ANDRÉ FELIPE ABRÃO

**Análise fotoelástica da distribuição de tensões nos segundos molares
inferiores geradas por diferentes mecânicas de verticalização**

São Paulo

2014

ANDRÉ FELIPE ABRÃO

Análise fotoelástica da distribuição de tensões nos segundos molares inferiores geradas por diferentes mecânicas de verticalização

Versão Corrigida

Tese apresentada à Faculdade de Odontologia da Universidade de São Paulo, para obtenção do título de Doutor em Ciências Odontológicas.

Área de Concentração: Ortodontia

Orientadora: Prof. Dra. Solange Mongelli de Fantini

São Paulo

2014

Autorizo a reprodução e divulgação total ou parcial deste trabalho, por qualquer meio convencional ou eletrônico, para fins de estudo e pesquisa, desde que citada a fonte.

Catálogo da Publicação
Serviço de Documentação Odontológica
Faculdade de Odontologia da Universidade de São Paulo

Abrão, André Felipe.

Análise fotoelástica da distribuição de tensões nos segundos molares inferiores geradas por diferentes mecânicas de verticalização / André Felipe Abrão; orientadora Solange Mongelli de Fantini. -- São Paulo, 2014.

127 p. : il. : fig. ; 30 cm.

Tese (Doutorado) -- Programa de Pós-Graduação em Ciências Odontológicas. Área de Concentração: Ortodontia. -- Faculdade de Odontologia da Universidade de São Paulo.

Versão corrigida.

1. Movimentação dentária. 2. Biomecânica - Odontologia. 3. Elasticidade. 4. Tensões dos materiais. 5. Molares - Inclinação. I. Fantini, Solange Mongelli de. II. Título.

Abrão AF. Análise fotoelástica da distribuição de tensões nos segundos molares inferiores geradas por diferentes mecânicas de verticalização. Tese apresentada à Faculdade de Odontologia da Universidade de São Paulo para obtenção do título de Doutor em Ciências Odontológicas.

Aprovado em: ____/____/2014

Banca Examinadora

Prof(a). Dr(a). _____

Instituição: _____ Julgamento: _____

Prof(a). Dr(a). _____

Instituição: _____ Julgamento: _____

Prof(a). Dr(a). _____

Instituição: _____ Julgamento: _____

Prof(a). Dr(a). _____

Instituição: _____ Julgamento: _____

Prof(a). Dr(a). _____

Instituição: _____ Julgamento: _____

DEDICATÓRIA

*À minha esposa **Vanessa**, obrigado mais uma vez por ter me apoiado, tolerar minha ansiedade, compreender minhas loucuras e suportar minha ausência...*

*...ao meu filho **Lorenzo**, tenha certeza que nossos momentos perdidos serão compensados...*

*...e ao pequeno "**serzinho**" que está a caminho.*

Amo vocês!

DEDICATÓRIA

*Aos meus pais **Jorge e Nídia**, responsáveis pela minha existência, carácter e formação,*

Muito obrigado por tudo!

Amo vocês!

À **Deus**, que sempre coloca desafios em meu caminho, fazendo-me fortalecer na fé, que é a guia para minhas vitórias.

AGRADECIMENTOS ESPECIAIS

À todos que participaram de maneira direta...

Ao **Prof. Dr. Jorge Abrão**, responsável por toda a minha formação e meu maior incentivador. Exímio exemplo profissional, guiou-me para a execução desta pesquisa e sua experiente orientação foi imprescindível para que eu alcançasse o nível mais elevado na confecção desta tese.

Ao **Prof. Dr. João Batista de Paiva**, agradeço pela oportunidade, amizade, atenção, disponibilidade e valiosas sugestões que enaltecem este trabalho.

À Profa. **Dra. Dalva Cruz Laganá**, agradeço pela acolhida, imensa amizade, infinita disposição. Sua humildade na transmissão de valiosos conhecimentos de sua profunda experiência e entusiasmo foram fundamentais na realização desse trabalho e despertam considerável admiração. É por isso que todos a consideram um grande exemplo.

À **Profa. Dra. Solange Mongelli de Fantini**, agradeço pelos ensinamentos sobre a eterna busca aos detalhes e excelência, que com certeza, muito me influenciaram.

À **Profa. Dra. Cristiane Aparecida Claro** pela imensa colaboração ensinando-me a desvendar “os mistérios” desta tal fotoelasticidade, sendo primordial para realização desse trabalho.

Ao **Daniel Braidotti**, pela grande atenção e disposição em ajudar, foi fundamental no desenvolvimento e construção dos modelos fotoelásticos.

À **Maria Cristina Falcão Curci Puraca**, técnica do laboratório de Pesquisa do Departamento de Prótese da FOU SP, pela constante prontidão e ajuda na parte laboratorial desta pesquisa.

Aos colegas de turma de Doutorado Mariana Galvão, Luís Marcchi, José Valladares Neto e Paulo Carvalho pela agradável convivência.

Aos professores do Departamento de Ortodontia e Odontopediatria da Faculdade de Odontologia da USP: Prof. Dr. João Batista de Paiva, Prof. Dr. Jorge Abrão, Prof. Dr. José Rino Neto, Profa. Dra. Gladys Cristina Dominguez-Morea, Profa. Dra. Solange Mongelli de Fantini, Prof. Dr. André Tortamano e Profa. Dra. Lylia Kazumi Kanashiro, pela fundamental contribuição no meu desenvolvimento acadêmico ao longo dos cursos de especialização, mestrado e doutorado.

Aos funcionários do Departamento de Ortodontia e Odontopediatria da FOUSP: Antonio Edilson Lopes Rodrigues, Edina Lúcia Brito de Souza, Marinalva Januária de Jesus, Ronaldo Carvalho e Viviane Tkaczuk Passiano, pela amizade ao longo destes anos e eterna disposição em atender a todas as minhas solicitações.

Aos funcionários do Departamento de Prótese da FOUSP, Coraci Aparecida de Moraes, Maria José de Souza Barros, Marlete Benjamim dos Santos e Sandra Maria Gomes Lourenço da Silva pela receptividade e grande atenção.

À Profa. Profa. Dra. Dalva Cruz Laganá, Prof. Dr. João Batista Paiva e Profa. Dra. Solange Mongelli de Fantini pelas pertinentes sugestões na qualificação.

Aos funcionários da biblioteca da Faculdade de Odontologia da USP: Afonso, Agnaldo, Amarildo, André, Glauci, Lúcia, Marcos e Vânia, pela grande atenção.

À Glauci Elaine Damasio Fidélis, pela atenciosa revisão da formatação.

Ao Rogério Ruscitto do Prado pela determinação em realizar análise estatística.

À Michele Trevisi Araújo pela aplicada revisão do inglês.

AGRADECIMENTOS

...e, de maneira indireta...

Aos meus irmãos Renata, Fernando e minha cunhada Amanda.

Ao meu avô Oswaldo, tias Beth e Neiva durante essa etapa da minha vida.

Aos meus sogros Valdir (*in memorian*) e Vani Solé.

Aos grandes amigos Ana Carolina Laganá, Ana Gabriela Dornelles, Guilherme Frigo, José de Paula Eduardo, José Francisco, Hiroshi Miasiro Júnior e Miguel Ferragut Attizani e Ricardo Fidos Horliana.

Aos colegas de pós-graduação: Annelise, Daniela, Gisele, Julissa, Maria Carolina, Michelle, Lilian, Lúcio e Simone.

Aos participantes da Clínica de Pesquisa de Paciente Adultos (CPA) do Departamento de Ortodontia da FOUSP, Cláudia, Daniela, Gisele, Helena, Irina, Kátia, Mara, Rachelle, Rafaela, Rodrigo, Rosane e Ticiania.

À equipe de professores de Ortodontia do CETAO, Prof. Dr. Jorge Abrão, Profa. Dra. Eliane Cecílio, Prof. Fabio Nauff, Prof. Leandro Kfoury Cerqueira e Profa. Dra. Milleni Martins.

Ao sócios do CETAO Prof. Dr. Alênio Calil Mathias e Prof. Fábio Nauff.

Aos estagiários do CETAO Aline, Ana Paula, Bianca, Juliana, Marcelo, Marluci, Miriam, Monise, Rafaela e Ticiane.

A todas as outras pessoas aqui não citadas que contribuíram de alguma maneira na realização deste trabalho.

RESUMO

Abrão AF. Análise fotoelástica da distribuição de tensões nos segundos molares inferiores geradas por diferentes mecânicas de verticalização [tese]. São Paulo: Universidade de São Paulo, Faculdade de Odontologia; 2014. Versão Corrigida.

A verticalização de molares inferiores é indicada quando ocorre inclinação mesial dos segundos molares, atribuídas à ausência do primeiro molar. Existem inúmeras metodologias para realização de tal movimento. O objetivo do estudo foi analisar e comparar in vitro, por meio de fotoelasticidade, a distribuição de tensões nos segundos molares inferiores geradas por diferentes métodos de verticalização. Foram avaliados quatro modelos com as seguintes mecânicas: mini-implante, cantiléver, mola em “T” e mola aberta. As regiões do segundo molar selecionadas para avaliação foram: cervical da raiz mesial, apical da raiz mesial, cervical da raiz distal e apical da raiz distal. A resultante das forças aplicadas foi aferida por meio da quantificação das franjas isocromáticas. Os valores de franjas foram descritos com uso de média e desvio padrão e verificada a concordância/reprodutibilidade entre as avaliações com uso do coeficiente de correlação intraclasse com os respectivos intervalos com 95% de confiança e calculadas as medidas de repetibilidade. Os diferentes tipos de mecânicas foram comparados com uso de teste não paramétrico e quando o teste apresentou significância estatística foram realizadas comparações múltiplas não paramétricas para medidas pareadas com o intuito de verificar entre quais tipos de mecânicas ocorreram diferenças nas ordens das franjas. Os valores diferiram estatisticamente entre os tipos de mecânica utilizados ($p < 0,05$), exceto na região cervical distal, onde apresentaram-se estatisticamente iguais nos quatro tipos de mecânica ($p = 0,112$). Na técnica utilizando mini-implante, as maiores tensões foram encontradas na região cervical distal, seguidas de apical da raiz mesial e apical da raiz distal. Na região cervical mesial não foram detectadas tensões. Utilizando o cantiléver, as maiores tensões localizaram-se na região cervical mesial, seguidas de apical da raiz mesial e região cervical distal. Não foram detectadas tensões na apical da raiz distal. Na mola em “T”, as maiores tensões foram observadas na apical da raiz mesial, seguidas de região cervical da raiz mesial, apical da raiz distal e região cervical distal. Na mola aberta, as maiores tensões

foram constatadas na apical da raiz mesial, seguidas de região cervical mesial, região cervical distal e apical da raiz distal. Ao compararem-se as técnicas, foi possível concluir que o mini-implante é a técnica que apresentou as menores tensões e o cantiléver as maiores tensões nas regiões estudadas.

Palavras-chave: Análise do estresse dentário. Biomecânica. Elasticidade.

ABSTRACT

Abrão AF. Photoelastic analysis of stress distribution in lower second molars caused by several uprighting mechanics [thesis]. São Paulo: Universidade de São Paulo, Faculdade de Odontologia; 2014. Versão Corrigida.

Lower molars uprighting is indicated when mesial inclination of second molars occurs due to the lack of first molars. There are many methodologies to perform such movement. The goal of this research study was to in vitro analyze and compare, by means of photoelasticity, the strain distribution in lower second molars caused by several uprighting methods. Four models with the following mechanics have been evaluated: miniscrews, cantilever, T- loop spring and open coil spring. The second molar areas selected for the evaluation were the following ones: mesial-cervical area, apical area of the mesial root, distal-cervical and apical areas of the distal root. The resultant of forces applied was measured by quantifying isochromatic fringes. The fringe values were described using the mean and the standard deviation values and the agreement/reproducibility among the assessments were verified applying the intraclass correlation coefficient in the respective intervals with 95% confidence. Repeatability measures were calculated. The different types of mechanics were compared applying the nonparametric test and, when the test showed statistical significance, nonparametric multiple comparisons were carried out for paired measurements, aiming at checking in which mechanics fringe differences occur. Values statistically differed among the types of mechanics applied ($p < 0.05$), except in the distal-cervical area, in which the values were statistically the same for the four types of mechanics ($p = 0.112$). In the technique using miniscrews, the highest strain values were found in the distal-cervical area, followed by the apical area of the mesial root and the apical area of the distal root. No strain was found in the mesial-cervical area. With the cantilever, the highest strains were found in the mesial-cervical area, followed by the apical area of the mesial root and the distal-cervical area. No strain was found in the apical area of the distal root. In the T-loop spring, the highest strains were found in the apical area of the mesial root, followed by the cervical area of the mesial root, the apical area of the distal root and the distal-cervical area. With the open coil spring, the highest strains were found in the apical

area of the mesial root, followed by the mesial-cervical, the distal-cervical and the apical areas of the distal root. When comparing the techniques, it was concluded that the miniscrew showed the lowest stresses and the cantilever the highest stresses in the study regions.

Keywords: Dental stress analysis. Biomechanics. Elasticity.

