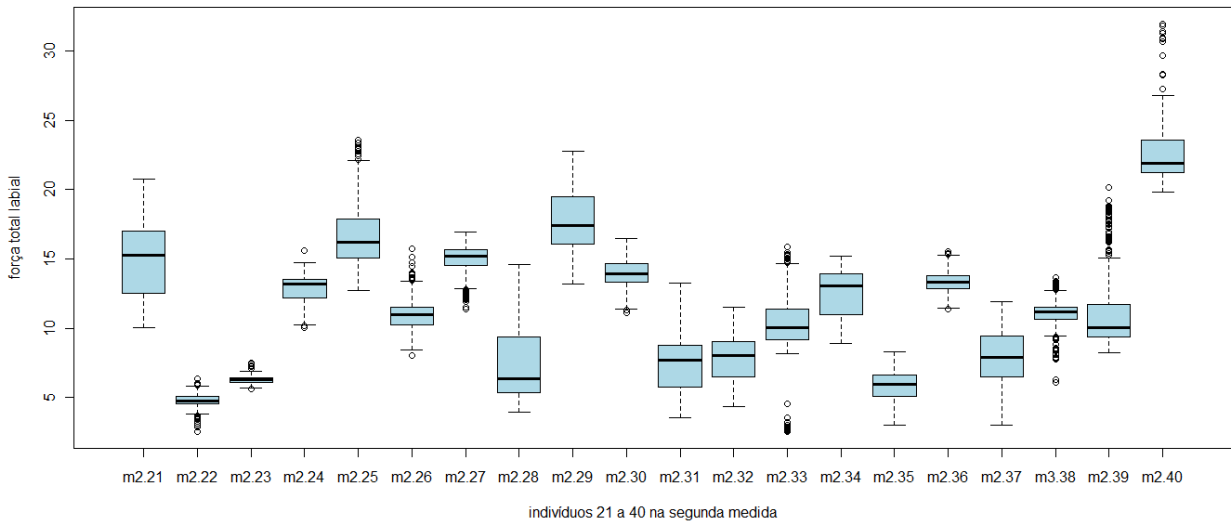


Figura 33 – Comportamento da força labial total na segunda medição para os participantes 21 a 40

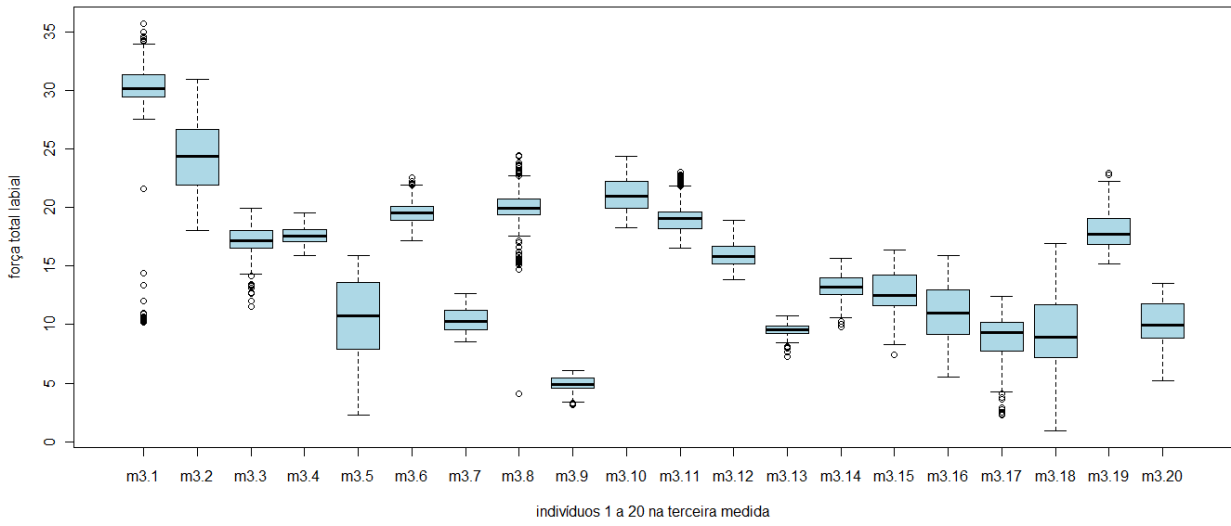


Figura 34 – Comportamento da força labial total na terceira medição para os participantes 1 a 20

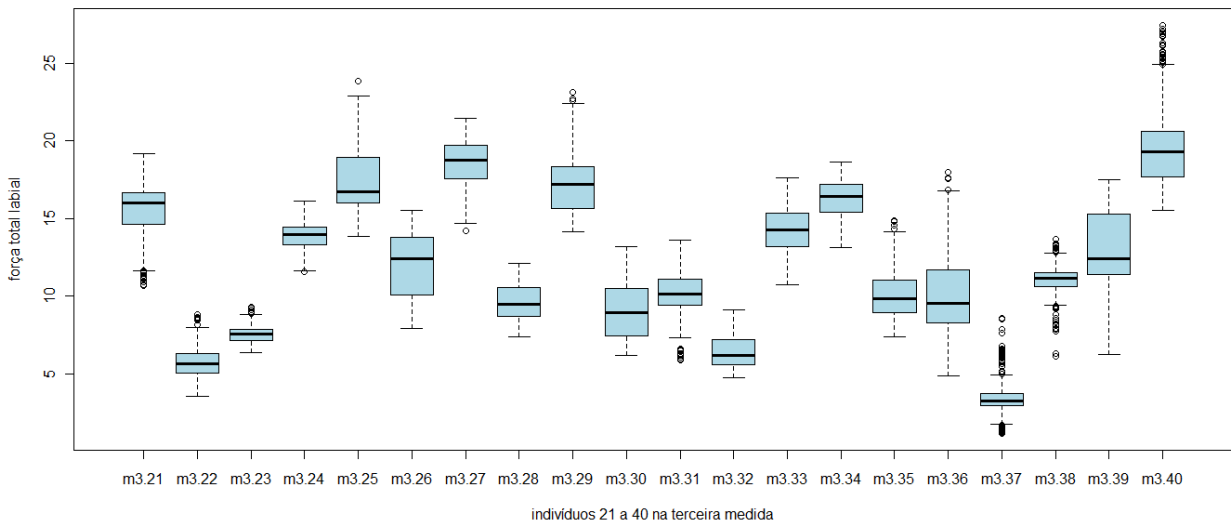


Figura 35 – Comportamento da força labial total na terceira medição para os participantes 21 a 40

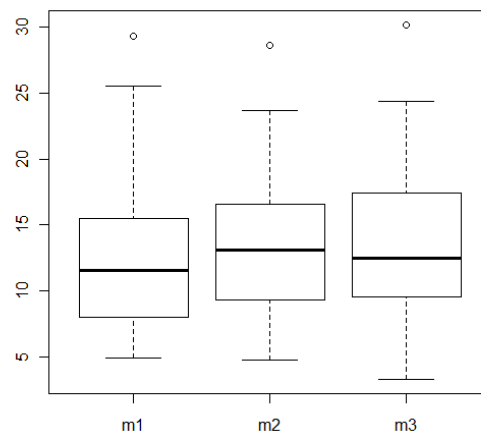
A TAB.2 apresenta os dados de tendência central e variabilidade obtidos na análise das forças do lábio superior, lábio superior e força labial total, para cada medição separadamente. Observa-se altos valores de desvio padrão, comprovados pelos elevados de coeficientes de variação. Vale ressaltar que em todas as medidas o coeficiente do lábio inferior é maior do que o superior.

Tabela 2 – Medidas de tendência central e variabilidade para a força labial total, força do lábio superior e inferior

Participante	Medição 1			Medição 2			Medição 3		
	Lábio superior	Lábio inferior	Total	Lábio superior	Lábio inferior	Total	Lábio superior	Lábio inferior	Total
Média (N)	6,97	5,70	12,67	7,49	6,04	13,53	7,52	6,09	13,61
Mediana (N)	6,33	4,92	11,53	7,18	5,56	13,15	7,15	5,94	12,95
Máximo (N)	15,22	14,22	29,44	13,92	15,04	28,96	13,67	15,79	29,46
Mínimo (N)	2,82	1,69	5,24	3,15	1,35	4,78	2,00	1,45	3,45
Desvio Padrão	2,98	3,28	5,85	2,68	3,28	5,46	3,03	2,88	5,52
CVP (%)	42,71	57,56	46,17	35,83	54,22	40,35	40,25	47,27	40,57

Legenda: CVP= Coeficiente de Variação de Pearson

No boxplot abaixo (FIG.37) foi avaliado o comportamento global da amostra. Nota-se que o comportamento médio é bem próximo de uma medida para a outra, e que a variabilidade entre elas é próxima. Para a primeira medição observa-se que uma força menor foi aplicada, comparada com as demais medições, e que para a terceira medição há uma assimetria em comparação às outras duas.



Legenda: m1=medição 1, m2=medição 2, m3=medição 3

Figura 36 – Comportamento médio da força labial total nas três medições

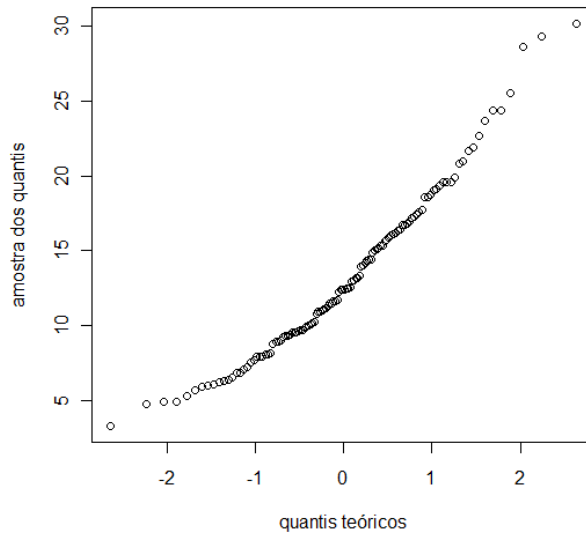
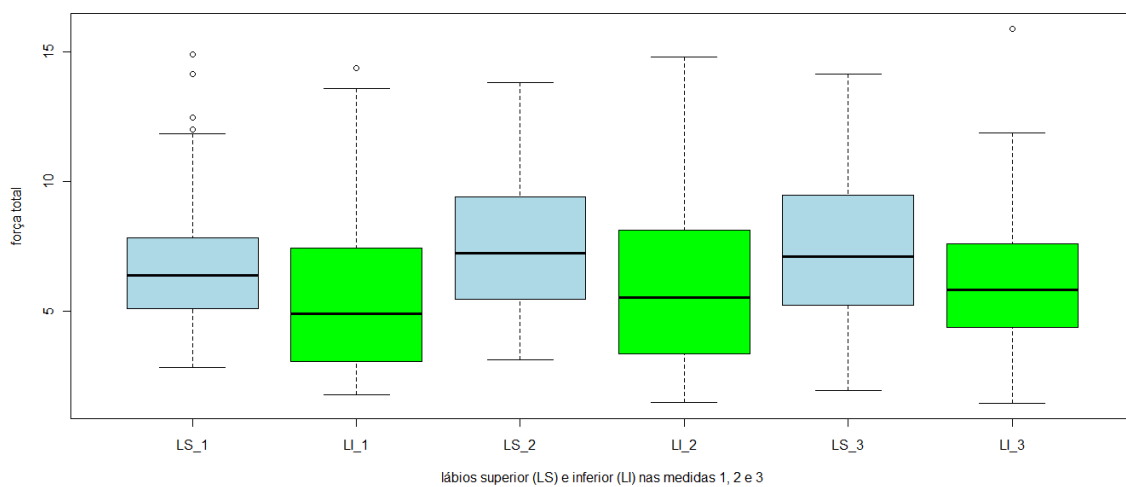


Figura 37 – Q-q plot da força labial total

Através do teste de normalidade (p -valor= 0,10), do boxplot para as três medidas (FIG.37) e do q-q plot (FIG.38), avaliou-se que o pressuposto de normalidade não foi violado procedendo com a ANOVA.

A ANOVA para medidas repetidas apresentou um p -valor=0,2183, ou seja, não foi significativo, indicando que não deve ser rejeitada a hipótese de que não há diferença entre a força média labial nas três medições. O pressuposto de esfericidade também não foi violado (estatística ϵ de Greenhouse-Geisser ≈ 1 (ϵ = 0,98)).

Após análise das características e comportamento da força labial total procedeu-se a análise para avaliação da força labial do lábio superior e lábio inferior separadamente. A FIG.39 apresenta o comportamento médio da força do lábio superior e inferior, para cada medição realizada. Observa-se valores próximos e baixa variabilidade na comparação entre as medições. A média dos valores de força do lábio superior é maior quando comparada ao lábio inferior.



Legenda: LS_1=lábio superior, medição 1; LI_1=lábio inferior, medição 1; LS_2=lábio superior, medição 2; LI_2=lábio inferior, medição 2; LS_3=lábio superior, medição 3; LI_3=lábio inferior, medição 3

Figura 38 – Comportamento médio da força labial total nas três medições

Na análise para comparação dos resultados obtidos nas medições 1, 2 e 3 para o lábio superior, observa-se por meio do boxplot (FIG.40) e do q-q plot (FIG.41), que o pressuposto de normalidade não foi violado. Nota-se que, apesar do comportamento para a primeira medição do lábio superior diferir das outras duas medições, aparentemente o comportamento das forças é simétrico. O mesmo pode ser observado no q-q plot, onde espera-se que o comportamento do quantis teóricos seja linear. A realização do teste de normalidade corroborou a análise gráfica (p-valor= 0,0593).

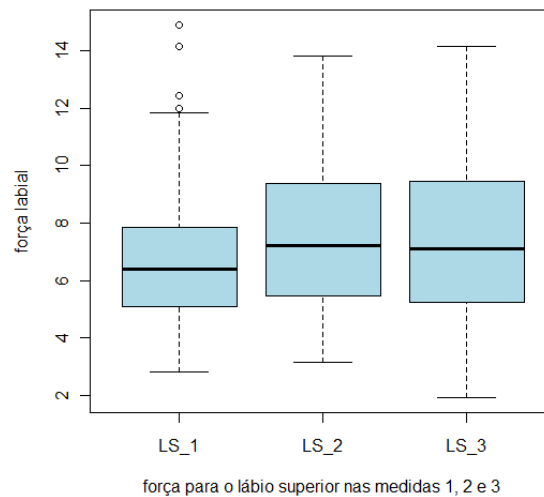


Figura 39 – Comportamento médio da força do lábio superior nas três medições

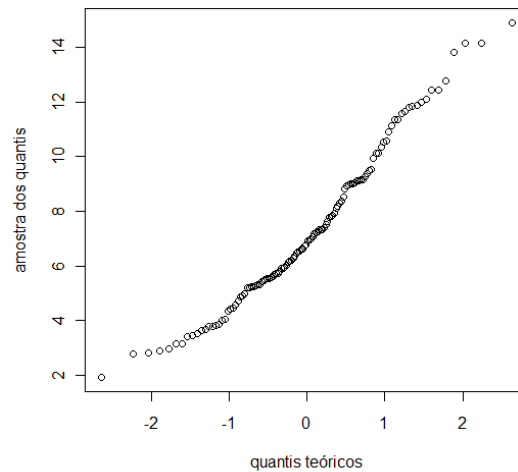


Figura 40 – Q-q plot da força do lábio superior

A ANOVA para medidas repetidas dos dados obtidos para lábio superior apresentou p-valor= 0,1644, indicando que as médias das três medições podem ser consideradas iguais. O pressuposto de esfericidade também não foi violado (estatística épsilon de Greenhouse-Geisser \approx 1 (épsilon=0,96)).

Na análise do lábio inferior, ao contrário do que pôde ser notado para o lábio superior, observa-se graficamente (FIG.42 e 43) que há indícios de que o pressuposto de normalidade dos dados foi violado. Através do teste específico (p -valor $< 0,0001$) comprovou-se esta hipótese. Por esta razão foi contraindicado a realização da ANOVA para medidas repetidas através da abordagem paramétrica.

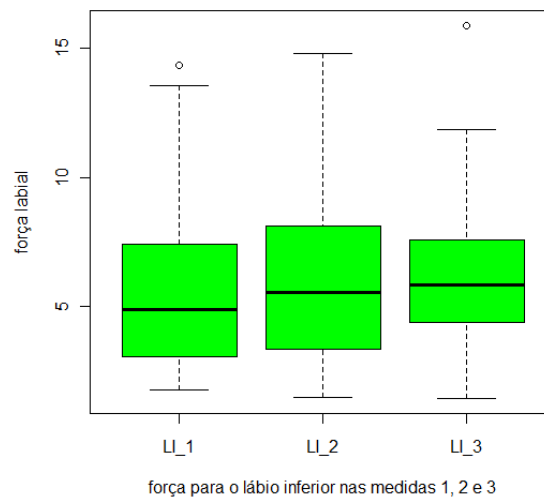


Figura 41 – Comportamento médio da força do lábio superior nas três medições

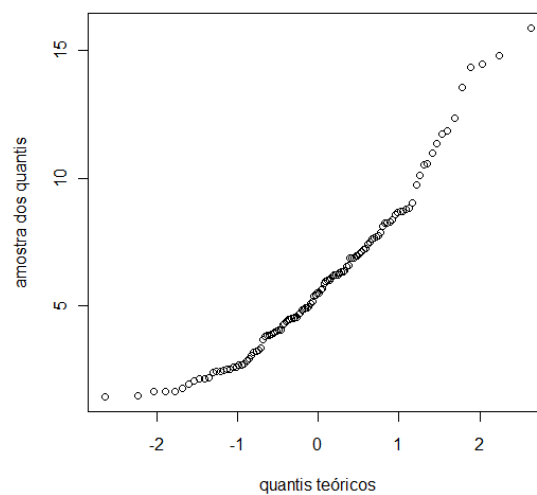


Figura 42 – Q-q plot da força do lábio superior

Contudo, recorreu-se à versão não-paramétrica do teste ANOVA, onde não são requeridos estes pressupostos. A versão não-paramétrica da ANOVA para medidas repetidas é denominada teste de Friedman. Obteve-se p -valor= 0,2554, levando à não rejeição da hipótese testada. Assim sendo, é possível confirmar a consideração de que não há diferença estatisticamente significativa entre as três medições da força labial para o lábio inferior.

Verificou-se, por meio de análise estatística apropriada, que há diferença estatisticamente significativa entre as forças realizadas pelos lábios inferior e superior (p -valor $< 0,0001$), o que corrobora a análise qualitativa gráfica (FIG.39).

6. Modelo Computacional do Músculo Orbicular da Boca

Com o objetivo de aprofundar o estudo sobre as características anatômicas e a biomecânica comportamental do músculo orbicular da boca foi desenvolvido um modelo computacional tridimensional desta musculatura.

Esta parte do estudo, relacionada à Biomecânica Computacional, foi desenvolvida em parceria com a Universidad de Zaragoza, Espanha, sendo os trabalhos iniciados durante período de doutoramento sanduíche da autora.

Inicialmente foi realizada a reconstrução da geometria do músculo orbicular da boca, a partir de imagens de ressonância magnética. As imagens utilizadas foram de um indivíduo adulto jovem, do sexo feminino, de 27 anos de idade, que não apresentava nenhuma alteração de força, forma ou função das estruturas do sistema sensorio motor oral. O modelo geométrico foi utilizado em uma análise preliminar via método dos elementos finitos, buscando-se simular a contração do músculo orbicular.

6.1 Construção do Modelo Geométrico

A realização do exame de ressonância magnética aconteceu na Clínica de Imagem Ecoar (FIG.43), em uma parceria com a UFMG. O equipamento utilizado era da marca GE modelo HDe.



Figura 43 – Análise do gráfico de força labial x tempo de medição

A aquisição da imagem de ressonância magnética é um processo resultante da resposta dos prótons existentes nos núcleos do átomo de hidrogênio mediante a uma energia eletromagnética de

radiofrequência específica que ocorre quando o indivíduo é posicionado dentro de um campo magnético. Isto é, o corpo humano é constituído por aproximadamente dois terços de água, sendo que cada molécula de água possui átomos de oxigênio e hidrogênio. O núcleo do átomo de hidrogênio possui uma propriedade que, quando exposta a um campo magnético forte, alinha-se numa determinada posição em relação a este campo magnético externo e retorna à posição inicial quando as ondas de radiofrequência do campo magnético cessam, funcionando semelhantemente a um ímã. Durante esse processo, os núcleos absorvem e emitem certa energia que varia de acordo com cada tecido, o que gera uma frequência de ressonância que resulta posteriormente, por meio de um processo complexo, em uma imagem (Baer et al., 1991; Hornak, 1996).

Após o término da excitação dos átomos de hidrogênio ocorre o processo de relaxamento, que é o mecanismo pelo qual a magnetização retorna lentamente ao estado inicial de equilíbrio. Na realidade, a rapidez com que o conjunto de spins volta ao estado de equilíbrio depende do tipo de tecido ao qual eles pertencem. No processo de relaxamento distinguimos dois tipos de relaxamento: relaxamento longitudinal e relaxamento transversal, os quais são descritos pelas constantes de tempo T1 e T2, respectivamente. Quanto mais longo o T1 e o T2 mais tempo demora o processo de relaxamento. T2 é sempre menor (ou igual) a T1, isto é, a magnetização transversal decresce mais rapidamente do que a magnetização longitudinal. Os valores de T1 e T2 dependem da intensidade das interações entre os spins magnéticos e da frequência com que estas interações estão sendo moduladas. Pode-se falar que T1 e T2 dependem das propriedades moleculares de cada tecido, e assim podemos diferenciar a gordura, a substância branca⁴⁶, a substância cinzenta⁴⁷, o edema ou o liquor⁴⁸ através de seus diferentes tempos de relaxamento, já que T1 e T2 aumentam nesta ordem (Baer et al., 1991) (FIG.44).

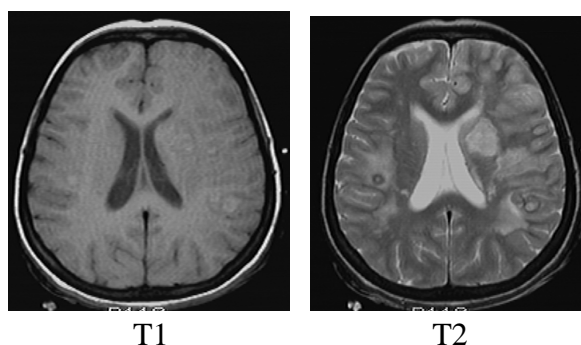


Figura 44 – Imagens ilustrativas de ressonância magnética obtidas em T1 e T2 (Hornak, 1996)

Uma vez que a indicação clínica para realizar um exame de ressonância magnética exclusivo do músculo orbicular da boca inexistente, o protocolo utilizado para obtenção das imagens foi

adaptado a partir de outros protocolos existentes para avaliar outras regiões da face. As características das imagens utilizadas estão apresentadas na FIG.45.