LISTA DE QUADROS

- Quadro 5.1 – Medidas das ordens de franjas da primeira avaliação – (M): mini-implante; Medidas das ordens de franjas da primeira avaliação – (M): mini-implante; (C): cantiléver; (T): mola em “T”; (A): mola aberta; (crm): região cervical da raiz mesial; (arm): região apical da raiz mesial; (crd): região cervical da raiz distal; (ard): região apical da raiz distal.....107
- Quadro 5.2 – Medidas das ordens de franjas da segunda avaliação – (M): mini-implante; (C): cantiléver; (T): mola em “T”; (A): mola aberta; (crm): região cervical da raiz mesial; (arm): região apical da raiz mesial; (crd): região cervical da raiz distal; (ard): região apical da raiz distal.....108
- Quadro 5.3 – As ordens de franjas foram classificadas cinco vezes por dois examinadores calibrados – (E1): examinador 1; (E2): examinador 2; (M): mini-implante; (C): cantiléver; (T): mola em “T”; (A): mola aberta; (crm): região cervical da raiz mesial; (arm): região apical da raiz mesial; (crd): região cervical da raiz distal; (ard): região apical da raiz distal.....114

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 5.1 –	Comparação das médias de ordem de franjas da mecânica com mini-implante.....	109
Gráfico 5.2 –	Comparação das médias de ordem de franjas da mecânica em cantiléver.....	110
Gráfico 5.3 –	Comparação das médias de ordem de franjas da mecânica mola em “T”	110
Gráfico 5.4 –	Comparação das médias de ordem de franjas da mecânica mola aberta.....	111
Gráfico 5.5 –	Comparação das médias de ordem de franjas das mecânicas utilizadas.....	112

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1 -	Efeitos iniciais eram observados entre os incisivos centrais e radiados para a área do forame incisivo	29
Figura 2.2 -	Stress radiou-se posteriormente para a sutura intermaxilar, na junção dos ossos palatinos	29
Figura 2.3 -	Stress radiou-se para a inserção do Pterigoideo Lateral	30
Figura 2.4 -	As forças ramificaram para os ossos malar e zigomático	30
Figura 2.5 -	As forças ramificaram em direção à parede medial da órbita	31
Figura 2.6 -	Stress primário concentrava-se na região que circunda os alvéolos dos dentes posteriores	31
Figura 2.7 -	Mola em “T”	37
Figura 2.8 -	Vista vestibular da mola passiva	37
Figura 2.9 -	Vista vestibular da mola ativada com uma leve deformação	38
Figura 2.10 -	Vista em perspectiva da mola ativada ancorada com módulo elástico no tubo do molar	38
Figura 2.11 -	Componentes da mola tipo Piggyback: (a) loop de acabamento, (b) loop de ativação, (c) alça em “U” vertical, (d) extremidade final	39
Figura 2.12 -	Mola tipo Piggyback com amarração junto ao arco	39
Figura 2.13 -	Ativação da mola tipo Piggyback com a extremidade pressionando o segundo molar impactado gerando componente de distalização e verticalização.....	39
Figura 2.14 -	Molas tipo tipback cruzadas posicionadas de forma passiva.....	40

Figura 2.15 - Mola tipo tipback ativada para estabilizar o arco na região do primeiro premolar inferior Mola tipo Piggyback com amarração junto ao arco	40
Figura 2.16 - Vista oclusal e lateral da mola de TMA 0,017"x 0,025" com a mola aberta de aço inoxidável 0,030	41
Figura 2.17 - Distal Jet inferior: fio com dobra em baioneta, encaixando no parafuso do molar, desliza pelo tubo 0,036" soldado na banda do premolar ...	42
Figura 2.18- Força de inclinação distal é aplicada na coroa do molar por meio de compressão da mola aberta de níquel titânio feita pelo parafuso da trava	42
Figura 2.19 - Distal Jet inferior confeccionado	42
Figura 2.20 - Distal Jet inferior instalado	42
Figura 2.21 - TSVM 01 com tubo soldado na horizontal no braquete do premolar .	44
Figura 2.22 - TSVM 02 com tubo soldado na vertical no braquete do premolar	44
Figura 2.23 - Mola tipo tip back com centro de rotação na distal do molar	45
Figura 2.24 - Mola tipo tip back ativada gera movimento de verticalização com extrusão.....	46
Figura 2.25 - Alça em "U" com fios de aço 0,016" e 0,020"	47
Figura 2.26 - Posição final do dente 3 meses após início da verticalização	47
Figura 2.27 - Verticalização do segundo molar inferior ancorado no mini-implante.	48
Figura 2.28 - Cantiléver longo posicionado de forma passiva.....	50

Figura 2.29-	Cantiléver longo ativado gerando força de distalização e extrusão ...	51
Figura 2.30 -	Vista lateral do sistema de ancoragem	52
Figura 2.31 -	Situação após 45 dias após o início do tratamento.....	52
Figura 2.32 -	Final do alinhamento e nivelamento, 11 meses após início do tratamento	52
Figura 2.33 -	Mola em cantiléver	53
Figura 2.34 -	Mola em cantiléver instalada.....	53
Figura 2.35 -	Ativação da mola em “M”	54
Figura 2.36 -	Arco lingual modificado com ganchos ativado com elásticos em cadeia.....	57
Figura 2.37 -	Segmento de ancoragem com fio 0,019” x 0,025”	56
Figura 2.38 -	Ativação do cantiléver ao encaixá-lo no segmento de ancoragem	56
Figura 2.39 -	Cantiléver ativado para gerar força intrusiva e de verticalização.....	57
Figura 2.40 -	Cantiléver posicionado para gerar força intrusiva e de verticalização.....	57
Figura 4.1 -	Esquema de polariscópio circular (Schiavon, 2010)	61
Figura 4.2 -	Aspectos das franjas isocromáticas (a) em luz monocromática e (b) em luz branca (Schiavon, 2010)	62
Figura 4.3 -	Sequência de ordem de franjas a partir da ordem zero (Phillips, 2000)	65
Figura 4.4 -	Demonstração dos valores das ordens das franjas isocromáticas (Cebrián-Carretero et al., 2012)	66

Figura 4.5 -	Typodont construído copiando modelo de estudo inferior com ausência de primeiro molar e segundo molar inclinado mesialmente.	66
Figura 4.6 -	Modelo inicial em resina flexível, com dentes e mini-implante posicionados – vista lateral	67
Figura 4.7 -	Modelo inicial em resina flexível, com dentes e mini-implante posicionados – vista oclusal.....	68
Figura 4.8 -	Hemi-mandíbula em gesso com a área da coroa dos dentes removida	69
Figura 4.9 -	União da hemi-mandíbula com os dentes em cera.....	69
Figura 4.10 -	Hemi-mandíbula e dentes em cera unidos.....	70
Figura 4.11 -	Modelo confeccionado em resina acrílica	71
Figura 4.12 -	União da parte da coroa dos dentes, parte superior do ramo mandibular encerada e base em acrílico	72
Figura 4.13 -	Molde final confeccionado em silicone industrial	72
Figura 4.14 -	Modelos finais em resina flexível utilizados no estudo.....	73
Figura 4.15 -	Modelo utilizando mecânica com mini-implante.....	74
Figura 4.16 -	Modelo utilizando mecânica utilizando cantiléver	75
Figura 4.17 -	Modelo utilizando mecânica utilizando mola em “T”	75
Figura 4.18 -	Modelo utilizando mecânica utilizando mola aberta.....	76
Figura 4.19 -	Polaroscópio circular	77

Figura 4.20 - Dinamômetro (Zeusan Comércio e Exportações de Produtos Médicos e Odontológicos Ltda.)	77
Figura 4.21 - Exemplo de mensuração com o dinamômetro na mecânica com mini-implante.....	78
Figura 4.22 - Exemplo de mensuração com o dinamômetro na mecânica em cantiléver	78
Figura 4.23 - Máquina fotográfica posicionada para realizar as fotografias	79
Figura 4.24 - Dermacações na anilha superior.....	79
Figura 4.25 - Fotos analisadas em uma tela de computador de 21 polegadas.....	80
Figura 4.26 - Pontos selecionados para análise.....	80
Figura 5.1 - Aplicação de carga de 50gf com a mecânica mini-implante	85
Figura 5.2 - Aplicação de carga de 100gf com a mecânica mini-implante	85
Figura 5.3 - Aplicação de carga de 150gf com a mecânica mini-implante	85
Figura 5.4 - Aplicação de carga de 200gf com a mecânica mini-implante	86
Figura 5.5 - Aplicação de carga de 250gf com a mecânica mini-implante	87
Figura 5.6 - Aplicação de carga de 300gf com a mecânica mini-implante	88
Figura 5.7 - Aplicação de carga de 50gf com a mecânica cantiléver	89
Figura 5.8 - Aplicação de carga de 100gf com a mecânica cantiléver	90

Figura 5.9 - Aplicação de carga de 150gf com a mecânica cantiléver	91
Figura 5.10 - Aplicação de carga de 200gf com a mecânica cantiléver	92
Figura 5.11 - Aplicação de carga de 250gf com a mecânica cantiléver	93
Figura 5.12 - Aplicação de carga de 300gf com a mecânica cantiléver	94
Figura 5.13 - Aplicação de carga de 50gf com a mecânica mola em “T”	95
Figura 5.14 - Aplicação de carga de 100gf com a mecânica mola em “T”	96
Figura 5.15 - Aplicação de carga de 150gf com a mecânica mola em “T”	97
Figura 5.16 - Aplicação de carga de 200gf com a mecânica mola em “T”	98
Figura 5.17 - Aplicação de carga de 250gf com a mecânica mola em “T”	99
Figura 5.18 - Aplicação de carga de 300gf com a mecânica mola em “T”	100
Figura 5.19 - Aplicação de carga de 50gf com a mecânica mola aberta.....	101
Figura 5.20 - Aplicação de carga de 100gf com a mecânica mola aberta.....	102
Figura 5.21 - Aplicação de carga de 150gf com a mecânica mola aberta.....	103
Figura 5.22 - Aplicação de carga de 200gf com a mecânica mola aberta.....	104
Figura 5.23 - Aplicação de carga de 250gf com a mecânica mola aberta.....	105
Figura 5.24 - Aplicação de carga de 300gf com a mecânica mola aberta.....	106

LISTA DE TABELAS

Tabela 4.1 –	Ordem de franjas isocromáticas (ASTM D4093)	63
Tabela 5.1 –	Descrição das franjas em cada local para cada tipo de mecânica em ambas as avaliações e resultado das medidas de concordância/reprodutibilidade intra-examinador.....	109
Tabela 5.2 –	Descrição das franjas na 1ª avaliação segundo tipo de mecânica e resultado das comparações entre os tipos de mecânica.....	111
Tabela 5.3 –	Resultado das comparações múltiplas não paramétricas pareadas das franjas entre os tipos de mecânica.....	113

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	25
2 REVISÃO DA LITERATURA	27
2.1 Fotoelasticidade	27
2.2 Verticalização de molares inferiores	36
3 PROPOSIÇÃO	58
4 MATERIAIS E MÉTODOS	59
4.1 Materiais e equipamentos utilizados na pesquisa	59
4.2 Metodologia.....	60
4.3 Análise estatística	81
5 RESULTADOS	82
5.1 Análise Qualitativa.....	82
5.1.1 Corpo de prova utilizando mecânica com <i>mini-implante</i>	83
5.1.2 Corpo de prova utilizando mecânica com <i>cantiléver</i>	89
5.1.3 Corpo de prova utilizando mecânica com <i>mola “T”</i>	95
5.1.4 Corpo de prova utilizando mecânica com <i>mola aberta</i>	101
5.2 Análise Quantitativa	107
6 DISCUSSÃO	115
7 CONCLUSÕES	121
REFERÊNCIAS	122

1 INTRODUÇÃO

Atualmente, a quantidade de pacientes adultos que procuram intervenção ortodôntica previamente a tratamentos reabilitadores oclusais é significativa. É comum a ocorrência de inclinações mesiais dos segundos molares inferiores atribuídas aos componentes mesiais de forças da oclusão e à falta de pontos de contatos proximais causados pela ausência do primeiro molar inferior. À medida que os dentes se inclinam mesialmente, ocorrem alterações no tecido gengival adjacente, como bolsas periodontais, que dificultam a higienização e favorecem o acúmulo de placa bacteriana (Sakima et al., 1999). Esta situação, associada à presença de contatos oclusais prematuros, gera forças de oclusão fora dos eixos axiais dos dentes e predispõe ao surgimento ou agravamento de alterações periodontais, prejudicando as estruturas de suporte dos respectivos dentes envolvidos.

Nestes casos, a verticalização de molares inclinados é indicada, pois proporciona melhora nas condições periodontais, como consequência do alcance de distribuição de forças nos longos eixos axiais dos dentes, restabelecendo o paralelismo radicular, melhorando a relação coroa/raiz, redimensionando o espaço da perda dentária, criando condições favoráveis à reabilitação protética e ao equilíbrio oclusal. Com a correção do posicionamento dentário, ocorre redução da profundidade de bolsa periodontal e consequente reposicionamento do tecido gengival. Dessa forma, o processo de higienização é facilitado, propiciando diminuição da quantidade de biofilme. Ainda ocorre manutenção da relação entre a crista alveolar e junção amelo-cementária e correção de defeito ósseo (Alcântara, 2006).

Existem inúmeras metodologias associadas ao movimento de verticalização dos molares, como por exemplo: mola aberta, técnicas com arcos segmentados com mola em cantiléver, mola em “T” e, mais recentemente, mini-implantes ortodônticos, que têm-se mostrado eficientes. Este recente recurso é considerado como uma opção adicional no tratamento ortodôntico, que pode simplificar a mecânica e, em alguns casos, viabilizar a terapia pela considerável diminuição no tempo de

tratamento, principalmente em pacientes adultos que, normalmente, têm pouca tolerância em relação à durabilidade da correção ortodôntica.

Uma das possibilidades de estudar in vitro os efeitos causados pela mecânica de verticalização segundos molares inferiores, é empregar a técnica de fotoelasticidade, considerada uma técnica não destrutiva baseada na birrefringência, que é uma propriedade opitmecânica apresentada por polímeros transparentes (Phillips, 2000). É um método experimental utilizado para analisar o campo das tensões e deformações das estruturas que se baseia na propriedade de materiais transparentes, que quando submetidos à luz polarizada, transformam estímulo mecânico em franjas que ocorrem ao longo das áreas de compressão ou tração, fornecendo dados para fundamentação de conhecimento das consequências da escolha da mecânica ortodôntica e também para possíveis pesquisas futuras.

O presente estudo visa analisar e comparar as distribuições das tensões em quatro diferentes técnicas de verticalização de segundo molares inferiores: mini-implante, cantiléver, mola em “T” e mola aberta.

2 REVISÃO DA LITERATURA

Com o intuito de possibilitar melhor entendimento do assunto e facilitar a compreensão do texto, esta revisão da literatura foi dividida em tópicos.

2.1 Fotoelasticidade

A análise fotoelástica surgiu na França na década de 1930, sendo introduzida na Odontologia por Zak em 1935¹, que simulou efeitos de diversos dispositivos ortodônticos sobre o osso alveolar com a utilização de dentes humanos montados em modelos de material fotoelástico (apud Laganá, 1992, p.33).

Na década seguinte, em 1949, um autor chamado Noonan utilizou a fotoelasticidade como metodologia para investigação científica, realizando uma análise qualitativa das tensões no interior de estruturas homogêneas.

A utilização da fotoelasticidade na área odontológica aumentou desde a publicação do estudo de Glickman et al. (1970), que avaliaram as tensões internas no periodonto de sustentação antes e após a contenção de dentes com um pântico intercalado. Decidiram experimentá-la na análise da distribuição de tensões no periodonto de sustentação. Para comprovar a validade do método, compararam os resultados obtidos no modelo experimental fotoelástico com cortes histológicos de dentes submetidos a condições similares, nos quais se visualizava a destruição óssea. A comprovada correlação positiva entre resultados fotoelásticos e histológicos validou a utilização de fotoelasticidade como simulador das estruturas periodontais. Sendo assim, este referido trabalho representou um passo decisivo para a validação da fotoelasticidade como metodologia de pesquisa na área odontológica.

¹ Zak B. Photoelastische analysis in der orthodontischen mechanik. Z Stomat. 1935;33(1):22-37.

A metodologia fotoelástica obteve maior credibilidade após pesquisa comparando os achados obtidos com a aplicação da análise fotoelástica aos resultados encontrados por meio de estudo histopatológico da maxila em gatos, realizada por Brodsky et al. (1975). Explicaram que, quando o dente recebe uma força, surgem áreas de tensão e compressão nos ligamentos periodontais. Nas áreas de pressão suave ou leve, o tecido ósseo é reabsorvido, enquanto que nas áreas de tensão, neoformado. Nas áreas de pressão intensa, a reabsorção óssea torna-se prejudicial. Na movimentação ortodôntica de distalização de canino com mola fechada, os autores observaram correlação positiva entre os dois métodos, pois constataram que, nas áreas de tensão do modelo, o material histológico correspondente exibiu o ligamento periodontal estirado. Onde o modelo demonstrou pressão, a secção histológica respectiva evidenciou compressão das fibras periodontais. Quando altas concentrações de franjas foram encontradas no modelo, identificaram-se áreas de hialinização no material histológico.

Thayer e Caputo (1980) destacaram que o método fotoelástico proporciona uma análise qualitativa dos esforços no interior de uma estrutura homogênea, quando submetido às condições de esforços desejados.

Os efeitos de forças ortopédicas no complexo craniofacial oriundas de aparelhos expansores foram estudados por Chaconas e Caputo (1982). Foi utilizado um crânio confeccionado com resina fotoelástica e então, instalados individualmente, os seguintes aparelhos expansores: Haas, “Minne-expander”, Hyrax, Quadrihélice e Aparelho expensor removível. Cada dispositivo mencionado foi instalado e ativado, sendo estudado por análise fotoelástica. Os resultados demonstraram que o stress primário produzido por aparelhos fixos se concentrava na região anterior do palato. Os efeitos iniciais eram observados entre os incisivos centrais e irradiados para a área do forame incisivo (Figura 2.1). Com as ativações sucessivas, o stress irradiou-se posteriormente para a sutura intermaxilar, na junção dos ossos palatinos (Figura 2.2). Por justaposição, o stress foi irradiado para a inserção do Pterigoideo Lateral (Figura 2.3). Desta região, as forças ramificaram para os ossos malar e zigomático (Figura 2.4) indo então, em direção à parede medial da órbita (Figura 2.5) e concentrou-se na junção dos ossos nasal e lacrimal. Já, com os aparelhos removíveis, as características eram similares, porém, com a ativação do aparelho, o stress observado era menor, provavelmente pela diminuição

da retenção dos mesmos. A diferença em relação aos aparelhos fixos, foi devida à concentração do stress primário na região que circunda os alvéolos dos dentes posteriores (Figura 2.6).

Figura 2.1 – Efeitos iniciais foram observados entre os incisivos centrais e irradiados para a área do forame incisivo

Figura 2.2 – Stress irradiou-se posteriormente para a sutura intermaxilar, na junção dos ossos palatinos

Figura 2.3 – Stress irradiou-se para a inserção do Pterigoideo Lateral

Figura 2.4 – As forças ramificaram para os ossos malar e zigomático

Figura 2.5 – As forças ramificaram em direção à parede medial da órbita

Figura 2.6 – Stress primário concentrava-se na região que circunda os alvéolos dos dentes posteriores

Campos Júnior et al. (1985) descrevem a metodologia para aplicação da análise fotoelástica como método de pesquisa na prática odontológica. A fotoelasticidade é um método que possibilita a visualização conjunta e direta das tensões internas dos corpos, permitindo que essas tensões sejam medidas e fotografadas. Não necessita de gráficos ou esquemas de distribuição de forças

construídos a partir de dados numéricos, diferentemente dos demais métodos analíticos. O fenômeno da fotoelasticidade manifesta-se pelo surgimento de faixas coloridas no interior de materiais transparentes, submetidos a esforços externos e iluminados por luz polarizada. Essas faixas coloridas correspondem às áreas de concentração de tensões.

Itoh et al. (1985) estudaram os efeitos ortopédicos dos aparelhos para protação maxilar no tratamento de mordidas cruzadas anteriores. Utilizaram um crânio fotoelástico para realizar os testes e três diferentes aparelhos ortopédicos com força de 500 grama/força (gf). Em todos os tipos de aparelhos foram encontradas áreas de concentração de stress nas seguintes regiões: terço apical da raiz mesial do primeiro molar superior permanente; região anterior da sutura palatina; arco zigomático; região de primeiro premolar superior, borda inferior do zigomático e órbita.

Laganá (1992) advertiu que a fotoelasticidade também possui algumas limitações por tratar-se de uma técnica indireta, que exige modelos com reprodução extremamente fiel ao original, principalmente quando se pretende determinar quantitativamente as tensões. Para evitar ocorrência de tensões residuais durante o experimento, deve-se cuidar para não ultrapassar o limite de resistência do material quando se aplica a quantidade máxima de esforços externos.

Em 1998, Brosh et al. verificaram que a fotoelasticidade pode somente gerar valores qualitativos devido à diferença mecânica existente no material que simula o osso.

Clifford et al. (1999) utilizaram o modelo fotoelástico para análise dinâmica in vitro dos efeitos de mecanismos de movimentação dentária induzida. Com a utilização de arcos com reversão da curva de Spee, foram analisados o aspecto qualitativo das tensões e deslocamento dos incisivos inferiores. A análise fotoelástica evidenciou aumento das áreas de tensões em torno das raízes dos primeiros molares e incisivos, com o aumento da reversão da curva de Spee.

Matsui et al. (2000) realizaram um estudo com fotoelasticidade para determinar o centro de resistência do segmento anterior do arco superior baseado na distribuição de stress ao redor dos dentes. Foi utilizado um modelo fotoelástico de

resina epóxi com os dentes superiores, simulando um caso de extrações dentárias. Várias direções de força foram aplicadas no experimento. Consideraram áreas de alto stress quando eram apresentadas muitas franjas e muito concentradas, quando a distância entre elas era pequena. Concluíram que o centro de resistência do segmento dos quatro dentes anteriores está localizado dentro do plano sagital mediano, aproximadamente a 6mm apical e 4mm posterior à linha perpendicular ao plano oclusal desde a crista alveolar vestibular do incisivo central.

Badran et al. (2003) estudaram por meio de fotoelasticidade o stress transmitido às raízes, causado pelos arcos iniciais de alinhamento. Compararam seis tipos de arcos com a mesma forma em um modelo fotoelástico de gelatina, reproduzindo uma arcada dentária inferior em um polaroscópio circular. Foi utilizada análise visual e concluiu-se que os arcos com multifilamentos e os superelásticos apresentam tensões 15% menores que os de Nitinol de mesma espessura.

Para avaliação quantitativa da diferença entre as tensões em modelos fotoelásticos, foi apresentado por Ferreira Júnior (2003) um sistema de processamento de imagens do padrão das franjas isocromáticas. Foi utilizada a técnica da fotoelasticidade RGB (Red, Green, Blue), na qual a análise de tensões é feita baseada nas cores do padrão das franjas, por não precisar da interferência do operador na determinação da ordem da mesma. O sistema mostrou-se eficiente, possibilitando a identificação da ordem de franja apenas no intervalo de 0,5 à 3 ordens.

Cruz (2004) utilizando um crânio confeccionado em resina fotoelástica, estudou o comportamento e a distribuição de tensões produzidas nas estruturas de suporte e craniofaciais resultantes da restauração da arcada dentária superior por meio de prótese parcial removível, aplicando diversas cargas.

Alcântara (2006) analisou pelo método da fotoelasticidade de transmissão plana, que é a mais utilizada para estudar os efeitos derivados da movimentação dentária induzida, os aspectos qualitativos e quantitativos da distribuição das tensões do movimento ortodôntico de verticalização de molares com molas helicoidais. Foram confeccionados seis modelos fotoelásticos com resina fotoelástica, simulando um quadrante inferior direito ausência do primeiro molar e segundo molar inclinado para mesial. As molas foram confeccionadas em fios

retangulares 0,019" x 0,025" em aço inoxidável e em TMA, com comprimentos de 20mm e 25mm em ambos, ativadas com força de 100gf. A análise fotoelástica demonstrou maior concentração de franjas de tensões próximas ao molar do que nos dentes de ancoragem. A região cervical mesial do molar apresentou os maiores níveis de tensões e a região da bifurcação radicular, os menores. A mola de 25mm em aço inoxidável apresentou os maiores índices de tensões nas regiões cervicais mesial e distal, bem como nas apicais mesial e distal da raiz, enquanto que a mola de 20mm em TMA mostrou os menores índices de tensões, exceto na região intermediária da raiz.

Rocha et al. (2006) utilizam a técnica da fotoelasticidade na mecânica ortodôntica salientando a possibilidade de previsão de reação dos elementos envolvidos frente à movimentação dentária provocada por uma força. Foi apresentada distribuição de tensões em modelos que simulam movimentos para correção da curva de Spee acentuada, tração de caninos impactados e retração de caninos, utilizando-se elásticos e alças.

Nakamura et al. (2007) analisaram por meio de fotoelasticidade, a distribuição de tensão recorrente da movimentação distal de molares inferiores com sistema de ancoragem esquelética. O experimento efetuou inicialmente tração de primeiro e segundo molares isoladamente e, logo após, simultaneamente. A direção da tração foi paralela ao plano oclusal e em ângulo de 30 graus para baixo em relação ao plano oclusal. Com tração em 30 graus, todos os modelos apresentaram tensão ao redor dos molares, prolongando-se para baixo e para distal. Os autores concluíram que a tração simultânea dos molares deve ser preferível para prevenir a angulação distal do primeiro molar. Independente de a tração ser simultânea ou sequencial, quando realizada em 30 graus para baixo, induziu intrusão e movimento distal dos molares.

Claro (2008) analisou a distribuição de tensões oriundas de intrusão de incisivos inferiores por meio de fotoelasticidade. Foram utilizados sessenta arcos de intrusão, divididos igualmente em quatro grupos: arco contínuo de Burstone, arco utilitário de Ricketts, arco com dobra de ancoragem usado na mecânica de Begg e arco com curva reversa. Foi possível concluir que o arco utilitário de Ricketts gerou as maiores tensões na região apical, média e cervical. Estes resultados permitiram

visualização e compreensão dos efeitos de diversos arcos de intrusão, mas os mesmos devem ser observados com cuidado, pois a autora alerta que existe necessidade de mais pesquisas que comprovem a reprodutibilidade do método e resultados.

Para Schiavon (2010), a técnica da fotoelasticidade pode ser particularmente útil na análise de tensões em sistemas com geometrias complexas. Ao submeter este modelo a um carregamento, faixas de diferentes cores poderão ser visualizadas. Cada cor é associada a um nível de tensão. As tensões observadas no modelo fotoelástico podem ser comparadas com as tensões determinadas nos modelos numéricos ou analíticos.

Em 2011, Laganá também realizou um estudo utilizando a fotoelasticidade. O objetivo desta pesquisa foi o de comparar o comportamento das tensões transmitidas ao tecido ósseo que circunda cinco diferentes formatos de implantes submetidos a carregamentos axiais uniformemente distribuídos.

Cebrián-Carretero et al. (2012) estudaram por meio de fotoelasticidade, os efeitos biomecânicos da interação entre placas de titânio, parafusos e mandíbulas fraturadas. Foram utilizadas réplicas mandibulares confeccionadas em resina epóxi flexível para simular diferentes métodos de osteossíntese. Foi concluído que os modelos fotoelásticos construídos com o referido material, são úteis para avaliar distribuição de tensões.

Çehreli et al. (2013) utilizaram o método da fotoelasticidade para analisar o stress ao redor de mini-implantes ortodônticos decorrentes do torque utilizado na instalação do mesmo e também na aplicação de carga estática. Foram instalados nos modelos fotoelásticos, mini-implantes com torques de 30, 45, 70 e 90 graus. Foram analisadas as franjas isocromáticas por meio de método fotoelástico utilizando um polaroscópio circular após inserção de carga estática de 250 gf. Foi concluído que: o torque de inserção causa estresse peri-implantar inicial e a carga estática não causa mudanças dramáticas nas magnitudes e concentrações de stress. Em relação à carga lateral, os mini-implantes com inclinação de 90 graus apresentaram o mais desfavorável campo de estresse na região cervical.