Plano e tempo de tomada das imagens	Quantidade dos cortes	Espessura dos cortes
Coronal T2	24 cortes (imagens) de cada posição	4.0 x 0.4 mm
Coronal T1		
Axial T2		3.5 x 0.5 mm
Axial T1		
Sagital T2		3.5 x 0.5 mm
Sagital T1		

Figura 45 – Protocolo utilizado para obtenção das imagens de ressonância magnética do músculo orbicular da boca

As imagens de ressonância magnética foram utilizadas para obtenção da geometria do músculo (FIG.46). O programa utilizado para reconstrução das imagens foi o Mimics 10.0TM (Materialise, 2010), *software* especialmente desenvolvido para o processamento de imagens médicas. A marcação das regiões correspondentes ao músculo orbicular da boca foi realizada manualmente para cada corte, considerando os diferentes planos disponíveis (coronal, axial e sagital).

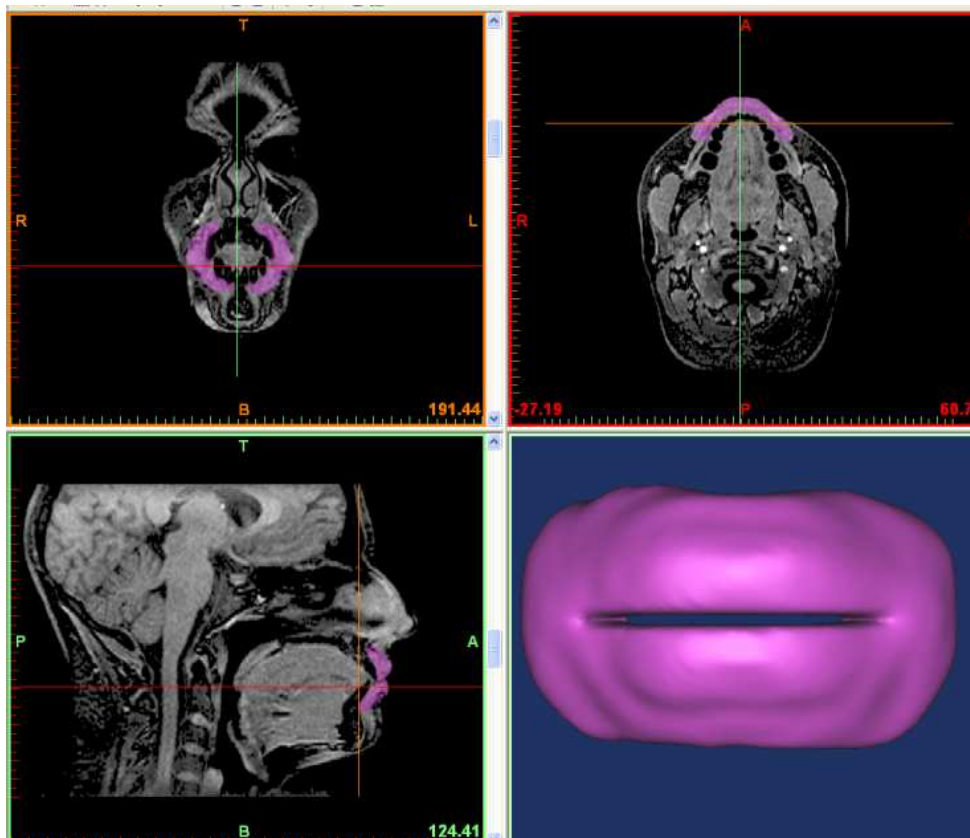


Figura 46 – Modelo geométrico do músculo orbicular da boca

Após obtenção da geometria foi gerada uma malha preliminar de elementos finitos no programa Harpoon® (FIG.47). As características da malha obtida foram: 28.740 nós e 52.474 elementos, dos quais 19.082 são hexaedros, 2.641 prismas de base triangular e 30.751 tetraedros. Pretende-se posteriormente utilizar esta malha como primeiro passo na análise de tensões e deslocamentos do músculo quando contraído.

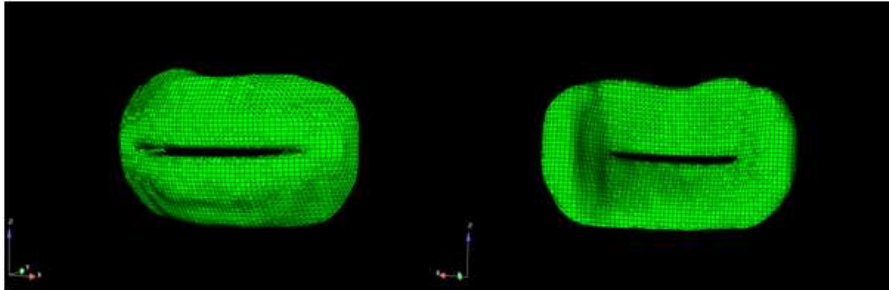


Figura 47 – Modelo geométrico do músculo orbicular da boca

Com o objetivo de validar o modelo geométrico foram realizadas medidas antropométricas *in vivo*, na pessoa cujas imagens foram utilizadas para modelagem. Utilizou-se um paquímetro digital Pró-Fono. Foi realizada medida da altura do músculo – medição no sentido vertical (FIG.48A), considerando superiormente o ponto central da região subnasal e inferiormente a região da fronteira entre o músculo orbicular da boca e o músculo mental (ponto demarcado após solicitação da contração de ambos os músculos). Foi mensurada a largura da abertura da boca avaliando a distância entre as comissuras labiais (FIG.48B). Avaliou-se também a espessura do lábio superior e inferior por meio do leve apoio do paquímetro sobre a pele (FIG.49).

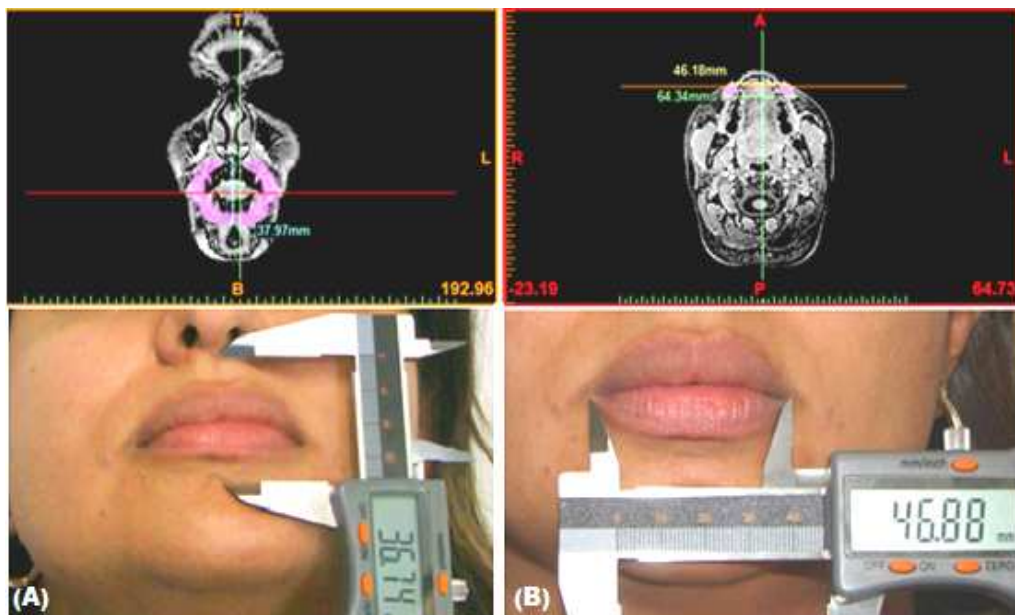


Figura 48 – Medidas obtidas no modelo geométrico (superior) e medidas antropométricas do músculo orbicular da boca obtidas *in vivo* (inferior)

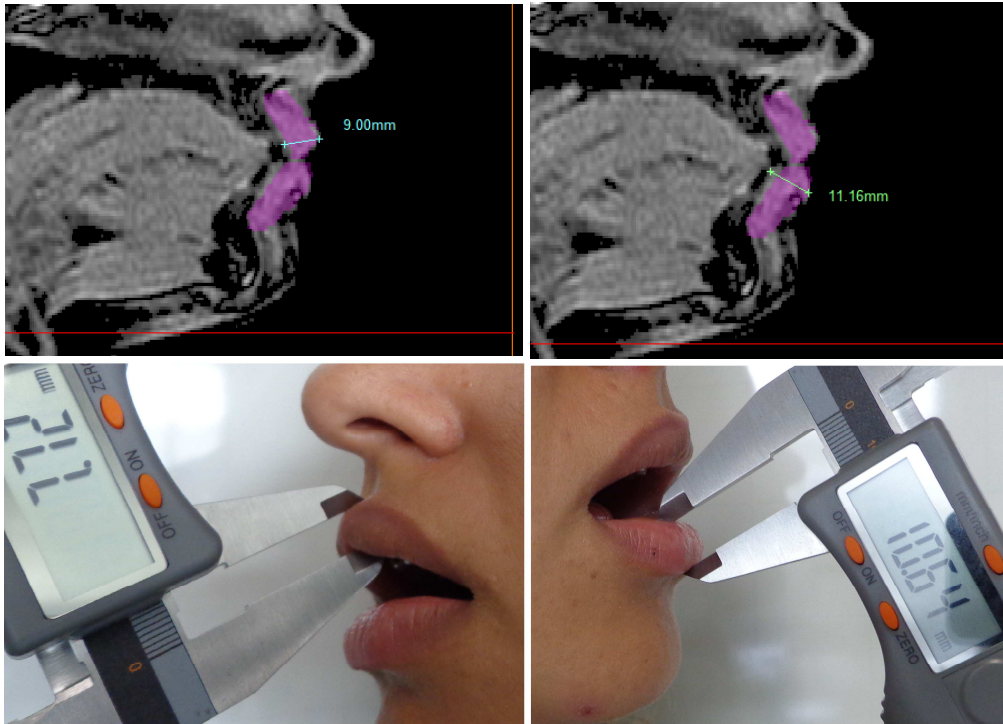


Figura 49 – Medidas obtidas no modelo geométrico (superior) e medidas antropométricas do músculo orbicular da boca obtidas in vivo (inferior)

Foram realizadas três medidas para cada região avaliada por um mesmo avaliador. Os dados obtidos foram comparados as medidas feitas na imagem de ressonância magnética do lábio, tendo apresentados grande semelhança (TAB.3). Com estes dados o modelo foi validado.

Tabela 3 – Medidas antropométricas e da imagem de ressonância magnética do lábio

	Medidas antropométricas				Medidas feitas nas imagens médicas
	Medida 1	Medida 2	Medida 3	Média das 3 medidas	
Altura	37,9	36,7	36,1	36,9	38,0
Largura da abertura	47,1	46,9	47,5	47,2	46,2
Espessura lábio superior	8,1	7,7	8,0	8,0	9,0
Espessura lábio inferior	10,2	10,6	11,2	10,7	11,2

7. Análise Crítica dos Resultados

Diversos são os problemas encontrados no processo de medição da força de estruturas orais, como lábios, língua e bochechas. Isso acontece por tratar-se de estruturas pertencentes a sistemas biológicos complexos, susceptíveis a mudanças ambientais, comportamentais e anatômicas. Portanto, como ressalta Ingervall e Janson (1981), avaliar a força dos lábios de maneira quantitativa não é uma tarefa fácil.