Em 2013, Perosa afirmou que a fotoelasticidade é uma importante técnica

para análise de tensões mecânicas em estruturas de geometria e cargas complexas. Por este motivo, desenvolveu um programa para análise das cores das franjas fotoelásticas. Frequentemente, esta análise é realizada sem auxílio de ferramentas computacionais, identificando-se as franjas coloridas em pontos pré-selecionados e comparando-as com um diagrama de cores padrão. Esta análise pode estar sujeita à possível deficiência da visão humana no reconhecimento das cores. Para superar estas adversidades, foi desenvolvido um programa de computador que tende a aumentar a repetitividade e reprodutibilidade do experimento, pois possibilita a análise de todos os pontos ou pixels da imagem e pode tornar a análise mais rápida.

Mais recentemente, em 2014, Galli et al. apresentaram um protocolo de confecção de modelos de estudo em resina flexível fotoelástica para facilitar a padronização e confecção de tais modelos. Foi desenvolvido para estudar o movimento de retração de caninos com apoio de mini-implante como ancoragem. Nesta metodologia, a instalação do acessório, não provoca alterações nos supracitados modelos, otimizando assim os estudos sobre fotoelasticidade.

2.2 Verticalização de molares inferiores

Um dos primeiros estudos sobre a verticalização de molares inferiores foi realizado por Norton e Proffit em 1968, quando utilizaram a alça em caixa, confeccionada com o fio retangular 0,017" x 0,025", para a correção de primeiros e segundos molares inclinados mesialmente. A considerável extensão do fio para confecção de tal alça facilita a inserção nos canais de encaixes dos braquetes e verticaliza o molar. A principal desvantagem é a lesão frequentemente observada na região gengival pela extensão e forma da alça.

Rubenstein (1975) relatou um caso de verticalização de segundos molares inferiores com colagem direta, no qual um fio 0,022" de aço inoxidável foi ligado à superfície vestibular do segundo molar impactado. Um arco 0,014" de mesma liga foi passado pelo tubo do primeiro molar, estendendo-se até o fio do segundo molar a ser verticalizado. Uma mola aberta foi introduzida no arco entre o primeiro e segundo

molar e, dentro de um período de quatro meses, os segundos molares estavam verticalizados.

Tuncay et al. (1980) propuseram a mola segmentada com alça simples em “T” para o movimento de verticalização de um único molar, tendo como ancoragem o canino e os premolares do mesmo lado. O molar a ser verticalizado recebia uma banda com tubo soldado, sendo que a mola era ativada formando um ângulo de 30° da sua ponta distal com a direção do tubo do molar inclinado (Figura 2.7). Os autores concluíram que tais molas seriam de fácil fabricação e utilização, além de oferecer grande aceitação do paciente, movimentos controlados nos três planos do espaço e pouco tempo de tratamento.

Figura 2.7 – Mola em “T”

Segundo Roberts et al. (1982), durante o movimento de verticalização do molar inferior, efeitos indesejáveis como a extrusão ocorrem mais rápido do que o movimento de verticalização. A extrusão dental rápida e exagerada causa interferências oclusais, sendo necessário o ajuste oclusal para evitar mordida aberta.

Orton e Jones (1987) utilizaram em seu estudo, molas de verticalização confeccionadas em fios retangulares de TMA ou aço inoxidável nas medidas 0,016” x 0,022”, 0,017” x 0,025” ou 0,018” x 0,025”. Os helicóides diminuía a magnitude da força aplicada sobre o segundo molar a ser verticalizado, produzindo predominantemente movimento mesiodistal e suave extrusão (Figuras 2.8-2.10).

Figura 2.8 – Vista vestibular da mola passiva

Figura 2.9 – Vista vestibular da mola ativada com uma leve deformação

Figura 2.10 – Vista em perspectiva da mola ativada ancorada com módulo elástico no tubo do molar

Moyers (1991) verticalizou os segundos molares inferiores, instalando tubos duplos nos segundos molares e braquetes nos premolares e caninos inferiores. Como a arcada inferior não estava bem alinhada instalou também um arco lingual de canino a canino. O alinhamento foi realizado com fio twist-flex de aço 0,015" ou 0,025" e instalado um arco de aço 0,018" passando pelos braquetes e tubo principal do segundo molar inferior, sendo colocada a mola verticalizadora no tubo inferior do

segundo molar. Após a verticalização, foi colocado um arco de aço 0,018" x 0,025" para assegurar a posição final das coroas e o alinhamento das raízes.

Kogod e Kogod (1991) confeccionaram uma alça chamada "piggyback" com fio 0,018" de aço inoxidável que, ao ser ativada, expressava forças verticais e distais. A ativação da alça era realizada uma vez por semana, inserindo-se a extremidade final entre o primeiro e o segundo molar inclinado, sendo necessário estabilizar os dentes premolares e primeiro molares. Em duas a quatro semanas já era possível perceber o movimento de verticalização com distalização do segundo molar inferior. A referida mola apresentava quatro alças sendo: loop de acabamento (a), loop de ativação (b), alça em "U" vertical (c) e extremidade final (d) para inserir na mesial do molar impactado (Figuras 2.11 e 2.12). A ativação era feita amarrando-se o segmento com as quatro alças sobre o segmento de estabilização inserindo a extremidade final da alça na ameia do primeiro e segundo molar inferior inclinado (Figura 2.13).

Figura 2.11 – Componentes da mola tipo Piggyback: (a) loop de acabamento, (b) loop de ativação, (c) alça em "U" vertical, (d) extremidade final

Figura 2.12 – Mola tipo Piggyback com amarração junto ao arco

Figura 2.13 – Ativação da mola tipo Piggyback com a extremidade pressionando o segundo molar impactado gerando componente de distalização e verticalização

Weiland et al. (1992) realizaram a verticalização do primeiro molar inferior utilizando molas tipback, confeccionadas com fio de TMA 0,017" x 0,025" (Figuras 2.14 e 2.15). Os autores observaram consequências da perda do primeiro molar inferior como: inclinação mesial dos segundos e terceiros molares inferiores, migração para distal do premolar adjacente, extrusão do molar antagônico, contatos prematuros em máxima intercuspidação habitual, interferências nos movimentos excursivos e defeito ósseo periodontal na face mesial do molar inclinado.

Figura 2.14 – Molas tipo tipback cruzadas posicionadas de forma passiva

Figura 2.15 – Mola tipo tipback ativada para estabilizar o arco na região do primeiro premolar inferior

Majourau e Norton (1995) apresentaram um caso clínico onde foram colados botões na face oclusal dos segundos molares inferiores bilateralmente. Foi instalado um fio de aço 0,019" x 0,025" contínuo de primeiro molar direito a primeiro molar esquerdo, na arcada inferior, como método de ancoragem. Um fio de TMA 0,017" x 0,025" foi dobrado, associado a uma mola aberta ativa de aço inoxidável 0,030". Esta mola aberta de aço comprimia a mola de TMA e o tubo secundário do segundo molar inferior para distal, e a unidade de ancoragem para mesial e produzia força de 50gf (Figura 2.16).

Figura 2.16 – Vista oclusal e lateral da mola de TMA 0,017"x 0,025" com a mola aberta de aço inoxidável 0,030"

Carano et al. (1996) realizaram a verticalização de molares inferiores com o dispositivo Distal Jet, que consistia num tubo 0,036" soldado à banda do premolar, paralelo ao plano oclusal. Um fio com dobra em baioneta foi inserido pela distal do tubo do molar. Uma mola aberta de níquel-titânio com 150gf foi colocada sobre o tubo do molar promovendo uma força de distalização. A linha de ação da força ficava localizada na altura da coroa do molar, inclinando a coroa distalmente. O Distal Jet inferior oferece um controle absoluto do movimento do molar com um componente extrusivo desprezível, segundo os autores (Figuras 2.17-2.20).

Figura 2.17 – Distal Jet inferior: fio com dobra em baioneta, encaixando no parafuso do molar, desliza pelo tubo 0,036" soldado na banda do premolar

Figura 2.18 – Força de inclinação distal é aplicada na coroa do molar por meio de compressão da mola aberta de níquel-titânio feita pelo parafuso da trava

Figura 2.19 – Distal Jet inferior confeccionado

Figura 2.20 – Distal Jet inferior instalado

A inclinação mesial dos molares pode iniciar um ciclo vicioso de oclusão traumática e problemas periodontais no dente inclinado. Segundo Melsen et al. (1996), é muito importante o diagnóstico diferencial, seleção do sistema de força e design do aparelho quando deseja-se verticalizar molares. Ilustra o artigo com casos clínicos de verticalização de molar com mecânicas em cantiléver e mola aberta para reforçar esta ideia, sendo que em uma mecânica com dois segmentos de fios utilizou força de 30gf em um fio e 50gf em outro. Em outra mecânica de cantiléver, utilizou 40gf. Em mecânica com mola aberta, foi empregado 100gf.

O movimento ortodôntico é limitado pela ancoragem. A verticalização do molar, acompanhada do movimento de intrusão é o mais difícil de ser realizado, sem efeitos colaterais. A consequência indesejável mais comum é a extrusão do molar

adjacente ao molar verticalizado. A extrusão do molar verticalizado pode reduzir a mordida profunda, aumentar a altura facial anterior inferior e a incompetência labial. Sendo assim, o movimento desejado pode ser comprometido pela ancoragem inadequada (Shellhart et al., 1996).

Capelluto e Lauweryns (1997) desenvolveram a Técnica Simples de Verticalização de Molar (TSVM). Foram sugeridos dois modelos da técnica. No TSVM 01, um tubo 0,018" x 0,025" foi soldado horizontalmente ao braquete do premolar. Um fio 0,016" x 0,022" NiTi superelástico que partia da mesial do tubo do premolar até a distal do tubo do molar, promovia força leve e contínua. Este fio se estendia da mesial do braquete do premolar até a distal do tubo molar (Figura 2.21). No TSVM 02, um tubo foi soldado verticalmente no premolar nas haletas cervicais. Um fio de níquel titânio era introduzido da região gengival do tubo do premolar até a distal do tubo molar (Figura 2.22). Quando ativado, o fio tracionava mesialmente para fora do tubo do molar, gerando força de distalização como reação à tração mesial do fio. A deformação do fio gerava um momento de verticalização e intrusão no molar inclinado. Não havia deformação do fio durante a mastigação e nem interferências oclusais. Deve-se atentar para a ancoragem adequada no premolar. Rotação e distalização do molar devem ser verificadas regularmente.

Figura 2.21 – TSVM 01 com tubo soldado na horizontal no braquete do premolar

Figura 2.22 – TSVM 02 com tubo soldado na vertical no braquete do premolar

Giancotti e Cozza (1998) modificaram a alça dupla com fio Nitinol para distalização simultânea dos primeiros e segundos molares inferiores. Os molares e premolares eram bandados e instalava-se um arco contínuo até a região dos primeiros molares, associando dois arcos segmentados, bilateralmente, do segundo premolar ao segundo molar (arco NeoSentalloy com 80gf).

Sakima et al. (1999) relataram que algumas das possíveis causas dos molares inclinados mesialmente eram as perdas precoces de molares decíduos ou permanentes, anodontia dos segundos premolares, entre outras. Afirmaram que a verticalização dos molares inferiores permitia o alinhamento das raízes perpendicularmente ao plano oclusal, normalizando a situação periodontal e oclusal, além de permitir a recuperação de espaço protético e a reposição do elemento dentário ausente, seja por meio de prótese ou implante. Utilizam com frequência a mecânica “tip back” para verticalização de molares. Para confecção destas, empregam-se fios de aço inoxidável ou TMA de secção retangular 0,016” x 0,022” até 0,018” x 0,025”. Usualmente apresentam helicóides que aumentam o comprimento do fio, que reduz a magnitude de força desejada (Figuras 2.23 e 2.24). A mola do tipo tipback pode ser utilizada quando o momento da verticalização do molar inferior vem acompanhado por um componente extrusivo.

Figura 2.23 – Mola tipo tip back com centro de rotação na distal do molar

Figura 2.24 – Mola tipo tip back ativada gera movimento de verticalização com extrusão

Freitas et al. (2001) apresentaram várias técnicas de verticalização de molares inferiores. São elas: alça em caixa, mola em helicóide, alça simples em “T” para verticalizar um único molar, arco segmentado com alças duplas em “T” para verticalizar dois molares, mola segmentada para correção radicular, mola helicoidal com gancho para apoio do molar adjacente anterior, mola helicoidal para verticalização de molar com extrusão, mola em forma de dedo ativada por mola em espiral, mola de braço longo conjugando o molar com os dentes do segmento de ancoragem e mola helicoidal. Os autores concluíram que deveria ser feita uma análise detalhada de cada tipo e grau de inclinação e que as consequências da inclinação dos molares inferiores poderiam ocasionar acúmulo de biofilme dental com consequente formação de bolsa periodontal na região mesial do molar inclinado, trauma oclusal e dificuldade na reabilitação protética.

A verticalização dos molares inferiores melhorou as condições periodontais pela diminuição ou eliminação de defeitos ósseos pois permitiu que forças oclusais fossem distribuídas no longo eixo dos dentes, promoveu a possibilidade de pilares protéticos verticais e paralelos, proporção coroa/raiz dos dentes comprometidos periodontalmente mais adequada e melhor controle da higiene. O tempo de movimentação ortodôntica era de, em média, 3 a 6 meses. Quando se desejava somente a verticalização dos molares inferiores, a colagem passiva nos elementos de ancoragem foi realizada pois diminuía o tempo de tratamento e efeitos colaterais. Quando o objetivo seria alinhar e nivelar todos os dentes, a colagem era realizada normalmente, tornando o tratamento mais extenso. Para realização de tal movimento, utilizaram a alça em “U” (Figuras 2.25 e 2.26), com fios de aço 0,016” e 0,020” (Janson et al., 2001).

Figura 2.25 – Alça em “U” com fios de aço 0,016” e 0,020”

Figura 2.26 – Posição final do dente 3 meses após início da verticalização

O método de verticalização de molares com ancoragem em mini-implantes foi descrito por Park et al. (2002). Os acessórios deveriam ser instalados na região vestibular e distal do segundo molar inferior. Como vantagens, não haveria risco de efeitos colaterais nos dentes vizinhos e não necessitaria a utilização de braquetes.