A busca por metodologias que forneçam dados quantitativos às intervenções clínicas na área da saúde é constante entre o meio científico. Como apresentado, encontram-se na literatura diferentes propostas metodológicas para avaliar a força labial. Grande parte destes estudos apresenta uma adaptação ao dinamômetro, instrumento utilizado para a medição de forças (Garliner, 1971; Posen, 1976; Ingervall e Janson; 1981; Thuer e Ingerval, 1990; Cantero et al., 2003; González et al., 2004; Garreto, 2005). A grande desvantagem desta linha de instrumentação é a necessidade que uma pessoa, no caso o avaliador, realize a estabilização ou um movimento de tração do aparelho contra os lábios, de modo a medir a força desta estrutura. Com isto componentes subjetivos estão presentes, pois cada profissional terá um parâmetro diferente para apoiar o instrumento.

Outros instrumentos relatados na literatura para avaliação da força labial utilizam sensores, de força ou pressão, fixados aos dentes (Gentil e Tournier, 1998; McHenry et al., 1999; Ruan et al., 2005; Ruan et al., 2007; Valentim, 2012). Estes sensores são fixados por meio de colas especiais ou pastas odontológicas colantes. A grande desvantagem deste tipo de instrumentação é a dificuldade de acomodação dos eletrodos nos pontos idealizados e posteriormente a reprodução no posicionamento destes eletrodos para reavaliações comparativas, como por exemplo, pré e pós tratamento mioteràpico²⁵. O instrumento proposto neste estudo elimina este possível erro uma vez que o mordedor direciona o correto posicionamento de todas as demais peças que compõem a instrumentação.

Alguns pesquisadores propõem ainda, como maneira de se avaliar a força labial, instrumentos compostos por uma peça que se insere entre os lábios e os dentes e é conectada, por meio de um fio de aço, a uma célula de carga (Hägg e Anniko, 2008; Hägg et al., 2008; Perilo, 2008; Hägg e Anniko, 2010). Neste caso o maior problema encontrado também é a manutenção da postura do paciente, de modo a garantir que o fio esteja completamente tracionado e que o movimento realizado seja feito pelo músculo labial e não pela movimentação de cabeça. A utilização de um mordedor para estabilização nas arcadas dentárias e um instrumento cujas peças

encontram-se estabilizadas por este mordedor, é possível garantir que a movimentação do corpo e da cabeça não influenciará nos resultados obtidos.

Os estudos mais recentes que tem como objetivo apresentar instrumentos para avaliação da força labial descrevem aparelhos que avaliam a força de fechamento dos lábios (Jung et al., 2010; Lambrechts et al., 2010; Sabashi et al., 2011). Estes instrumentos, constituídos por placas posicionadas sobre o lábio inferior, avaliam a força de apertamento dos lábios. Este tipo de instrumentação parece ser mais simples de ser construída, uma vez que independe das características oclusais do paciente. A principal desvantagem em avaliar a força de fechamento dos lábios é a influencia da musculatura perioral. O músculo orbicular da boca apresenta forma circular e sua contração faz com que os lábios, além de se unirem, pressionem os dentes para dentro, sendo assim, para poder conhecer a força produzida por esta musculatura é indicado se pensar em outras possibilidades de se avaliar a ação deste músculo.

Em todo procedimento de medição é indispensável a caracterização do instrumento, ou seja, a apresentação das incertezas inerentes ao aparelho. A quase totalidade dos trabalhos publicados não apresenta as características metrológicas do instrumento utilizado, o que pode levar a obtenção de resultados errôneos. Este estudo descreve cada etapa envolvida no processo de calibração do FORLAB. Por se tratar de um instrumento que possui quatro sensores para aquisição de dados, foram obtidas quatro curvas distintas de calibração. Os valores da incerteza expandida, que representa a somatória de todas as fontes de incerteza analisadas, variaram de 2,26 a 20,75%, dependendo do canal e faixa de força avaliada. Os valores mais altos da incerteza foram observados nas primeiras faixas de força analisadas (até 13,92 N). Este fato pode ter sido observado por se tratar da faixa inicial da capacidade de medição dos sensores, que se estende de 0 a 110 N. Apesar das altas incertezas encontradas em determinadas faixas de valores, não foi encontrado no mercado nenhum outro sensor que apresentasse as características de flexibilidade, tamanho reduzido e biocompatibilidade, apresentadas pelo *Flexiforce*.

A comparação dos valores de força avaliados com os demais estudos descritos na literatura torna-se difícil, uma vez que cada estudo descreve a análise da força labial obtida em um sentido de contração diferente. Alguns estudos avaliam a força de fechamento dos lábios (Unemori et al., 1996; Trotman et al., 2007; Jung et al., 2003; Jung et al., 2010; Lambrechts et al., 2010; Sabashi et al., 2011), outros avaliam a força dos lábios sobre os dentes (Gentil e Tournier, 1998; Mc Henry et al., 1999; Ruan et al., 2005; Ruan et al., 2007; Valentim, 2012) e outro grupo de pesquisadores avalia a força imposta pelos lábios sobre algum inserto intralabial acomodado na região do vestíbulo oral, apoiado por fios ou hastes metálicas rígidas (Garliner, 1971; Posen, 1976; Ingerval e Janson, 1981; Thüer e Ingerval, 1990; Cantero et al., 2003; González et al., 2004; Garreto et al., 2005; Perilo, 2008; Hägg e Aniko, 2008; Hägg et al., 2008). Considerando o sentido de contração

exigido, os resultados deste trabalho foram comparados com os estudos desenvolvidos por este último grupo de pesquisadores. É importante ressaltar que, em nenhum destes estudos, o inserto intralabial utilizado foi estabilizado, ou seja, a reprodução do correto posicionamento desta peça era impossibilitado. Neste estudo, o inserto intralabial, caracterizado por todo o conjunto mecânico do FORLAB, foi acoplado ao mordedor e conseqüentemente estabilizado na arcada dentária, de modo que seu posicionamento era exatamente reproduzido em cada medição realizada. Esta característica evita uma série de erros que podem influenciar na obtenção da força labial avaliada, a ressaltar a postura do paciente no momento da avaliação.

Mesmo considerando o grupo de pesquisadores que avaliou a força labial por meio de uma peça posicionada no vestíbulo oral, ou seja, no mesmo sentido de contração deste estudo, observa-se grande diferença entre as forças encontradas. Alguns destes trabalhos descrevem valores de força labial máxima variando entre 0,69 a 3,42 N (Posen, 1976; Ingerval e Janson; 1981; Cantero et al., 2003; González et al., 2004), sendo o instrumento utilizado uma adaptação ao dinamômetro. Outro estudo apresentou valor médio de 8,9 N (Perilo, 2008) e outros descrevem forças variando entre 13,3 a 24,7 N (Garreto et al., 2005; Hägg e Aniko, 2008; Hägg et al., 2008), para sujeitos saudáveis, sendo os instrumentos utilizados na avaliação compostos por uma célula de carga. No presente estudo foram encontrados valores de força que variaram de 3,45 a 29,46 N, com média de 13,27 N. Estes resultados estão mais próximos dos encontrados por Garreto e colaboradores (2005), Perilo (2008), Hägg e Aniko (2008) e Hägg e equipe (2008), cujos estudos utilizaram instrumentos elaborados com células de carga. Este fato pode ter sido observado pelas variáveis controladas em cada um dos estudos.

A influência das variáveis gênero, idade, tipo facial, características oclusais e índice de massa corpórea são divergentes em alguns estudos e tampouco consideradas em outros. A literatura apresenta maior consistência nas análises relacionadas ao gênero, onde a força labial apresenta-se maior nos indivíduos do sexo masculino quando comparados aos indivíduos do sexo feminino (Ruan et al., 2005; Jung et al., 2010; Lambrechts et al., 2010; Sabashi et al., 2011); idade, onde valores maiores de força são obtidos em indivíduos adultos jovens, quando comparados a crianças ou idosos (McHenry et al., 1999; Hägg e Anniko, 2010); e características oclusais, que descrevem modificações nos valores de força obtidos por indivíduos com má oclusão (Unemori et al., 1996; Ruan et al., 2007; Jung et al., 2010; Sabashi et al., 2011). Neste estudo as variáveis gênero e idade foram controladas, sendo a amostra composto apenas por mulheres adultas jovens. Acredita-se que as variáveis oclusão e tipologia facial, não controladas neste estudo, podem ter influenciado os resultados de força da amostra, levando à grande dispersão encontrada entre os valores médios de força labial total, que variaram entre 3,45 a 29,46 N, em sujeitos normais. Tal fato refletiu também na obtenção de altos valores de coeficientes de variação na análise das forças médias do lábio

superior, lábio inferior e força labial total. Segundo Frohlich e colaboradores (1990) é importante o controle do maior número de variáveis possíveis, mas o autor afirma que, mesmo mediante este cuidado, medições realizadas em seres humanos não são fáceis e os erros de caráter biológico são inevitáveis.

Poucos são os instrumentos descritos na literatura que possibilitam a avaliação individualizada da força do lábio superior e inferior. O FORLAB permite a avaliação isolada de quatro partes distintas do músculo orbicular da boca, sendo tal aplicação inovadora entre os instrumentos de medição da força labial e altamente importante na avaliação clínica de pacientes respiradores orais e com paralisia facial unilateral. Os valores médios de força encontrados para o lábio superior foram de 7,33 N e para o lábio inferior 5,94 N. Estes valores estão de acordo com o estudo de Jung e colaboradores (2010), em que o lábio superior apresentou valores superiores quando comparado ao lábio inferior, e contradizem os estudos de Gentil e Tournier (1998) e Trotman e equipe (2007), que encontraram valores superiores para o lábio inferior. É importante ressaltar que estes estudos avaliaram a força labial de maneira diferente. Gentil e Tounier (1998) avaliaram a força exercida pelos lábios sobre os dentes durante o repouso e a fala por meio de sensores apoiados nos dentes. Durante a função de fala e no repouso os valores de força labiais podem variar muito, sendo dependentes das características oclusais e dos fonemas utilizados na avaliação. Já Trotman e equipe (2007) e Jung e colaboradores (2010) avaliaram a força de fechamento dos lábios, ou seja, os indivíduos impuseram a maior força que conseguiram sobre uma placa apoiada entre o lábio superior e inferior. Neste movimento a influência da força de músculos adjacentes, principalmente o músculo mental, pode ser acrescida aos reais valores de força do lábio inferior caso esta ação não seja controlada, fato ocorrido no estudo de Trotman e equipe (2007). Já Jung e colaboradores (2010) descrevem em sua metodologia estratégias utilizadas para considerar a ação do músculo mental. As características do sistema mecânico e o posicionamento do FORLAB na cavidade oral impediram que forças provocadas pela contração do músculo mental fossem transmitidas aos sensores, fazendo com que os valores obtidos fossem exclusivamente do músculo orbicular da boca.

A análise estatística indicou semelhança nos valores encontrados entre as três medições realizadas consecutivamente no mesmo participante. Esta afirmação apresenta importante impacto clínico, uma vez que reflete a possibilidade de reprodução dos valores de força obtidos, favorecendo a identificação de variações nesta força, seja prejudicada pela presença de alguma patologia ou mesmo promovida mediante treinamento muscular. É importante enfatizar que deverão ser realizados estudos para validação do FORLAB, analisando características de sensibilidade e especificidade do instrumento.

Com relação ao modelo computacional desenvolvido, este apresentou-se como uma ferramenta inovadora na área da Fonoaudiologia. O uso da Biomecânica Computacional traz subsídios importantes para melhor compreensão e conhecimento das características e comportamento dos músculos orofaciais.

Neste estudo a ressonância magnética possibilitou a obtenção do modelo geométrico do músculo orbicular da boca, sendo as dimensões do lábio, obtidas nestas imagens, correspondentes aos valores mensurados na estrutura real. A comparação das medidas obtidas *in vivo* e no modelo para a altura e largura do músculo bastante próximos, considerando que estas medidas não são influenciadas por outros tecidos, como pele ou gordura. O que não é verdadeiro para a comparação das medidas da espessura do lábio superior e inferior, onde o posicionamento do paquímetro é dificultado pela ação da pele e gordura, que são tecidos facilmente deformáveis. Portanto, pequena variação na pressão colocada para apoio do paquímetro sobre o lábio levava a modificações nas medidas obtidas. As medições nas imagens médicas também foram cuidadosamente realizadas, utilizando como apoio figuras anatômicas e treinamento visual do avaliador. Na tentativa de controlar as possíveis variáveis que pudessem interferir na obtenção dos resultados, todas as medições foram realizadas pelo mesmo avaliador. Dificuldade foi encontrada na definição dos limites entre os músculos elevadores do lábio superior e o músculo orbicular da boca e também na região dos módolos, conforme relatado também por Nazari e equipe (2010). Nestas regiões verifica-se sobreposição de diferentes grupos musculares, o que dificulta a visualização do limite entre cada grupo muscular nas imagens de ressonância magnética.

Como aplicação clínica da modelagem computacional podemos citar, por exemplo, casos em que o paciente apresenta um déficit na força labial e, conseqüentemente, exerce uma força reduzida nos dentes anteriores. Ao aplicar as forças que levam ao deslocamento dentário será possível estudar os efeitos resultantes oclusais. Outra patologia de interesse é a simulação de casos de paralisia facial. Será possível investigar o comportamento que a hemiface comprometida poderá adquirir ao longo do tempo caso o paciente não realize o treinamento muscular indicado, ou mesmo, simular o comportamento dos músculos adjacentes mediante a melhora do quadro clínico. Com o aprimoramento do modelo será possível também a simulação de quadros patológicos ou mesmo a investigação de situações em que envolvam o estudo e tratamento de doenças orofaciais. A validação mais profunda e completa do modelo é necessária (aspectos qualitativos e/ou valores quantitativos obtidos nos testes experimentais de força deverão ser comparados aos resultados das simulações).

Portanto, a fim de aperfeiçoar o uso e a aplicação do modelo apresentado, outros elementos anatômicos devem ser considerados, tais como os músculos periorais, suporte ósseo, dentes e ainda músculos específicos, como os que formam a estrutura lingual. Um modelo mais abrangente da

estrutura oral pode ser bastante complexo, onde a implementação de algoritmos eficientes torna-se importante para o desenvolvimento de ferramentas de simulação eficazes, mas tornara-lo mais robusto e fiel a realidade.

8. Conclusões e Trabalhos Futuros

Abaixo estão apresentadas as principais conclusões deste estudo e sugestões para próximas pesquisas.

8.1 Conclusões

Foi desenvolvido um instrumento capaz de avaliar quantitativamente a força dos lábios, denominado FORLAB.

A construção do FORLAB envolveu o desenvolvimento dos sistemas mecânico e eletrônico, tendo os mesmos apresentado características favoráveis como fácil manuseio, transporte e adaptação em diferentes indivíduos.

A calibração do instrumento apresentou incertezas expandidas de medição variando de 2,26 a 20,75%.

Foram encontrados valores médios da força labial total entre 3,45 a 29,96 N, com média de 13,27 N, para indivíduos saudáveis do sexo feminino. Foram encontrados valores superiores para a força do lábio superior (7,33 N), quando comparada a força apresentada pelo lábio inferior (5,94 N).

Foi encontrada semelhança estatística nos valores obtidos nas três medições da força labial realizadas consecutivamente no mesmo participante, podendo tais medidas ser consideradas iguais.

Foi construído um modelo geométrico do músculo orbicular da boca por meio da análise de imagens de ressonância magnética, o qual foi validado por meio de medidas antropométricas realizadas *in vivo*.

8.2 Sugestões de Trabalhos Futuros

- A aplicação do FORLAB em uma amostra maior, com a realização de avaliações em dias distintos, com o intuito de avaliar a característica de reprodutibilidade do instrumento;
- A utilização do FORLAB em diferentes grupos, a saber, indivíduos de diferentes gêneros, tipos faciais e classificações oclusais;
- A avaliação da força labial de indivíduos com alteração nesta estrutura, como pacientes respiradores orais, com paralisia facial, pacientes disfágicos, etc.;
- A utilização do FORLAB como instrumento para biofeedback na realização da terapia fonoaudiológica;

- A complementação do modelo computacional do músculo orbicular da boca com a adição das estruturas adjacentes, como os músculos periorais, dentes, língua e estruturas ósseas;
- Análise computacional a partir do modelo geométrico obtido e comparação dos resultados da simulação computacional com os valores de força dos testes experimentais utilizando o FORLAB;
- A construção de um modelo computacional dos lábios considerando a inserção do FORLAB na boca.

Abstract

The *orbicularis oris* muscle, which constitutes the human lips, actively participates in significant functions such as sucking, mastication, swallowing, speech, breathing, and facial mimic. The principal aim of this study was to develop a device for measuring the lip force and for specific aim to development a computer model for the *orbicularis oris*. For building this device, a mechanical system was designed and manufactures using fast prototyping, composed by four intraorally positioned pieces. Four FlexiForce sensors were used for building the electronic system. The system for signal conversion, amplification, and transmission was elaborated, with the data collection being done by a PIC microcontroller with USB interface and the signal storage being done in a microcomputer. After the device calibration, 40 females subjects between 20 and 33 years of age (mean of 24.3) presenting closed lip habitual postural were evaluated. Three consecutive measurements of maximal lip force were performed, with contraction time of seven seconds and one-minute interval between tests. The obtained data was analyzed using the statistical software R, version 2.11, considering a significance level of 5%. Magnetic resonance images of the *orbicularis oris* of a healthy 27-year-old female subject were used for building the computerized model. Mimics was used for building the geometric model, which was validated by comparison with anthropometric measurements performed *in vivo*. The muscular behavior model was obtained from previous studies and applied in the finite element software ABAQUS™. Mean labial force values from 3.45 N to 29.96 N were found, with average of 13.27 N, and higher values were found for the upper lip force (7.33 N), when compared to the lower lip force (5.94 N). Statistical similarity was obtained in the values obtained in the three lip force measurements consecutively performed in the same participant.

Key words: Biomechanics, Instrumentation, Speech, Language and Hearing Sciences, Muscle Strength, Lip, Computer Simulation.

Referências Bibliográficas

- ALTMANN, E.B.C. **Fissuras labiopalatinas**. Carapicuíba: Pro-fono, 1997.
- ALVES, M. S. D. A.; CRUZ, V. L. B. **Embriologia**. 6ed. Belo Horizonte: Imprensa Universitária da UFMG, 2000.
- BAER, T.; GORE, J. C.; GRACCO, L. C.; NYE, P. W. Analysis of vocal tract shape and dimensions using magnetic resonance imaging: vowels. **Journal of the Acoustical Society of America**, v.90, n.2, p.799–828, 1991.
- BENTSIANOV, B.; BLITZER, A. Facial anatomy. **Clinics in Dermatology**, v.22, n.1, p.3-13, 2004.
- BUCKI, M.; NAZARI, M. A.; PAYAN, Y. Finite element speaker-specific face model generation for the study of speech production. **Computer Methods in Biomechanics and Biomedical Engineering**, v.13, n.4, p.459-467, 2010.
- CALVO, B.; RAMÍREZ, A.; ALONSO, A.; GRASA, J.; SOTERAS, F.; OSTA, R.; MUÑOZ, M. J. Passive nonlinear elastic behaviour of skeletal muscle: experimental results and model formulation. **Journal of Biomechanics**, v.43, p.318-325, 2010.
- CANTERO, L. S.; GONZÁLEZ, B. G.; FERNÁNDEZ, M. G. La fuerza labial superior y sus variaciones con la mioterapia. **Revista Cubana de Estomatología**, v.40, n.3, 2003.
- COMITÊ DE MOTRICIDADE OROFACIAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE FONOAUDIOLOGIA. **Motricidade Orofacial**: como atuam os especialistas. Comitê de Motricidade Orofacial – SBFa. Pulso: São José dos Campos, 2004.
- CHABANAS, M.; LUBOZ, V.; PAYAN, Y. Patient specific finite element model of the face soft tissues for computer-assisted maxillofacial surgery. **Medical Image Analysis**, v.7, n.2, p.131-151, 2003.
- DELAIRE, J.; PRECIOUS, D. Influence of the nasal septum on maxilonasal growth in patients with labiomaxillary cleft. **The Cleft Palate-Craniofacial Journal**, v.23, p.270-277, 1986.
- EKMAN, P.; OSTER, H. Facial expressions of emotion. **Annual Review of Psychology**, v.30, p.527-554, 1979.
- FELICIO, C. M.; TRAWITZKI, L. V. **Interfaces da medicina, odontologia e fonoaudiológica no complex cervico-craniofacial**. Barueri: Pro-Fono, 2009.
- FILGUEIRAS, J. **Dicionário de termos técnicos de odontologia**. Ministério da Educação e Cultura: Departamento de Ensino Médio, 1970.