Giancotti et al. (2004) verticalizaram um segundo molar impactado por meio de um mini-implante instalado cirurgicamente, que serviu de ancoragem para a aplicação de 50gf de uma mola fechada de níquel-titânio. Como vantagens, os mini-implantes oferecem ótima retenção mecânica, proporcionando ancoragem absoluta durante a movimentação ortodôntica e tempo mínimo de cicatrização. Sendo assim, permitem a aplicação imediata de forças leves. A instalação do refrido acessório na região retromolar, tem como vantagem a aplicação de forças distais ao centro de resistência do segundo molar, permitindo controle vertical no movimento de desinclinação (Figura 2.27). Os autores concluíram que os mini-implantes eram extremamente efetivos quando utilizados para ancoragem esquelética.

Figura 2.27 – Verticalização do segundo molar inferior ancorado no mini-implante

Di Matteo et al. (2005) trataram três pacientes com a presença de segundos molares inferiores com inclinações maiores que 20° . Mini-implantes foram instalados nas faces distais dos molares a serem verticalizados. Uma semana após a instalação dos acessórios de ancoragem, foram utilizadas ligaduras elásticas, unindo estes aos molares inferiores inclinados, com forças variando entre 150gf e 200 gf. A cada consulta era verificada a força das ligaduras elásticas. A conclusão deste

estudo sugere que os mini-implantes são uma alternativa eficaz no movimento ortodôntico de verticalização de molares inferiores.

A eficácia dos mini-implantes nos movimentos dentários foi estudada por Marassi et al. (2005). Não foram observadas diferenças nas aplicações de forças mediatas e imediatas, pois a estabilidade ocorre por retenção mecânica e não por osseointegração. Em acessórios com 1,3mm de diâmetro pode-se colocar carga de 300gf, e com 1,5mm, cargas de até 450gf. É recomendável uso de dinamômetro para mensurar o nível de força adequado a ser empregado. A verticalização dos molares inferiores pode ser conseguida por meio da instalação de mini-implantes distais a estes ou mesiais com a utilização de braço de alavanca.

Segundo Yun et al. (2005), a maioria dos métodos para verticalização dos segundos molares inferiores produz considerável extrusão dos molares. Os autores relataram em seus casos clínicos o uso de mini-implantes para verticalizar tais elementos dentários. No procedimento realizado pelos mesmos, somente um mini-implante é colocado na face vestibular de cada arcada, entre as raízes do primeiro molar e segundo premolar. Mencionaram que a ancoragem indireta com os mini-implantes pode tornar o movimento de verticalização dos segundos molares mais fácil e efetivo.

Araújo et al. (2006) relataram que a possibilidade de utilização dos mini-implantes com carga imediata tem modificado a abordagem clínica e biomecânica da verticalização de molares inferiores. Uma das opções para a inserção de mini-implantes com o intuito de verticalizar tais dentes é a região retromolar. Neste caso, o ponto de ancoragem fica posicionado distalmente da unidade em questão, ocorrendo assim uma abertura de espaço para reabilitação protética. A ativação ortodôntica pode ser realizada por meio de molas fechadas, elásticos em cadeia ou em fio. Os autores concluíram que a ancoragem esquelética com o auxílio de mini-implantes proporciona um adequado controle de forças, tanto em magnitude quanto em direção.

Para Isaza et al. (2006), quando necessário verticalizar o segundo molar inferior, pode-se utilizar mini-implante associado à mola híbrida de Nitinol. O mini-implante é instalado entre os primeiros e segundos premolares. A extremidade de

aço da mola foi fixada ao canal de encaixe do acessório de ancoragem esquelética enquanto a outra foi encaixada no tubo do molar inclinado. Para controlar o movimento distal durante a verticalização do segundo molar inferior, sugeriu-se a incorporação de braquetes entre os premolares e a utilização de dois segmentos de fio retangular. O primeiro segmento, construído em fio de aço garantiu a ancoragem estendendo-se do canal de encaixe do mini-implante até as faces vestibulares dos premolares, sendo estabilizado com resina fotopolimerizável. O segundo segmento, construído em fio de TMA, promoveu a verticalização do segundo molar inferior, que associado a um amarrilho conjugado, evitou o deslocamento distal do referido dente.

Miao e Zhong (2006) confeccionaram um mini gancho com fio 0,014" de aço inoxidável instalado na face oclusal do molar inclinado mesialmente. Com um fio 0,018" de aço inoxidável, confeccionou-se uma mola que é soldada na face lingual da banda do dente adjacente mesial ao impactado. Encaixou-se a extremidade desta mola no gancho que se encontrava na oclusal do dente inclinado. A mola exerceria uma força no sentido distal, verticalizando o molar inclinado.

Gracco et al. (2007) afirmaram que a perda precoce do primeiro molar inferior devido à cárie ou doença periodontal, poderia ocasionar a mesioinclinação do segundo molar inferior. Eles relataram que aparelhos fixos convencionais não poderiam controlar movimentos extrusivos. Desenvolveram o Distal Jet modificado, que permitia o controle nas três dimensões durante o movimento de verticalização utilizando uma força de 150gf.

Sawicka et al. (2007) relataram que a utilização do cantiléver oferecia bons resultados. O tratamento de segundos molares impactados dependia do grau de inclinação destes. Uma opção de tratamento é a mecânica com um cantiléver com fio de TMA 0,017" x 0,025" (Figuras 2.28 e 2.29).

Figura 2.28 – Cantiléver longo posicionado de forma passiva

Figura 2.29 – Cantiléver longo ativado gerando força de distalização e extrusão

Gandini Jr et al. (2008) descreveram uma técnica de verticalização utilizando mecânica de tipback em cantiléver, que gerava um momento de rotação que corrigia a inclinação dentária e poderia ser longo ou curto. Quanto mais curto, maior o componente de extrusão do molar e, quanto mais longo, maior o momento e menor o componente extrusivo. Outra alternativa como prevenção à extrusão do molar a ser verticalizado seria a utilização de dois cantilêvers de tamanhos diferentes. O longo era inserido no tubo do molar a ser verticalizado e se prolongaria até a distal dos incisivos laterais, gerando um momento de verticalização e extrusão. Um outro cantiléver mais curto iria desde o tubo em cruz fixado entre premolares e se estenderia até a distal do segundo molar inferior, gerando momento de intrusão.

A verticalização dos molares inferiores minimizava efeitos colaterais como os defeitos ósseos verticais, reduzindo a necessidade de cirurgias periodontais, obtendo melhor distribuição das forças oclusais (o que evitaria possíveis traumas oclusais), melhor adaptação das próteses (pelo aumento da durabilidade) e diminuição do risco de necrose pulpar (Souza et al., 2008).

Bicalho et al. (2009) relataram que o movimento de verticalização de molares inferiores é particularmente difícil de ser realizado por ortodontistas, principalmente pelo efeito colateral da extrusão. Neste artigo, os autores relatam um caso clínico, onde foram utilizados mini-implantes ortodônticos como auxiliares de ancoragem, o que permitiu tal movimentação sem a necessidade de instalação de aparatologia fixa total no arco inferior, menor tempo de tratamento e boa aceitação pelo paciente, em casos que a mecânica tradicional teria prognóstico duvidoso (Figuras 2.30-2.32).

Figura 2.30 – Vista lateral do sistema de ancoragem

Figura 2.31 – Situação após 45 dias após o início do tratamento

Figura 2.32 – Final do alinhamento e nivelamento, 11 meses após início do tratamento

Chiavini e Ortellado (2009) utilizam molas em cantiléver de aço inoxidável ou TMA 0,017" x 0,025" (Figura 2.33) para verticalização de molares. Para confecção de tal mola, realiza-se uma helicoide na mesial do tubo do molar para aumentar a flexibilidade do cantiléver, enquanto na região de apoio deve ser construído um gancho para apoio no fio contínuo anterior, sendo que este fio deve ser seccionado na distal do premolar e serve também como ancoragem dos dentes anteriores (Figura 2.34).

Figura 2.33 – Mola em cantiléver

Figura 2.34 – Mola em cantiléver instalada

Pithon et al. (2009) descreveram a técnica de verticalização de um molar inferior utilizando uma mola em "M" apoiada em mini-implante ortodôntico. A mola era confeccionada com fio retangular de aço inoxidável ou de titânio molibdênio

(TMA) e possuía uma alça com helicóide, que era apoiada no mini-implante e a outra extremidade encaixada no tubo do molar. A ativação era realizada por meio de dobras tipo tipback. Deve-se posicionar a mola no encaixe do tubo do molar, sem ativar abrindo ou fechando a alça, para que o dente gire em torno do centro de resistência (Figura 2.35).

Figura 2.35 – Ativação da mola em “M”

Girelli et al. (2010) elaboraram um estudo sobre os aspectos ortodônticos e periodontais envolvidos na verticalização de molares. Mostraram que, na literatura, foram encontrados diversos tipos de mola para realização de tal movimento. Entre as molas com componente extrusivo, citaram a mola T simples e a mecânica em cantiléver e, as com componente intrusivo, o cantiléver duplo e a mola de correção radicular. Foi concluído que a verticalização de molares inclinados é útil e necessária, possibilitando melhora no periodonto nos dentes que se encontram inclinados.

Totti et al. (2010) relataram um caso clínico de verticalização dos segundos molares inferiores utilizando-se um arco lingual modificado com ganchos soldados em suas extremidades. Foram colados botões nas faces oclusais dos segundos molares inferiores e utilizando elásticos em cadeia, que ligavam os botões aos

ganchos do arco lingual (Figura 2.36). Estes, foram substituídos a cada 15 dias e, em 3 meses de tratamento alcançou-se a verticalização completa dos referidos elementos dentários. Este dispositivo tem como vantagens, a facilidade de confecção e adaptação, baixo custo, fácil higienização. Como desvantagens apresentou o pouco controle extrusivo dos molares inferiores, limite de ajustes e área de trabalho restrita.

Figura 2.36 – Arco lingual modificado com ganchos ativado com elásticos em cadeia

Uma das novas alternativas de verticalizar molares inferiores por meio de ancoragem indireta seria com a utilização de mini-implantes. Melo et al. (2011) relataram algumas alternativas do emprego de tal sistema. Quando desejada verticalização sem o controle de extrusão, instalou-se um fio de aço inoxidável 0,019" x 0,025" no segmento de ancoragem e, para se obter o momento de força de verticalização do molar, foi confeccionado um cantiléver com fio de TMA 0,017" x 0,025" que foi inserido no tubo do molar a ser verticalizado e no fio do segmento de ancoragem (Figuras 2.37 e 2.38).

Figura 2.37 – Segmento de ancoragem com fio 0,019" x 0,025"

Figura 2.38 – Ativação do cantiléver ao encaixá-lo no segmento de ancoragem

Outra forma de verticalização de molares inferiores sem o controle de extrusão é utilizando ancoragem direta. Segundo os autores, o mini-implante também é instalado na região entre o canino e o primeiro premolar inferior. Neste caso, o cantiléver que está inserido no tubo do molar a ser verticalizado é ativado amarrando a outra extremidade diretamente sobre o mini-implante.

Quando necessário verticalizar um molar inferior inclinado, com controle de extrusão ou até mesmo necessidade de intrusão, utilizou-se a ancoragem indireta com mini-implante associado ao cantiléver duplo. Um cantiléver é inserido no tubo do molar que será verticalizado e ativado quando encaixado no segmento de ancoragem. O outro cantiléver é encaixado no tubo vertical cruzado que é fixo no fio

do segmento de ancoragem e a outra extremidade quando ativada, gera uma força intrusiva no molar inclinado (Figuras 2.39 e 2.40).

Figura 2.39 – Cantiléver ativado para gerar força intrusiva e de verticalização

Figura 2.40 – Cantiléver posicionado para gerar força intrusiva e de verticalização

Os autores concluíram que, quando existe a necessidade de controle de extrusão durante o movimento de verticalização do molar inferior, os mini-implantes são os melhores recursos de ancoragem, seja ela direta ou indireta.

3 PROPOSIÇÃO

Com base nas mecânicas de verticalização de molares: este estudo propõe-se a avaliar:

1. As tensões resultantes nas regiões cervical e apical utilizando mini-implante.
2. As tensões resultantes nas regiões cervical e apical utilizando cantiléver.
3. As tensões resultantes nas regiões cervical e apical utilizando mola “T”.
4. As tensões resultantes nas regiões cervical e apical utilizando mola aberta.
5. Qual das técnicas apresenta menores tensões nas regiões estudadas.
6. Qual das técnicas apresenta maiores tensões nas regiões estudadas.

4 MATERIAIS E MÉTODOS

Os materiais e equipamentos utilizados, assim como a metodologia empregada, foram descritos a seguir.

4.1 Materiais e equipamentos utilizados na pesquisa

Botões de colagem (Morelli – Sorocaba – Brasil)

- Braquetes metálicos com canal de encaixe 0,022” prescrição Roth (Abzil – São José do Rio Preto – Brasil)
- Câmera fotográfica digital Rebel XTi (Canon – Tóquio – Japão)
- Cera rosa 7 (Lysanda Produtos Odontológicos Ltda – São Paulo – Brasil)
- Cola Superbond (Loctite – Barueri – Brasil)
- Computador iMac com tela de 21 polegadas (Apple Inc. – Califórnia, Estados Unidos)
- Dentes artificiais em resina (Orto-Art – Piracicaba – Brasil)
- Dinamômetro (Zeusan Comércio e Exportações de Produtos Médicos e Odontológicos Ltda. – Campinas – Brasil)
- Elástico corrente médio (Morelli – Sorocaba – Brasil)
- Fio de aço inoxidável 0,019” x 0,025” (Dentsply GAC International – Nova Iorque – Estados Unidos)
- Fio de aço inoxidável 0,018” (Morelli – Sorocaba – Brasil)
- Fio de amarrilho 0,025” (Dentaurum – Ispringen– Alemanha)
- Fio de TMA 0,019 x 0,025” (Morelli – Sorocaba – Brasil)
- Hemi-mandíbula confeccionada em gesso pedra
- Lâmpada Photoflood nº 2 (General Eletric – Monterrey – México)
- Ligaduras elásticas (Morelli – Sorocaba – Brasil)
- Mini-implante ortodôntico 1,6 x 9mm (Neodent – Curitiba – Brasil)

- Mola aberta de NiTi (Morelli – Sorocaba – Brasil)
- Polaroscópio Circular (Eikonal Instrumentos Ópticos – São Paulo – Brasil)
- Programa de computador iPhoto (Apple Inc. – Califórnia, Estados Unidos)
- Resina epóxi flexível (Epoxy Glass – Diadema – Brasil)
- Silicone industrial e catalisador (Moldflex Prods. Para Moldagem Profissional Ltda – São Paulo – Brasil).
- Tripé para máquina fotográfica WT0102 (Ambico – Lake Mary – Estados Unidos)
- Tubos de colagem de segundo molar inferior com canal de encaixe 0,022” prescrição Roth (Abzil – São José do Rio Preto – Brasil)
- Typodont em cera (Orto-Art – Piracicaba – Brasil)

4.2 Metodologia

A fotoelasticidade é um recurso utilizado para analisar magnitudes de tensões e deformações das estruturas. Alguns materiais transparentes específicos sob luz polarizada, convertem estímulo mecânico em padrões visíveis de luminosidade. Estes, tornam-se birrefringentes promovendo desorientação na propagação do feixe de luz polarizada, gerando parâmetros fotoelásticos em forma de franjas, que ocorrem ao longo das áreas de compressão ou tração. Uma das grandes vantagens da análise de tensões por tal método, é a facilidade de visualizar imediatamente tais magnitudes, gradientes de deformação e distribuição, incluindo áreas sob alta ou baixa concentração de tensões, sendo ainda possível verificar a importância relativa de várias situações de aplicação de cargas (Phillips, 2000; Alcântara, 2006; Perosa, 2013).

O polariscópio é o instrumento óptico que utiliza as propriedades da luz polarizada e é utilizado para realização das análises fotoelásticas. É um dispositivo que permite observar as direções das tensões quando uma luz polarizada penetra em um material fotoelástico submetido a um esforço mecânico. Duas configurações

são mais frequentemente empregadas: o plano e o circular. Podem ser ainda divididos em polariscópios de transmissão e de reflexão. O polariscópio circular configurado em campo escuro, utilizado neste estudo, é composto pela fonte luminosa e quatro componentes ópticos: o polarizador – que converte a luz proveniente da fonte em luz plano-polarizada; a primeira placa de $\frac{1}{4}$ de comprimento de onda – instalada após o polarizador e posicionada de forma que o eixo rápido esteja com inclinação de 45° em relação ao eixo do polarizador, que transforma a polarização da luz em circular; a segunda placa de $\frac{1}{4}$ de comprimento de onda – orientada de modo que o eixo rápido esteja paralelo ao eixo da primeira, onde a luz circumentemente polarizada novamente é transformada em luz plano-polarizada; analisador – o último elemento do polaroscópio circular, que é responsável pela extinção da luz, deve ser posicionado de modo que o eixo de polarização seja perpendicular ao eixo do polarizador (Figura 4.1). Desta maneira, a luz polarizada plana será transformada em luz polarizada circular (Phillips, 2000; Ferreira Júnior, 2003; Claro, 2008; Schiavon, 2010).

Figura 4.1 – Esquema de polariscópio circular (Schiavon, 2010)

O aparecimento de franjas é a expressão óptica visível das cargas empregadas nos modelos fotoelásticos. A aplicação de cargas provoca deformações que levam os modelos a apresentar tensões (Claro, 2008). Nos experimentos de fotoelasticidade pode ser utilizada luz monocromática ou luz branca. Na luz monocromática aparecerão apenas franjas pretas no modelo e na luz branca franjas coloridas, que é um somatório de intensidades o que gera franjas isocromáticas coloridas (Figura 4.2).

Figura 4.2 – Aspectos das franjas isocromáticas (a) em luz monocromática e (b) em luz branca (Schiavon, 2010)

Ao empregar carga em uma peça inicialmente descarregada, as franjas aparecerão inicialmente nos pontos com maior nível de tensão. Ao aumentá-la, novas franjas aparecem e as anteriores são redistribuídas para áreas de menor tensão. Com a adição de carregamentos, franjas adicionais são geradas nas regiões de maior tensão e redistribuídas em direção às regiões de menor tensão até que se alcance a carga máxima (Perosa, 2013). As franjas podem ser designadas por

números ordinais de acordo com o seu surgimento e possuirão uma identidade individual (ordem), que foram classificadas internacionalmente e descritas na tabela 4.1 (ASTM – American Society for Testing and Materials – D4093).

Tabela 4.1 – Ordem de franjas isocromáticas (ASTM D4093)

Cor	Ordem de franja δ/λ
Preto	0
Cinza	0,28
Branco	0,45
Amarelo claro	0,60
Laranja	0,79
Vermelho intenso	0,90
Transição vermelho-azul	1,00
Azul intenso	1,06
Azul-verde	1,20
Verde-amarelo	1,38
Laranja	1,62
Vermelho rosado	1,81
Transição vermelho-verde	2,00
Verde	2,33
Verde-amarelo	2,50
Vermelho	2,67
Transição vermelho-verde	3,00
Verde	3,10
Rosa	3,60
Transição rosa – verde	4,00
Verde	4,13

Áreas de franjas finas com pequenos espaçamentos significam regiões de gradientes excessivos de tensões e de altas tensões. Grandes áreas nas quais o padrão é quase uniformemente negro ou cinza, normalmente sugerem uma região não tensionada. Estas franjas são utilizadas para as análises qualitativa e quantitativa. Na qualitativa, são observadas as regiões onde as franjas se formaram,

sua morfologia e concentração. Na quantitativa, são calculados os valores das diferenças das tensões principais em áreas ou pontos de interesse (Alcântara, 2006; Perosa, 2013). Para se determinar a ordem da franja é necessário utilizar a seguinte equação (Claro, 2008):

$$\text{Ordem de franja} = \delta/\lambda$$

Onde:

δ = atraso relativo

λ = comprimento de onda

E, o atraso relativo,

$$\delta = Kt (\epsilon_1 - \epsilon_2) = (n_1 - n_2)t \text{ ou}$$

$$\delta = Ct (\sigma_1 - \sigma_2) = (n_1 - n_2)t$$

K = constate de deformação óptica

$\epsilon_1 - \epsilon_2$ = diferença entre as tensões principais

$n_1 - n_2$ = diferença entre índices de refração

t = espessura do material

C = constante de tensão óptica

$\sigma_1 - \sigma_2$ = diferença entre as tensões

A “Lei Óptica das Tensões” promove a proporcionalidade entre a distribuição das tensões no modelo e as ordens de franjas. A diferença das tensões principais é proporcional à diferença entre os índices de refração nos dois planos principais (Alcântara, 2006; Perosa, 2013).

$$\sigma_1 - \sigma_2 = \frac{(NK)}{h}$$

$$\tau_{\max} = \frac{(\sigma_1 - \sigma_2)}{2} = \frac{(NK)}{2h}$$

$\tau_{\max}$ = tensão cisalhante máxima

N = ordem de franja

h = espessura do modelo

As franjas são reconhecidas quando ocorre a transição de uma banda para a outra, a partir da mudança de coloração da franja. A primeira, de cor negra, é a de ordem zero, a de cor violeta, ordem um, a transição violeta/azul, ordem dois, transição de vermelho para verde ordem três. A partir da franja de ordem três, as franjas subsequentes são contadas sempre na transição vermelho para o verde (Figuras 4.3 e 4.4).

Figura 4.3 – Sequência de ordem de franjas a partir da ordem zero (Phillips, 2000)

Figura 4.4 – Demonstração dos valores das ordens das franjas isocromáticas (Cebrián-Carretero et al., 2012)

Foram utilizados quatro modelos artificiais confeccionados com resina epóxi flexível, dentes em resina e um mini-implante. Para produção dos mesmos, foi necessário construir um Typodont em cera com dentes artificiais reproduzindo um modelo de estudo de um paciente adulto com perda de primeiro molar inferior e com inclinação mesial do segundo molar (Figura 4.5).

Figura 4.5 – Typodont reproduzindo modelo de estudo inferior com ausência de primeiro molar e segundo molar inclinado mesialmente

A partir desse Typodont foi realizada uma moldagem com silicone industrial, no qual foram posicionados os dentes duplicados do referido dispositivo e o mini-parafuso, sendo a mesma vazada com resina flexível. O modelo inicial criado tinha ausência dos molares inferiores do lado oposto para não interferir na avaliação das franjas (Figuras 4.6 e 4.7).

Figura 4.6 – Modelo inicial em resina flexível, com dentes e mini-implante posicionados – vista lateral direita

Figura 4.7 – Modelo inicial em resina flexível, com dentes e mini-implante posicionados – vista oclusal

Porém, a base recortada do modelo poderia interferir e atrapalhar na identificação das franjas e foi então necessário promover novas mudanças. Sendo assim, logo em seguida, foi vazado no mesmo molde de silicone utilizado previamente, cera rosa número 7 para fabricação de um novo modelo dos dentes. Adicionalmente, foi utilizada uma cópia em gesso da hemi-mandíbula utilizada no trabalho de Laganá em 2011 (Figura 4.8). Os dentes de cera, previamente selecionados, foram unidos à hemiarcada desdentada. (Figuras 4.9 e 4.10).

Figura 4.8 – Hemi-mandíbula em gesso com a área da coroa dos dentes removida

Figura 4.9 – União da hemi-mandíbula com os dentes em cera

Figura 4.10 – Hemi-mandíbula e dentes em cera unidos

Após esta etapa, uma nova moldagem com silicone foi realizada para possibilitar o vazamento de um modelo de resina acrílica, que serviu como base para o modelo final, deixando o modelo mais liso, com a intenção de evitar qualquer tipo de porosidade que pudesse interferir na avaliação das franjas isocromáticas (Figura 4.11).

Figura 4.11 – Modelo confeccionado em resina acrílica

Mas, ao fotografar as primeiras vezes o modelo teoricamente final de resina flexível com os dentes e mini-implante posicionados, percebeu-se que o corpo de prova poderia ficar melhor se fossem removidos os detalhes tridimensionais da cópia da hemi-mandíbula e, também vedada a abertura do forame mandibular. Estes fatores poderiam influenciar/dificultar a leitura das respectivas franjas. Para solucionar estas possíveis interferências, criou-se um novo modelo, no qual foi novamente recortada a parte da coroa dos dentes e toda a parte superior do ramo da mandíbula, que, posteriormente, foi totalmente encerada. A seguir, ambas foram unidas à uma peça de acrílico completamente lisa (Figura 4.12), o que possibilitou a confecção de um modelo completamente reto e com total lisura superficial.

Figura 4.12 – União da parte da coroa dos dentes, parte superior do ramo mandibular encerada e base em acrílico

Desta maneira, confeccionou-se o molde de silicone industrial final (Figura 4.13), onde finalmente foram posicionados os dentes de resina acrílica e mini-implante (apenas em um modelo), e então despejada a resina epóxi flexível, gerando os quatro modelos finais utilizados no estudo (Figura 4.14)

Figura 4.13 – Molde final confeccionado em silicone industrial

Figura 4.14 – Modelos finais em resina flexível utilizados no estudo

Os mesmos foram divididos em quatro grupos:

- Grupo I: mini-implantes fixados na região do trígono retromolar. Foi colado um botão na face mesial do segundo molar inferior. Sendo assim, utilizou-se um conjunto de elástico corrente preso por amarrilho metálico no mini-implante até o botão colado na face mesial, passando pela região oclusal do mesmo dente (Figura 4.15).

Figura 4.15 – Modelo utilizando mecânica com mini-implante

- Grupo II: acessórios colados de canino a segundo molar inferior direito. Foi utilizada mecânica de arco segmentado e mecânica em “cantiléver”, que é um segmento de fio preconizado por alguns autores para realizar verticalização de segundos molares inferiores, sendo inserido em um braquete ou um tubo em uma de suas extremidades, enquanto a outra é amarrada ou apoiada em outra unidade (Chiavini; Ortellado, 2009). Utilizou-se nesta pesquisa, um arco de ancoragem segmentado de espessura 0,019” x 0,025” de aço, de canino a segundo premolar inferior e depois, utilizado um cantiléver fabricado com a mesma espessura de arco, porém de liga de TMA, onde confeccionou-se um helicoide na mesial do segundo molar inferior e construído um gancho para apoio no fio segmentado anterior (Figura 4.16).

Figura 4.16 – Modelo utilizando mecânica com cantiléver

- Grupo III: acessórios colados de canino a segundo molar inferior direito. Foi utilizado um arco 0,019" x 0,025" de TMA contínuo de canino inferior a segundo molar inferior com uma mola em "T" (Tuncay et al., 1980) na mesial do segundo molar inferior (Figura 4.17).

Figura 4.17 – Modelo utilizando mecânica com mola em "T"

- Grupo IV: acessórios colados de canino a segundo molar inferior direito. Foi utilizado um arco 0,018" de aço de canino à segundo molar com uma mola aberta de NiTi comprimida entre o segundo premolar e segundo molar inferior (Figura 4.18).

Figura 4.18 – Modelo utilizando mecânica com mola aberta

Foi utilizado o polaroscópio circular (Figura 4.19) com os seguintes componentes: fonte luminosa, difusor de luz, polarizador, placa $\frac{1}{4}$ de onda, modelo fotoelástico, placa de $\frac{1}{4}$ de onda e analisador. A máquina fotográfica foi montada sobre um tripé, e posicionada em frente ao analisador. Os modelos fotoelásticos foram posicionados sob anilhas metálicas, para que fosse possível padronização de altura.