- FROHLICH, K.; THUER, U.; INGERVALL, B. Pressure from the tongue on the teeth in young adults. **Angle Orthodontics**, v.61, n.1, p. 17-24, 1990.
- GARLINER, D. **Myofunctional therapy in dental practice**. 2. ed. New York: Bartel Dental Book Inc, 1971.
- GARRETO, A. L. Experiência fonoaudiológica no atendimento odontopediátrico e ortodôntico. In: MARCHESAN, I. Q. (org). **Tratamento da deglutição: a atuação fonoaudiológica em diferentes países**. São José dos Campos: Pulso, 2005.
- GENTIL, M.; TOURNIER, C. L. Differences in fine control of forces generated by the tongue, lips and fingers in humans. **Archives of Oral Biology**, v.43, p.517-523, 1998.
- GONZÁLEZ, B. G.; CANTERO, L. S.; BASNUEVA, B. A. A.; BETANCOURT, J. D. Fuerza labial superior em niños. **Revista Habanera de Ciencias Médicas**, v.3, n.8, 2004.
- GRASA, J.; RAMÍREZ, A.; OSTA, R.; MUÑOZ, M. J.; SOTARES, F.; CALVO, B. A 3D active-passive numerical skeletal muscle model incorporating initial tissue strains. Validation with experimental results on rat tibialis anterior muscle. **Biomechanics and Modeling in Mechanobiology**, v.10, n.5, p.779-787, 2011.
- HÄGG, M.; ANNIKO, M. Lip muscle training in stroke patients with dysphagia. **Acta Oto-Laryngologica**, v.128, n.9, p.1027-1033, 2008.
- HÄGG, M.; ANNIKO, M. Influence of lip force on swallowing capacity in stroke patients and in healthy subjects. **Acta Oto-Laryngologica**, v.130, n.11, p. 1204-1208, 2010.
- HÄGG, M.; OLGARSSON, M.; ANNIKO, M. Reliable lip force measurement in healthy controls and in patients with stroke: a methodologic study. **Dysphagia**, v.23, n.3, p.291-296, 2008.
- HIBBIT, KARLSSON, SORENSEN. **Abaqus user's guide**. , HKS inc. Pawtucket, RI, USA, v. 6.5, 2006.
- HORNAK, J. **The Basics of MRI**. <http://www.cis.rit.edu/htbooks/mri/>, 1996.
- HWANG, K.; KIM, D. J.; HWANG, S. H. Musculature of the pars marginalis of the upper orbicularis oris muscle. **Journal of Craniofacial Surgery**, v.18, n.1, p.151-154, 2007.
- INGERVALL, B.; JANSON, T. The value of clinical lip strength measurements. **American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics**, v.80, n.5, p.496-507, 1981.
- ISO 31-0 (1992). Disponível em <http://www.abntcatalogo.com.br/norma.aspx?ID=001537> [consultado em fevereiro de 2012].
- JACINTO-GONÇALVES, S. R.; GAVIÃO, M. B. D.; BERZIN, F.; OLIVEIRA, A. S.; SEMEGUINI, T. A eletromyographic activity of perioral muscles in breastfed and non-breastfed children. **The Journal of Clinical Pediatric Dentistry**, v.29, n.1, p.57-62, 2004.

- JUNG, M.; YANG, W.; NAHM, D. Effects of upper lip closing force on craniofacial structures. **American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics**, v.123, n.1, p.58-63, 2003.
- JUNG, M. H.; YANG, W. S.; NAHM, D. S. Maximum closing force of mentolabial muscles and type of malocclusion. **The Angle Orthodontist**, v.80, n.1, p.72-79, 2010.
- KIM, H.; JÜRGENS, F.; WEBER, S.; NOLTE, L. P.; REYES, M. A new soft-tissue simulation strategy for cranio-maxillofacial surgery using facial muscle template model. **Progress in Biophysics and Molecular Biology**, v.103, n.2, p.284-291, 2010.
- KUMADA, M.; NIITSU, M.; NIIMI, S.; HIROSE, H. A Study on the Inner Structure of the Tongue in the Production of the 5 Japanese Vowels by Tagging Snapshot MRI. **Annual Bulletin Research Institute of Logopedics and Phoniatics**, v.26, p.1-11, 1992.
- LAMBRECHTS, H.; BAETS, E.; FIEUWS, S.; WILLEMS, G. Lip and tongue pressure in orthodontic patients. **European Journal of Orthodontics**, v.32, n.4, p.466-471, 2010.
- LAPATKI, B. G.; MAGER, A. S.; SCHULTE-MÖNTING, J.; JONAS, I. E. The importance of the level of the lip line and resting lip pressure in Class II division 2 malocclusion. **Journal of Dental Research**, v.81, n.5, p.323-328, 2002.
- LATHAM, R. A.; DEATON, T. G. The structural basis of the philtrum and the contour of the vermilion border: A study of the musculature of the upper lip. **Journal of Anatomy**. v.121, n.1, p.151-160, 1976.
- MACHADO, A. **Neuroanatomia Funcional**. São Paulo: Atheneu, 2003.
- MATERIALISE. **Mimics**: Materialise Medical Software, 2010.
- McHENRY, M. A.; MINTON, J. T.; HARTLEY, L. L.; CALHOUN, K.; BARLOW, S. S. Age-related changes in orofacial force generation in women. **Laryngoscope**, v.109, n.55, p.827-830, 1999.
- MOONEY, M. P.; SIEGEL, M. I.; KIMES, K. R.; TODHUNTER, J. Development of the orbicularis oris muscle in normal and cleft lip and palate human fetuses using three-dimensional computer reconstruction. **Plastic and Reconstructive Surgery**, v.81, n.3, p.336-345, 1988.
- NAZARI, M. A.; PERRIER, P.; CHABANAS, M.; PAYAN, Y. Simulation of dynamic orofacial movements using a constitutive law varying with muscle activation. **Computer Methods in Biomechanics and Biomedical Engineering**, v.13, n.4, p.469-482, 2010.
- NIT DICLA 021. Disponível em http://www.inmetro.gov.br/Sidoq/Arquivos/Dicla/NIT/NIT-Dicla-21_08.pdf [consultado em fevereiro de 2012].
- NORDIN, M.; FRANKEL, V. H. **Basic Biomechanics of the Musculoskeletal System**. 3ed. Philadelphia: Lippincott Williams & Williams, 2001.

- ÖSKAYA, N.; LEGER, D. Introduction to Biomechanics: Basic terminology and concepts. In: NORDIN, M.; FRANKEL, V. H. **Basic biomechanics of the musculoskeletal system**. 3ed. Philadelphia: Lippincott Williams & Williams, cap1, p.2-16, 2001.
- OLSZEWSKI, R.; LIU, Y.; DUPREZ, T.; XU, T. M.; REYCHLER, H. Three-dimensional appearance of the lips muscles with three-dimensional isotropic MRI: in vivo study. **International Journal of Computer Assisted Radiology and Surgery**, v.4, p.349-351, 2009.
- PERILO, T. V. C. Protótipo para avaliação da força labial. **Programa de Pós Graduação em Engenharia Mecânica da Universidade Federal de Minas Gerais**. Dissertação de mestrado, 2008.
- POSEN, A. L. The application of quantitative perioral assesment to orthodontic case analysis and treatment planning. **The Angle Orthodontist**, v.46, n.2, p.118-143, 1976.
- PROFFIT, W. R.; FIELDS JR, H. W.; SARVER, D. M. (Org.). **Ortodontia Contemporânea**. 4ª Ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2007.
- PUTZ, R.; PABST, R. **Sobotta**: Atlas de Anatomia Humana. 21ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2000.
- RAMÍREZ, A.; GRASA, J.; ALONSO, A.; SOTERAS, F.; OSTA, R.; MUÑOZ, M.J.; CALVO, B. Active response of skeletal muscle: in vivo experimental results and model formulation. **Journal of Theoretical Biology**, v.267, n.4, p.546-553, 2010.
- REGALO, S. C.; VITTI, M.; MORAES, M. T.; SEMPRINI, M.; FELICIO, C. M.; MATTOS, M. D. A. G.; HALLAK, J. E.; SANTOS, C. M. Electromyographic analysis of the orbicularis oris muscle in oralized deaf individuals. **Brazilian Dental Journal**, v.16, n.3, p.237-242, 2005.
- ROGERS, C. R.; MOONEY, M. P.; SMITH, T. D.; WEINBERG, S. M.; WALLER, B. M.; PARR, L. A.; DOCHERTY, B. A.; BONAR, C. J.; REINHOLT, L. E.; DELEYIANNIS, F. W-B.; SIEGEL, M. I.; MARAZITA, M. L.; BURROWS, A. M. Comparative microanatomy of the orbicularis oris muscle between chimpanzees and humans: evolutionary divergence of lip function. **Journal of Anatomy**, v.214, n.1, p.36-44, 2009.
- RUAN, W.; CHEN, M.; GU, Z.; YUAN, L.; SU, J.; GUO, Q. Muscular forces exerted on the normal deciduous dentition. **The Angle Orthodontist**, v.75, n.5, p.785-90, 2005.
- RUAN, W.; SU, J.; YE, X. Pressure from the lips and the tongue in children with class III malocclusion. **Journal of Zhejiang University Science**, v.8, n.5, p.296-301, 2007.
- SABASHI, K.; WASHINO, K.; SAITOH, I.; YAMASAKI, Y.; KAWABATA, A.; MUKAI, Y.; KITAI, N. Nasal obstruction causes a decrease in lip-closing force. **The Angle orthodontist**, v.81, n.5, p.750-753, 2011.

- SALAZAR-CIUDAD, I.; JERNVALL, J. A computational model of teeth and the developmental origins of morphological variation. **Nature**, v.464, n.7288, p.583-586, 2010.
- SCHIMMEL, M.; LEEMANN, B.; CHRISTOU, P.; KILIARIDIS, S.; SCHNIDER, A.; HERRMANN, F. R.; MÜLLER, F. Oral health-related quality of life hospitalized stroke patients. **Gerodontology**, v.28, n.1, p.3-11, 2011.
- SOCIEDADE BRASILEIRA DE FONOAUDIOLOGIA (SBFa) – Comitê de Motricidade Orofacial. **Vocabulário técnico-científico em Motricidade Orofacial**. São Paulo, 2003.
- SOUZA, L. R. M. F.; FAINTUCH, S.; GOLDMAN, S. M.; LOUVEIRA, M. H.; AJZEN, S. A.; SZEJNFELD, J. Avaliação por ressonância magnética das massas pélvicas. **Revista Imagem**, v.25, n.1, p.5-11, 2003.
- TAMURA, Y.; MATSUSHITA, S.; SHINODA, K.; YOSHIDA, S. Development of perioral muscle activity during suckling in infants: a cross-sectional and follow-up study. **Developmental Medicine & Child Neurology**, v.40, n.5, p.344-348, 1998.
- TEIXEIRA, L. M. S.; REHER, O.; REHER, V. G. S. **Anatomia aplicada à odontologia**. 2 ed. Guanabara Koogan: Rio de Janeiro, 2008.
- THÜER, U.; INGERVALL, B. Effect of muscle exercise with an oral screen on lip function. **The European Journal of Orthodontics Advance Access**, v.12, n.2, p.198-208, 1990.
- TROTMAN, C. A.; BARLOW, S. M.; FARAWAY, J. J. Functional outcomes of cleft lip surgery. Part III: Measurement of lip forces. **The Cleft Palate-Craniofacial Journal**, v.44, n.6, p.617-623, 2007.
- UNEMORI, M.; SUGAWARA, J.; KAWAUCHI, M.; MITANI, H. A Pressure-Distribution Sensor (PDS) for evaluation of lip functions. **American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics**, v.109, n.5, p.473-480, 1996.
- VALENTIM, A. F. Avaliação da força sofrida pelos dentes com a ação de lábios e língua. **Programa de Pós Graduação em Engenharia Mecânica da Universidade Federal de Minas Gerais**. Dissertação de mestrado, 2012.
- VENTURA, S. M.; FREITAS, D. R.; TAVARES, J. M. Application of MRI and biomedical engineering in speech production study. **Computer Methods in Biomechanics and Biomedical Engineering**, v.12, n.6, p.671-681, 2009.
- VENTURA, S. M.; FREITAS, D. R.; TAVARES, J. M. Toward dynamic magnetic resonance imaging of the vocal tract during speech production. **Journal of Voice**, v.25, n.4, p.511-518, 2011.

- WEN, Y. X.; SHI, B.; YANG, Z. Q. Mechanical force distribution on cleft maxillary finite-element models after alveolar and hard palate bone graft. **West China Journal of Stomatology**, v.24, n.2, p.117-20, 2006a.
- WEN, Y.; SHI, B.; YANG, Z. The mechanical force analysis of cleft maxillary three dimensional finite element models after alveolar bone graft. **Journal of Biomedical Engineering**, v.23, n.6, p.1253-7, 2006b.
- WILHELMS-TRICARICO, R. Physiological modeling of speech production: methods for modeling soft-tissue articulators. **Journal of the Acoustical Society of America**, v.97, n.5, p.3085-3098, 1995.
- WILHELMS-TRICARICO, R. A biomechanical and physiologically – based vocal tract model and its control. **Journal of Phonetics**, v.24, n.1, p.23-38, 1996.
- ZEMLIN, W. R. **Princípios de anatomia e fisiologia em fonoaudiologia**. 4ed. São Paulo: Artmed, 2005.

Apêndice 1

No glossário abaixo encontram-se as terminologias da área da saúde que apareceram ao longo do trabalho. Para os termos que apresentavam explicações complexas na literatura, optou-se por utilizar palavras da autora para defini-los.

- 1) Motricidade Orofacial: É o campo da Fonoaudiologia voltado para o estudo/pesquisa, prevenção, avaliação, diagnóstico, desenvolvimento, habilitação, aperfeiçoamento e reabilitação dos aspectos estruturais e funcionais das regiões orofacial e cervical (Comitê de Motricidade Orofacial da Sociedade Brasileira de Fonoaudiologia, 2004).
- 2) Derme: Camada profunda da pele.
- 3) Arcos branquiais: Durante o desenvolvimento embrionário surgem, por volta das 4 a 5 semanas uma série de estruturas chave para o desenvolvimento da cabeça e pescoços, os arcos faríngeos ou arcos branquiais (Alves e Cruz, 2000).
- 4) Lâmina mandibular: Arco branquial que dará origem à mandíbula (Alves e Cruz, 2000).
- 5) Lâmina infraorbital: Arco branquial que dará origem à maxila (Alves e Cruz, 2000).
- 6) Estudos histológicos: É o estudo dos tecidos biológicos, sua formação, estrutura e função. É uma das disciplinas fundamentais dos cursos das áreas biológicas e de saúde (Alves e Cruz, 2000).
- 7) Arcadas dentárias: Arcos formados pelo conjunto de dentes e seus respectivos ossos de sustentação da maxila e mandíbula (Proffit et al., 2007).
- 8) Bordas incisais dos dentes: Região da borda dos dentes incisivos, verificada na FIG.50 (Filgueiras, 1970).
- 9) Bordas oclusais dos dentes: Região da borda dos dentes pré molars e molars (Filgueiras, 1970).
- 10) Músculos periorais: São os músculos que se localizam em volta da boca.
- 11) Modíolos: Localizados bem próximos às comissuras labiais, trata-se de regiões formadas pelo encontro das fibras musculares provenientes de vários músculos periorais.
- 12) Sistema sensorio motor oral: Sistema responsável pela execução das funções de fala, mastigação, deglutição e respiração.
- 13) Recidiva: É a volta da má oclusão que existia previamente ao tratamento ortodôntico (Filgueiras, 1970).
- 14) Tônus: Estado natural de contração do músculo (SBFa, 2003)

- 15) Tipo facial: Classificação da característica da conformação da face, podendo o indivíduo ser classificado como apresentando face curta/braquifacial, face longa/dolicofacial ou face média/mesofacial.
- 16) Classificação oclusal: Classificação baseada na avaliação do contato dos dentes maxilares e mandibulares quando fechados (SBFa, 2003). A classificação mais utilizada pelos dentistas é a Classificação de Angle (FIG.51).
- 17) Variáveis cefalométricas: Conjunto de medidas utilizadas no estudo das dimensões das estruturas anatômicas do crânio e da face, mais utilizadas na odontologia para diagnósticos, planejamentos e acompanhamento das modificações das dimensões das estruturas do crânio e da face (Filgueiras, 1970).
- 18) Incisivos: Dentes anteriores mostrados na FIG.52.
- 19) Selamento labial: Ato de permanecer com os lábios fechados.
- 20) Cirurgia ortognática: Procedimento cirúrgico odontológico que visa restabelecer um padrão facial normal em pacientes adultos que apresentam desenvolvimento ósseo facial inadequado (Felício e Trawitzki, 2009).
- 21) Terapia miofuncional orofacial: Intervenção com enfoque na reabilitação dos músculos e funções do sistema sensorio motor oral.
- 22) Funções orais: Funções de responsabilidade do sistema sensorio motor oral, como fala, mastigação, deglutição, respiração.
- 23) Má oclusão: Irregularidade no posicionamento dos dentes, ou uma má relação entre os arcos dentários (SBFa, 2003)
- 24) Selamento labial incompetente: Ato de permanecer com os lábios abertos total ou parcialmente.
- 25) Tratamento mioterápico: Intervenção com enfoque na reabilitação muscular
- 26) Face lingual: Face dos dentes que está em contato com a língua (Filgueiras, 1970), como pode ser visto na FIG.50.
- 27) Face palatal: O mesmo que face lingual (Filgueiras, 1970).
- 28) Face vestibular: Face dos dentes que está em contato com os lábios (Filgueiras, 1970), visualizada na FIG.50.
- 29) Molares: Dentes posteriores mostrados na FIG.52.
- 30) Fenda labial/palatina/labiopalatina: Mal formação genética caracterizada pela abertura na região do lábio ou palato, ocasionada pelo não fechamento dos arcos branquiais, que ocorre entre a quarta e a décima semana de gestação. Pode ocorrer o comprometimento apenas do lábio (fenda labial), palato (fenda palatine), ou ambos (fenda labiopalatina) (Altmann, 1997).

- 31) Face labial: O mesmo que face vestibular.
- 32) Oclusão do tipo Classe III: Relação entre os molares que indica que a mandíbula está mais anteriorizada do que a maxila (FIG.51) (Filgueiras, 1970).
- 33) Acidente vascular encefálico: Doença caracterizada pela perda rápida da função neurológica decorrente do entupimento (isquemia) ou rompimento (hemorragia) de vasos sanguíneos cerebrais.
- 34) Paralisia facial: Interrupção parcial ou total das fibras do músculo facial, responsável pela expressão facial (Comitê de Motricidade Orofacial da Sociedade Brasileira de Fonoaudiologia, 2004).
- 35) Disfagia: Dificuldade de deglutição.
- 36) Oclusão do tipo Classe I: Relação entre os molares que indica que existe uma relação normal entre a maxila e a mandíbula, porém existem anomalias de posição dentária, como pode ser visto na FIG.58 (Filgueiras, 1970).
- 37) Oclusão do tipo Classe II: Tipo de oclusão dividida em duas subclassificações: Divisão 1 – relação entre os molares que indica que a maxila está mais anteriorizada do que a mandíbula e os dentes anteriores projetados para fora, Divisão 2 – relação entre os molares que indica que a maxila está mais anteriorizada do que a mandíbula, os incisivos centrais inclinados para dentro e os laterais para fora. (FIG.51) (Filgueiras, 1970).
- 38) Oclusão: Contato dos dentes maxilares e mandibulares quando fechados (SBFa, 2003).
- 39) Hábitos orais deletérios: Atos repetitivos envolvendo as estruturas e funções do sistema sensorio motor oral. A frequência, intensidade e duração do hábito determinarão as alterações provocadas (Comitê de Motricidade Orofacial da Sociedade Brasileira de Fonoaudiologia, 2004).
- 40) Tecidos moles: Tecidos que apresentam-se ricos em fibras de colágeno e elastina. Possuem propriedades estruturais, pois transmitem força e realizam grandes deformações. Fazem parte dos tecidos moles o tecido conjuntivo, epitelial e muscular.
- 41) Trato vocal: É formado pelas cavidades que vão desde as pregas vocais até os lábios e as narinas (Zemlin, 2000).
- 42) Claustrofobia: Medo ou aversão à lugares fechados.
- 43) Dispnéia: Sintoma no qual a pessoa tem desconforto para respirar.
- 44) Articuladores: Estruturas do sistema sensorio motor oral que participam da articulação dos sons da fala (lingual, lábios, elementos dentários) (Zemlin, 2000).
- 45) Respiração oral: Respiração realizada predominantemente pela boca (SBFa, 2003).

- 46) Substância branca: Região do sistema nervoso central com grande predomínio de axônios de neurônios. Possui alta concentração de mielina, aparecendo como uma região clara nas análises patológicas (Machado, 2003).
- 47) Substância cinzenta: Região do sistema nervoso central com grande predomínio de corpos celulares e de dendrites (Machado, 2003).
- 48) Líquor: Fluido corporal estéril e de aparência clara que ocupa o espaço subaracnóideo no cérebro (espaço entre o crânio e o córtex cerebral) (Machado, 2003).

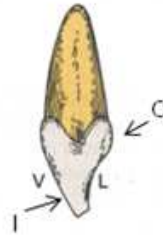


Figura 50 - Áreas cervical (C) e incisal (I), face vestibular (V) e lingual (L) do dente

Fonte: Teixeira e colaboradores (2008)

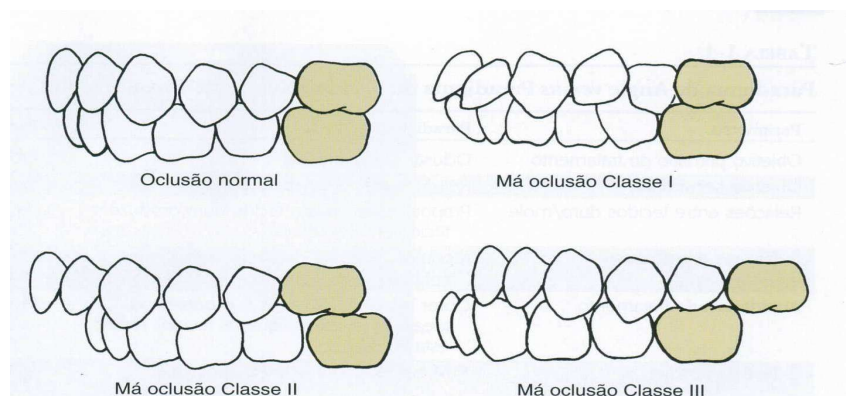


Figura 51 - Classificação oclusal

Fonte: Proffit e colaboradores (2007)

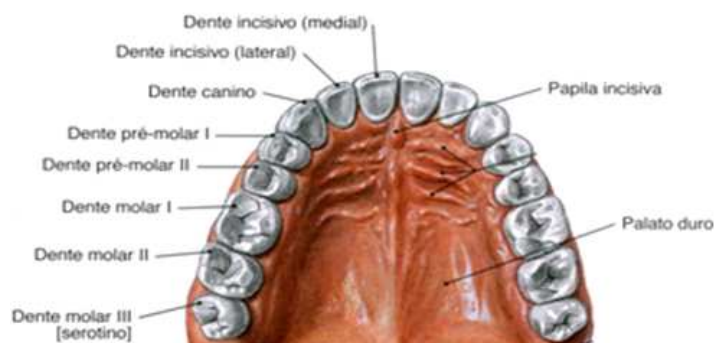


Figura 52 – Tipos de dentes

Fonte: Atlas de Anatomia Humana Sobotta (Putz e Pabst, 2000)

Apêndice 2

Tabela Apêndice 2 – Valores médios, no período de 5 segundos de medição, da força labial obtidos em cada canal nas três medições