Figura 4.19 – Polaroscópio circular

Todos eles foram observados previamente no polaroscópio para confirmar ausência de tensões residuais no material fotoelástico, que poderiam interferir na observação das franjas no modelo. Em todas as mecânicas, foram utilizadas forças de 50gf, 100gf, 150gf, 200gf, 250gf e 300gf, mensuradas por meio de um dinamômetro (Figuras 4.20-4.22).

Figura 4.20 – Dinamômetro (Zeusan Comércio e Exportações de Produtos Médicos e Odontológicos Ltda.)

Figura 4.21 – Exemplo de mensuração com o dinamômetro na mecânica com mini-implante

Figura 4.22 – Exemplo de mensuração com o dinamômetro na mecânica em cantiléver

Após ativação de movimento ortodôntico de verticalização em cada um dos modelos analisados, com aplicação das respectivas cargas empregadas, foram efetuadas fotografias depois de dois minutos, para padronizar o tempo, garantindo que as forças fossem expressadas com a mesma duração sobre a resina fotoelástica em todos os modelos analisados. As fotos foram realizadas respeitando critérios, para que na comparação entre as mesmas não ocorressem interferências de outras variáveis. Foi mantida a mesma distância entre todos os componentes do polaroscópio, pois os mesmos permaneceram em posição até o final do experimento. A mesma angulação entre modelo fotoelástico e lente da máquina fotográfica (macro de 100mm), abertura do diafragma ($f = 3.2$), velocidade ($V =$

1/125s), enquadramento (0,39) e ISO 200 da máquina fotográfica também foram mantidas (Figura 4.23). Para que o modelo fosse reposicionado no mesmo local após aplicação de nova carga, foram utilizadas como referência marcações com fitas adesivas existentes na anilha superior, onde apoiou-se o modelo (Figura 4.24). As fotos foram tiradas no mesmo local escuro, com as mesmas condições de iluminação e distância entre os elementos do conjunto.

Figura 4.23 – Máquina fotográfica posicionada para realizar as fotografias

Figura 4.24 – Dermacações na anilha superior

As fotografias digitais foram transferidas para computador com uma tela de 21 polegadas (Figura 4.25) e analisadas no programa iPhoto, pelo mesmo operador, duas vezes em datas distintas, utilizando a tabela da ASTM D4093 (Tabela 4.1) para confirmar a sequência de cores, e consequentemente, das ordens das franjas.

Figura 4.25 – Fotos analisadas em uma tela de computador de 21 polegadas

Foram avaliadas apenas as seguintes regiões próximas ao segundo molar inferior: cervical da raiz mesial (1); apical da raiz mesial (2); cervical da raiz distal (3); apical da raiz distal (4), quando submetidos a diferentes tipos de mecânicas de verticalização do mesmo (Figura 4.26).

Figura 4.26 – Pontos selecionados para análise

Para assegurar a reprodutibilidade do método, um outro profissional treinado e calibrado, com conhecimento e experiência na técnica da fotoelasticidade, realizou a mensuração das fotos das quatro mecânicas com aplicação de 300gf.

4.3 Análise estatística

Os valores de franjas foram descritos em cada local de aferição, a cada avaliação com uso de média e desvio padrão (Bussab; Morettin, 1987) e verificada a concordância/reprodutibilidade entre as avaliações com uso do coeficiente de correlação intraclass (CCI), com os respectivos intervalos com 95% de confiança, e, calculadas as medidas de repetibilidade (Fleiss, 1986), que é a estimativa das diferenças encontradas entre as avaliações.

Utilizando a primeira avaliação das franjas, foram descritos os valores de franjas para cada local e tipo de mecânica, com o uso de medidas resumo (média, desvio padrão, mediana, mínimo e máximo) e, foram comparadas as franjas entre os tipos de mecânicas com uso de teste não paramétrico de Friedman (Neter et al., 1996) Quando o teste apresentou significância estatística foram realizadas comparações múltiplas não paramétricas para medidas pareadas (Neter et al., 1996) para verificar entre quais tipos de mecânicas ocorreram as diferenças nas franjas.

Os testes foram realizados com nível de significância de 5%.

5 RESULTADOS

Para análise mais detalhada e consolidada dos dados obtidos neste estudo, optou-se por utilizar as análises qualitativa e quantitativa.

5.1 Análise Qualitativa

Os corpos de prova foram avaliados sob várias condições de carregamento, conforme descrito na metodologia. As figuras 5.1 à 5.24 mostram as imagens do comportamento das franjas nas regiões: cervical da raiz mesial; apical da raiz mesial; cervical da raiz distal e apical da raiz distal, quando o modelo fotoelástico sofreu a aplicação de 50gf, 100gf, 150gf, 200gf, 250gf e 300gf de carga.

5.1.1 Corpo de prova utilizando mecânica com *mini-implante*:

- Força de 50 gf (Figura 5.1):
 - **Cervical da raiz mesial:** não apresentou tensões – Ordem de franjas 0.
 - **Apical da raiz mesial:** não apresentou tensões – Ordem de franjas 0.
 - **Cervical da raiz distal:** não apresentou tensões – Ordem de franjas 0.
 - **Apical da raiz distal:** não apresentou tensões – Ordem de franjas 0.

Figura 5.1 – Aplicação de carga de 50gf com a mecânica mini-implante

- Força de 100gf (Figura 5.2):
 - **Cervical da raiz mesial:** não apresentou tensões – Ordem de franjas 0.
 - **Apical da raiz mesial:** apresentou uma alteração de coloração muito sutil na região – Ordem de franjas 0,28.
 - **Cervical da raiz distal:** não apresentou tensões – Ordem de franjas 0.
 - **Apical da raiz distal:** não apresentou tensões – Ordem de franjas 0.

Figura 5.2 – Aplicação de carga de 100gf com a mecânica mini-implante

- Força de 150gf (Figura 5.3):
 - **Cervical da raiz mesial:** não apresentou tensões – Ordem de franjas 0.
 - **Apical da raiz mesial:** apresentou uma alteração de coloração muito discreta na região – Ordem de franjas 0,45.
 - **Cervical da raiz distal:** não apresentou tensões – Ordem de franjas 0.
 - **Apical da raiz distal:** não apresentou tensões – Ordem de franjas 0.

Figura 5.3 – Aplicação de carga de 150gf com a mecânica mini-implante

- Força de 200gf (Figura 5.4):
 - **Cervical da raiz mesial:** não apresentou tensões – Ordem de franjas 0.
 - **Apical da raiz mesial:** similar a força de 150gf – Ordem de franjas 0,45.
 - **Cervical da raiz distal:** surgiu uma discreta área de tensão – Ordem de franjas 0,45.
 - **Apical da raiz distal:** não apresentou tensões – Ordem de franjas 0.

Figura 5.4 – Aplicação de carga de 200gf com a mecânica mini-implante

- Força de 250gf (Figura 5.5):
 - **Cervical da raiz mesial:** não apresentou tensões – Ordem de franjas 0.
 - **Apical da raiz mesial:** houve um aumento de tensão, porém não alcançou uma sequência de cores – Ordem de franjas 0,6.
 - **Cervical da raiz distal:** há um aumento de intensidade nas franjas, que confundem-se com as franjas oriundas do mini-implante – Ordem de franjas 1.
 - **Apical da raiz distal:** houve um aumento de tensão, porém não alcançou uma sequência de cores – Ordem de franjas 0,6.

Figura 5.5 – Aplicação de carga de 250gf com a mecânica mini-implante

- Força de 300gf (Figura 5.6):
 - **Cervical da raiz mesial:** não apresentou tensões – Ordem de franjas 0.
 - **Apical da raiz mesial:** houve um aumento de tensão localizada muito próxima ao ápice, alcançando uma sequência de cores – Ordem de franjas 1.
 - **Cervical da raiz distal:** há um aumento de intensidade e extensão da área ocupada pelas franjas, possibilitando visualizar uma sequência de cores e diferenciá-las com as franjas oriundas do mini-implante – Ordem de franjas 2.
 - **Apical da raiz distal:** houve um aumento de tensão na ponta do ápice radicular e mais em direção à borda mandibular, acabaram unindo-se com as franjas do mini-implante – Ordem de franjas 0,79.

Figura 5.6 – Aplicação de carga de 300gf com a mecânica mini-implante

5.1.2 Corpo de prova utilizando mecânica com *cantiléver*

- Força de 50gf (Figura 5.7):
 - **Cervical da raiz mesial:** não houve tensões quando utilizada esta magnitude de força – Ordem de franjas 0.
 - **Apical da raiz mesial:** houve alteração de cor bem sutil – Ordem de franjas 0,28.
 - **Cervical da raiz distal:** não houve tensões quando utilizada esta magnitude de força – Ordem de franjas 0.
 - **Apical da raiz distal:** não houve tensões quando utilizada esta magnitude de força – Ordem de franjas 0.

Figura 5.7 – Aplicação de carga de 50gf com a mecânica cantiléver

- Força de 150gf (Figura 5.9):
 - **Cervical da raiz mesial:** aumento considerável de número de franjas que se estendem até a região do primeiro molar ausente e extendendo-se nas direções da crista do rebordo para mesial e até o terço médio da raiz – Ordem de franjas 1,82.
 - **Apical da raiz mesial:** aumento de tensões muito concentradas no ápice, dirigindo-se em direção ao terço cervical, ocupando todo o terço cervical desta raiz, tanto na face mesial quanto na face distal – Ordem de franjas 2.
 - **Cervical da raiz distal:** não houve tensões quando utilizada esta magnitude de força – Ordem de franjas 0.
 - **Apical da raiz distal:** não houve tensões quando utilizada esta magnitude de força – Ordem de franjas 0.

Figura 5.9 – Aplicação de carga de 150gf com a mecânica cantiléver

- Força de 200gf (Figura 5.10):
 - **Cervical da raiz mesial:** apresentou aumento e grande concentração de tensões, se estendendo ao espaço do primeiro molar ausente, sendo mais concentradas próximo ao dente, ficando mais espaçadas ao se aproximar do segundo premolar – Ordem de franjas 2,5.
 - **Apical da raiz mesial:** franjas muito concentradas nesta região, sendo que a sequência de cores sugeriu classificá-las como ordem maior que 2, e se distribuíram em direção à apical envolvendo o terço apical, tanto pela mesial quanto pela distal da raiz – Ordem de franjas 2,33.
 - **Cervical da raiz distal:** não houve tensões quando utilizada esta magnitude de força – Ordem de franjas 0.
 - **Apical da raiz distal:** houve uma sutil aparição de cores não sendo possível classificá-la como uma área de grandes tensões – Ordem de franjas 0,28.

Figura 5.10 – Aplicação de carga de 200gf com a mecânica cantiléver

- Força de 250gf (Figura 5.11):
 - **Cervical da raiz mesial:** comportou-se de maneira muito semelhante à magnitude de força de 200gf – Ordem de franjas 2,5.
 - **Apical da raiz mesial:** franjas muito concentradas, porém com surgimento de mais cores e ocupam maior área do que quando utilizada a força anterior, com sequência de cores – Ordem de franjas 2,67.
 - **Cervical da raiz distal:** houve uma sutil aparição de cor cinza – Ordem de franjas 0,28.
 - **Apical da raiz distal:** comportou-se da mesma maneira do que na força de 200gf – Ordem de franjas 0,28.

Figura 5.11 – Aplicação de carga de 250gf com a mecânica cantiléver

- Força de 300gf (Figura 5.12):
 - **Cervical da raiz mesial:** as cores das franjas ficaram mais intensas, e se alastraram praticamente por todo o espaço do primeiro molar ausente, ficando bem próximas à distal da raiz do segundo premolar – Ordem de franjas 2,67.
 - **Apical da raiz mesial:** apresentou-se da mesma maneira que quando utilizada a força de 250gf, porém na face distal dessa raiz, as franjas alcançaram o terço médio e aparentemente tem uma sutil diminuição de tensão na referida região – Ordem de franjas 2,5.
 - **Cervical da raiz distal:** bem próximo ao dente, foi detectado aumento de tensões – Ordem de franjas 0,9.
 - **Apical da raiz distal:** sutil aumento de tensão na região – Ordem de franjas 0,45.

Figura 5.12 – Aplicação de carga de 300gf com a mecânica cantiléver

5.1.3 Corpo de prova utilizando mecânica com mola "T"

- Força 50gf (Figura 5.13):
 - **Cervical da raiz mesial:** não apresentou tensões – Ordem de franjas 0.
 - **Apical da raiz mesial:** apresentou discreta área de tensões – Ordem de franjas 0,45.
 - **Cervical da raiz distal:** não apresentou tensões – Ordem de franjas 0.
 - **Apical da raiz distal:** não apresentou tensões – Ordem de franjas 0.

Figura 5.13 – Aplicação de carga de 50gf com a mecânica mola em "T"

- Força de 100gf (Figura 5.14):
 - **Cervical da raiz mesial:** não apresentou tensões – Ordem de franjas 0.
 - **Apical da raiz mesial:** apresentou-se da mesma maneira do que com força de 50gf – Ordem de força de 0,45.
 - **Cervical da raiz distal:** não apresentou tensões – Ordem de franjas 0.
 - **Apical da raiz distal:** não apresentou tensões – Ordem de franjas 0.

Figura 5.14 – Aplicação de carga de 100gf com a mecânica mola em “T”

- Força de 150gf (Figura 5.15):
 - **Cervical da raiz mesial:** apresentou tensões nesta região, bem concentradas no terço cervical – Ordem de franjas 0,9.
 - **Apical da raiz mesial:** as tensões aumentaram e caminharam para a região cervical, ocupando praticamente todo o terço apical – Ordem de franjas 1,63.
 - **Cervical da raiz distal:** apresentou sutil área de tensão – Ordem de franjas 0,28.
 - **Apical da raiz distal:** nesta magnitude de força foi possível perceber área de tensão ao redor do ápice radicular – Ordem de franjas 0,79.