Participante	Medição 1				Medição 2				Medição 3			
	Canal 1	Canal 2	Canal 3	Canal 4	Canal 1	Canal 2	Canal 3	Canal 4	Canal 1	Canal 2	Canal 3	Canal 4
1	6,25	8,97	7,61	6,62	5,50	8,42	7,71	7,33	5,93	7,74	8,14	7,66
2	5,61	6,20	5,90	6,41	4,57	4,83	6,48	8,01	6,07	6,52	4,59	7,16
3	5,65	5,82	3,02	4,11	5,30	4,19	3,26	4,40	4,51	4,76	2,90	4,94
4	4,61	3,65	3,16	4,28	6,02	4,29	4,31	4,47	4,41	4,37	4,47	4,33
5	2,31	2,22	0,80	2,39	4,42	2,03	2,30	2,96	3,43	2,20	1,98	2,69
6	3,58	3,43	4,49	4,00	5,24	4,57	5,93	5,66	4,03	5,02	5,22	5,24
7	3,85	2,46	1,58	1,68	6,02	3,81	1,26	2,53	3,74	2,52	1,72	2,41
8	1,75	3,88	1,58	2,43	5,52	4,52	3,03	2,85	6,68	5,68	2,96	4,72
9	4,18	3,47	2,75	4,09	2,88	3,02	1,37	1,20	1,10	1,87	0,58	1,36
10	7,62	6,62	5,77	5,68	5,40	5,60	5,22	4,66	5,51	6,49	4,75	4,30
11	3,93	1,26	2,91	3,53	2,96	4,42	4,19	4,63	4,93	4,13	5,08	5,10
12	4,32	4,99	3,34	4,51	4,43	4,23	4,29	4,36	4,04	3,98	3,87	4,07
13	2,02	1,79	1,44	2,16	2,98	2,81	4,10	4,55	2,64	1,89	2,00	2,98
14	3,42	2,06	1,20	2,24	4,92	4,01	2,45	2,61	4,55	2,52	2,91	3,19
15	2,03	1,92	1,09	1,56	3,17	1,51	1,59	3,37	4,61	1,83	1,87	4,53
16	3,12	2,51	0,96	1,37	2,34	2,98	1,23	0,12	2,20	3,92	1,64	3,25
17	3,45	2,05	0,61	1,08	3,24	3,10	0,46	1,85	4,76	2,47	0,68	1,06
18	1,97	2,47	2,84	4,14	2,30	2,63	2,26	4,23	1,73	1,31	2,71	3,75
19	3,46	2,91	2,06	2,58	5,28	5,18	4,02	4,90	4,96	4,71	4,32	4,02
20	2,33	2,58	0,24	3,09	4,03	4,36	0,21	4,31	2,72	2,92	1,39	2,99
21	3,06	3,26	3,77	3,85	4,39	3,59	2,82	4,14	4,36	4,36	2,68	4,06
22	1,88	1,67	1,13	1,57	1,68	1,48	0,68	0,95	1,95	2,07	0,82	0,87
23	1,31	1,51	0,45	1,97	2,00	1,70	0,29	2,33	1,87	1,67	2,26	1,79
24	3,44	3,94	4,17	4,07	4,14	4,41	2,18	2,13	4,72	4,42	2,57	2,13
25	3,54	3,02	2,22	3,11	5,51	4,97	2,28	3,85	5,56	5,96	2,18	3,73
26	2,49	3,54	6,27	7,20	1,66	1,96	3,60	3,73	2,24	2,91	3,60	3,28
27	4,14	3,92	1,19	1,86	4,71	4,29	2,63	3,29	6,12	5,56	2,51	4,38
28	2,29	1,58	1,13	0,97	1,93	2,23	1,65	1,83	3,04	2,15	1,27	3,19
29	5,59	6,20	3,20	3,15	6,99	4,98	2,57	3,26	4,89	6,09	2,46	3,86
30	3,27	4,50	4,00	3,81	2,46	4,44	3,63	3,41	2,30	2,65	1,94	2,19
31	2,29	3,39	1,38	2,49	2,69	1,84	1,40	1,54	2,83	3,02	1,57	2,76
32	1,88	1,96	1,07	1,87	2,54	2,98	0,82	1,46	1,96	2,02	0,73	1,78
33	4,11	3,31	2,40	2,80	3,61	2,70	1,70	2,30	4,52	3,13	2,93	3,59
34	3,45	3,81	1,27	2,86	4,11	3,21	2,09	3,10	4,88	5,48	2,57	3,39
35	1,38	1,72	0,88	1,31	1,78	1,67	1,00	1,39	2,64	3,24	1,67	2,65
36	4,42	4,53	2,69	3,48	4,37	2,66	2,73	3,63	2,66	2,69	1,68	3,12
37	3,21	2,31	0,92	1,28	2,65	2,72	1,12	1,44	0,89	1,11	0,80	0,65
38	3,51	4,01	2,05	2,40	2,88	2,63	2,05	2,16	3,26	3,36	2,13	2,31
39	3,59	2,74	3,13	2,64	3,06	2,88	2,85	2,43	3,26	3,97	2,72	3,11
40	6,43	5,73	5,61	5,25	6,56	5,46	5,67	4,86	6,50	5,18	3,83	4,17

Anexo 1

Canal 1																	
Valor de referência		Leituras no instrumento calibrado / V				Erros							Incertezas				
/g	/N	L1	L2	L3	L4	média / V	desvpad / V	desvpad / N	média / N	erro interp / N	resol / N	repet / N	interp / N	padrão / N	u / N	U / N	U / %
0	0	0,00	0,00	0,00	0,00												
510,45	4,99	0,23	0,27	0,25	0,37	0,28	0,06	1,11	5,17	0,17	0,04	0,19	0,07	0,05	0,21	0,42	8,13
912,72	8,93	0,74	0,49	0,61	0,66	0,62	0,11	1,70	10,22	1,29	0,05	0,56	0,53	0,09	0,77	1,55	15,13
1423,17	13,92	0,89	0,74	0,82	0,76	0,80	0,07	1,18	12,70	-1,22	0,06	0,85	-0,50	0,14	1,00	1,99	15,68
1937,73	18,96	1,21	1,03	1,12	1,04	1,10	0,08	1,41	18,91	-0,04	0,07	0,59	-0,02	0,19	0,62	1,25	6,60
2453,67	24,01	1,30	1,31	1,30	1,20	1,28	0,05	1,04	22,85	-1,15	0,07	0,71	-0,47	0,24	0,89	1,77	7,75
2755,02	26,95	1,42	1,45	1,44	1,26	1,39	0,09	1,46	25,23	-1,72	0,07	0,52	-0,70	0,27	0,92	1,84	7,28

Canal 2																	
Valor de referência		Leituras no instrumento calibrado / V				Erros							Incertezas				
/g	/N	L1	L2	L3	L4	média / V	desvpad / V	desvpad / N	média / N	erro interp / N	resol / N	repet / N	interp / N	padrão / N	u / N	U / N	U / %
0	0	0,00	0,00	0,00	0,00												
510,45	4,99	0,42	0,44	0,38	0,45	0,42	0,03	0,58	4,15	-0,85	0,03	0,20	-0,35	0,05	0,41	0,81	19,57
912,72	8,93	0,71	0,72	0,75	0,97	0,79	0,12	1,17	10,26	1,33	0,05	0,29	0,54	0,09	0,62	1,25	12,18
1423,17	13,92	1,09	0,90	0,99	1,20	1,05	0,13	1,26	15,03	1,10	0,06	0,58	0,45	0,14	0,75	1,51	10,03
1937,73	18,96	1,27	1,31	1,14	1,36	1,27	0,10	1,01	19,74	0,78	0,07	0,63	0,32	0,19	0,73	1,47	7,43
2453,67	24,01	1,44	1,50	1,56	1,41	1,48	0,07	0,80	24,04	0,04	0,08	0,50	0,01	0,24	0,56	1,13	4,68
2755,02	26,95	1,51	1,66	1,52	1,48	1,54	0,08	0,90	25,90	-1,05	0,08	0,40	-0,43	0,27	0,65	1,30	5,02

Canal 3																	
Valor de referência		Leituras no instrumento calibrado / V				Erros							Incertezas				
/g	/N	L1	L2	L3	L4	média / V	desvpad / V	desvpad / N	média / N	erro interp / N	resol / N	repet / N	interp / N	padrão / N	u / N	U / N	U / %
0	0	0,02	0,00	0,02	0,01												
510,45	4,99	0,70	0,69	0,81	0,79	0,75	0,06	0,21	4,56	-0,43	0,03	0,08	-0,18	0,05	0,20	0,40	8,87
912,72	8,93	1,15	0,96	1,07	1,07	1,06	0,08	0,24	8,77	-0,16	0,05	0,11	-0,06	0,09	0,16	0,32	3,64
1423,17	13,92	1,39	1,35	1,38	1,41	1,38	0,02	0,17	14,44	0,51	0,06	0,12	0,21	0,14	0,28	0,57	3,95
1937,73	18,96	1,62	1,58	1,66	1,58	1,61	0,04	0,19	19,36	0,40	0,07	0,08	0,16	0,19	0,27	0,54	2,81
2453,67	24,01	1,81	1,79	1,82	1,77	1,80	0,02	0,17	23,91	-0,09	0,07	0,09	-0,04	0,24	0,27	0,54	2,26
2755,02	26,95	1,92	1,90	1,97	1,80	1,90	0,07	0,23	26,51	-0,44	0,08	0,08	-0,18	0,27	0,34	0,69	2,60

Canal 4																	
Valor de referência		Leituras no instrumento calibrado / V				Erros							Incertezas				
/g	/N	L1	L2	L3	L4	média / V	desvpad / V	desvpad / N	média / N	erro interp / N	resol / N	repet / N	interp / N	padrão / N	u / N	U / N	U / %
0	0	0,00	0,00	0,00	0,00												
510,45	4,99	0,47	0,38	0,40	0,30	0,39	0,07	0,90	4,00	-1,00	0,04	0,05	-0,41	0,05	0,41	0,83	20,75
912,72	8,93	0,65	0,66	0,67	0,62	0,65	0,02	0,35	8,45	-0,48	0,05	0,45	-0,20	0,09	0,50	1,00	11,84
1423,17	13,92	1,00	1,01	0,88	0,81	0,93	0,10	1,21	12,13	-1,80	0,05	0,18	-0,73	0,14	0,77	1,54	12,70
1937,73	18,96	1,37	1,16	1,36	1,23	1,28	0,11	1,32	19,44	0,49	0,06	0,61	0,20	0,19	0,67	1,34	6,87
2453,67	24,01	1,48	1,46	1,48	1,44	1,46	0,02	0,31	23,51	-0,50	0,06	0,66	-0,20	0,24	0,73	1,46	6,23
2755,02	26,95	1,66	1,65	1,60	1,48	1,60	0,08	1,04	25,33	-1,62	0,06	0,16	-0,66	0,27	0,73	1,47	5,79

Análise das incertezas do instrumento de medição

Anexo 2



UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS
COMITÊ DE ÉTICA EM PESQUISA - COEP

Parecer nº. ETIC 0302.0.203.000-10

Interessado(a): Profa. Andréa Rodrigues Motta
Departamento de Fonoaudiologia
Faculdade de Medicina - UFMG

DECISÃO

O Comitê de Ética em Pesquisa da UFMG – COEP aprovou, no dia 02 de setembro de 2010, após atendidas as solicitações de diligência, o projeto de pesquisa intitulado "**Avaliação e reabilitação da força labial**" bem como o Termo de Consentimento Livre e Esclarecido.

O relatório final ou parcial deverá ser encaminhado ao COEP um ano após o início do projeto.

Prof. Maria Teresa Marques Amaral
Coordenadora do COEP-UFMG