Figura 5.15 – Aplicação de carga de 150gf com a mecânica mola em “T”

- Força de 200gf (Figura 5.16):
 - **Cervical da raiz mesial:** apresentou tensões nesta região bem concentradas no terço cervical, muito similar à força utilizada anteriormente de 150gf – Ordem de franjas 0,9.
 - **Apical da raiz mesial:** com esta magnitude de força, as tensões aumentaram consideravelmente e continuaram caminhando para a região cervical, ocupando todo o terço apical e médio na face distal da raiz mesial e apresentou maior número de franjas do que nas forças anteriores – Ordem de franjas 2.
 - **Cervical da raiz distal:** apresentou discreta área de tensão, não formando uma sequência de cores e ficando similar à força de 150gf, porém ocupando uma maior área, caminhando para o ramo mandibular – Ordem de franjas 0,28.
 - **Apical da raiz distal:** apresentou-se de maneira similar à força de 150gf – Ordem de franjas 0,79.

Figura 5.16 – Aplicação de carga de 200gf com a mecânica mola em “T”

- Força de 250gf (Figura 5.17):
 - **Cervical da raiz mesial:** apresentou-se de maneira similar com as forças de 150gf e 200gf, porém mais distribuídas, pelo espaço do primeiro molar ausente, unindo-se às franjas oriundas do segundo premolar – Ordem de franjas 0,9.
 - **Apical da raiz mesial:** as tensões aumentaram e continuaram caminhando para a região cervical, ocupando todo o terço apical e médio na face distal da raiz mesial, ocupando todo o terço apical nesta região – Ordem de franjas 2,33.
 - **Cervical da raiz distal:** apresentou discreta área de tensão – Ordem da franjas 0,28.
 - **Apical da raiz distal:** apresentou ordem de franjas similar às forças de 150gf e 200gf, porém exclusivamente ligado ao ápice radicular – Ordem de franjas 0,79.

Figura 5.17 – Aplicação de carga de 250gf com a mecânica mola em “T”

- Força de 300gf (Figura 5.18):
 - **Cervical da raiz mesial:** comportou-se da mesma maneira que nas forças de 150gf, 200gf – Ordem de franjas 0,9.
 - **Apical da raiz mesial:** região onde houve maior concentração de tensões, aumentado a sequência de cores – Ordem de franjas 2,5.
 - **Cervical da raiz distal:** houve maior concentração de tensões nessa região com essa magnitude de força do que nas demais forças utilizadas – Ordem de franjas 1.
 - **Apical da raiz distal:** houve aumento na concentração de tensões na referida região – Ordem de franjas 1,22.

Figura 5.18 – Aplicação de carga de 300gf com a mecânica mola em “T”

5.1.4 Corpo de prova utilizando mecânica com *mola aberta*

- Força de 50gf (Figura 5.19):
 - **Cervical da raiz mesial:** apresentou sutil área de tensão nesta região concentrada no terço cervical – Ordem de franjas 0,28.
 - **Apical da raiz mesial:** discreta área de tensão concentrada no ápice – Ordem de franjas 0,45.
 - **Cervical da raiz distal:** ausência de tensões – Ordem de franjas 0.
 - **Apical da raiz distal:** ausência de tensões – Ordem de franjas 0.

Figura 5.19 – Aplicação de carga de 50gf com a mecânica mola aberta

- Força de 100gf (Figura 5.20):
 - **Cervical da raiz mesial:** aumento discreto de tensões – Ordem de franjas 0,45.
 - **Apical da raiz mesial:** aumento da área de tensão concentrada no ápice – Ordem de franjas 0,6.
 - **Cervical da raiz distal:** ausência de tensões – Ordem de franjas 0.
 - **Apical da raiz distal:** ausência de tensões – Ordem de franjas 0.

Figura 5.20 – Aplicação de carga de 100gf com a mecânica mola aberta

- Força de 150gf (Figura 5.21):
 - **Cervical da raiz mesial:** aumento no número de franjas e área de tensões, caminhando até o terço médio da raiz – Ordem de franjas 0,79.
 - **Apical da raiz mesial:** não houve alteração em comparação com a força de 100gf – Ordem de franjas 0,6.
 - **Cervical da raiz distal:** ausência de tensões – Ordem de franjas 0.
 - **Apical da raiz distal:** surgimento discreto de área de tensões – Ordem de franjas 0,45.

Figura 5.21 – Aplicação de carga de 150gf com a mecânica mola aberta

- Força de 200gf (Figura 5.22):
 - **Cervical da raiz mesial:** comportou-se da mesma maneira do que na força de 150gf – Ordem de franjas 0,79.
 - **Apical da raiz mesial:** não houve alteração em comparação à força de 100gf, porém com um leve aumento em extensão da área de tensões em direção à borda mandibular – Ordem de franjas 0,6.
 - **Cervical da raiz distal:** ausência de tensões – Ordem de franjas 0.
 - **Apical da raiz distal:** comportou-se da mesma maneira do que na força de 150gf – Ordem de franjas 0,45.

Figura 5.22 – Aplicação de carga de 200gf com a mecânica mola aberta

- Força de 250gf (Figura 5.23):
 - **Cervical da raiz mesial:** comportou-se da mesma maneira do que nas forças de 150gf e 200gf – Ordem de franjas 0,79.
 - **Apical da raiz mesial:** apresentou aumento de tensão, demonstrado por uma nova franja na sequência de cores – Ordem de franjas 0,79.
 - **Cervical da raiz distal:** aparição de uma sutil área de tensão – Ordem de franjas 0,28.
 - **Apical da raiz distal:** comportou-se da mesma maneira do que nas forças de 150gf e 200gf – Ordem de franjas 0,28.

Figura 5.23 – Aplicação de carga de 250gf com a mecânica mola aberta

- Força de 300gf (Figura 5.24):
 - **Cervical da raiz mesial:** aumento de tensões demonstrado pelo surgimento de nova franja na sequência de cores – Ordem de franjas 0,9.
 - **Apical da raiz mesial:** apresentou aumento de tensão, demonstrado por uma novas franjas na sequência de cores e extensão da área de tensão em direção à borda mandibular – Ordem de franjas 1,22.
 - **Cervical da raiz distal:** aparição de uma área de tensão bem limitada, intimamente ligada ao dente na referida região – Ordem de franjas 0,9.
 - **Apical da raiz distal:** comportou-se da mesma maneira do que nas forças de 150gf e 200gf e 250gf – Ordem de franjas 0,28.

Figura 5.24 – Aplicação de carga de 300gf com a mecânica mola aberta

5.2 Análise Quantitativa

Os resultados obtidos pelas duas mensurações do mesmo avaliador encontram-se nos quadros 5.1 e 5.2, respectivamente.

Mini-implante	Mcrm	Marm	Mcrd	Mard
50 g	0	0	0	0
100 g	0	0,28	0	0
150 g	0	0,45	0	0
200 g	0	0,45	0,45	0
250 g	0	0,6	1	0,6
300 g	0	1	2	0,79
Cantiléver	Ccrm	Carm	Ccrd	Card
50 g	0	0,28	0	0
100 g	0,79	0,9	0	0
150 g	2,67	1,82	0	0,28
200 g	2,67	2,33	0	0,28
250 g	2,67	2,5	0,45	0,45
300 g	2,67	2,5	0,9	0,45
Mola T	Tcrm	Tarm	Tcrd	Tard
50 g	0	0,79	0	0
100 g	0	0,79	0	0
150 g	0,9	1,63	0,28	0,79
200 g	0,9	2,5	0,28	1
250 g	0,9	2,5	0,28	1
300 g	0,9	2,5	1	1,22
Mola Aberta	Acrm	Aarm	Acrd	Aard
50 g	0,28	0,45	0	0
100 g	0,45	0,6	0	0
150 g	0,79	0,6	0	0,45
200 g	0,79	0,6	0	0,45
250 g	0,79	0,79	0,28	0,45
300 g	0,9	1,22	0,6	0,79

Quadro 5.1 – Medidas das ordens de franjas da primeira avaliação – (M): mini-implante; (C): cantiléver; (T): mola em “T”; (A): mola aberta; (crm): região cervical da raiz mesial; (arm): região apical da raiz mesial; (crd): região cervical da raiz distal; (ard): região apical da raiz distal

Mini-implante	Mcrm	Marm	Mcrd	Mard
50 g	0	0	0	0
100 g	0	0,28	0	0
150 g	0	0,45	0	0
200 g	0	0,45	0,45	0
250 g	0	0,6	1	0,6
300 g	0	1	2	0,79
Cantiléver	Ccrm	Carm	Ccrd	Card
50 g	0	0,28	0	0
100 g	0,6	0,9	0	0
150 g	1,82	2	0	0
200 g	2,5	2,33	0	0,28
250 g	2,5	2,67	0,28	0,28
300 g	2,67	2,5	0,9	0,45
Mola T	Tcrm	Tarm	Tcrd	Tard
50 g	0	0,45	0	0
100 g	0	0,45	0	0
150 g	0,9	1,63	0,28	0,79
200 g	0,9	2	0,28	0,79
250 g	0,9	2,33	0,28	0,79
300 g	0,9	2,5	1	1,22
Mola Aberta	Acrm	Aarm	Acrd	Aard
50 g	0,28	0,45	0	0
100 g	0,45	0,6	0	0
150 g	0,79	0,79	0	0,28
200 g	0,79	0,79	0	0,28
250 g	0,79	0,79	0,28	0,28
300 g	0,9	1,22	0,9	0,28

Quadro 5.2 – Medidas das ordens de franjas da segunda avaliação – (M): mini-implante; (C): cantiléver; (T): mola em “T”; (A): mola aberta; (crm): região cervical da raiz mesial; (arm): região apical da raiz mesial; (crd): região cervical da raiz distal; (ard): região apical da raiz distal

A tabela 5.1 descreve a concordância/reprodutibilidade intra-examinador entre as ordens de franjas nos locais mensurados para cada tipo de mecânica.

Tabela 5.1 – Descrição das franjas em cada local para cada tipo de mecânica em ambas as avaliações e resultado das medidas de concordância/reprodutibilidade intra-examinador

Tipo de mecânica / Região	1ª avaliação		2ª avaliação		CCI	IC (95%)		Repetibilidade
	Média	DP	Média	DP		Inferior	Superior	
Mini-implante / cervical da raiz mesial	0,00	0,00	0,00	0,00	#			
Mini-implante / apical da raiz mesial	0,33	0,52	0,33	0,52	1,000			0,00
Mini-implante / cervical da raiz distal	0,50	0,84	0,50	0,84	1,000			0,00
Mini-implante / apical da raiz distal	0,33	0,52	0,33	0,52	1,000			0,00
Cantiléver / cervical da raiz mesial	2,17	1,33	1,67	1,03	0,835	0,159	0,976	0,39
Cantiléver / apical da raiz mesial	1,50	0,84	1,67	1,03	0,906	0,543	0,986	0,29
Cantiléver / cervical da raiz distal	0,17	0,41	0,17	0,41	1,000			0,00
Cantiléver / apical da raiz distal	0,00	0,00	0,00	0,00	#			
Mola T / cervical da raiz mesial	0,67	0,52	0,67	0,52	1,000			0,00
Mola T / apical da raiz mesial	1,67	0,52	1,33	1,03	0,762	0,123	0,962	0,37
Mola T / cervical da raiz distal	0,17	0,41	0,17	0,41	1,000			0,00
Mola T / apical da raiz distal	0,67	0,52	0,67	0,52	1,000			0,00
Mola aberta / cervical da raiz mesial	0,67	0,52	0,67	0,52	1,000			0,00
Mola aberta / apical da raiz mesial	0,83	0,41	0,83	0,41	1,000			0,00
Mola aberta / cervical da raiz distal	0,17	0,41	0,17	0,41	1,000			0,00
Mola aberta / apical da raiz distal	0,17	0,41	0,00	0,00	0,000	-0,754	0,754	0,29

Todos os valores de franjas foram iguais a zero em ambas as avaliações

Os gráficos 5.1 à 5.4 apresentam a média das tensões encontradas em cada mecânica.

Gráfico 5.1 – Comparação das médias de ordem de franjas das mecânica com mini-implante

Gráfico 5.2 – Comparação das médias de ordem de franjas da mecânica em cantiléver

Gráfico 5.3 – Comparação das médias de ordem de franjas da mecânica mola em “T”

Gráfico 5.4 – Comparação das médias de ordem de franjas da mecânica mola aberta

A tabela 5.2 descreve as comparações entre os tipos de mecânicas nos locais pré-definidos para classificação das franjas.

Tabela 5.2 – Descrição das franjas na 1ª avaliação segundo tipo de mecânica e resultado das comparações entre os tipos de mecânica

Região	Tipo de mecânica	Média	DP	Mediana	Mínimo	Máximo	p
Cervical da raiz mesial	Mini-implante	0,00	0,00	0	0	0	0,003
	Cantiléver	2,17	1,33	3	0	3	
	Mola T	0,67	0,52	1	0	1	
	Mola aberta	0,67	0,52	1	0	1	
Apical da raiz mesial	Mini-implante	0,33	0,52	0	0	1	0,002
	Cantiléver	1,50	0,84	2	0	2	
	Mola T	1,67	0,52	2	1	2	
	Mola aberta	0,83	0,41	1	0	1	
Cervical da raiz distal	Mini-implante	0,50	0,84	0	0	2	0,112
	Cantiléver	0,17	0,41	0	0	1	
	Mola T	0,17	0,41	0	0	1	
	Mola aberta	0,17	0,41	0	0	1	
Apical da raiz distal	Mini-implante	0,33	0,52	0	0	1	0,044
	Cantiléver	0,00	0,00	0	0	0	
	Mola T	0,67	0,52	1	0	1	
	Mola aberta	0,17	0,41	0	0	1	

Resultado do teste de Friedman

O gráfico 5.5 apresenta a comparação entre as médias de ordem das franjas entre as mecânicas.

Gráfico 5.5 – Comparação das médias de ordem de franjas das mecânicas utilizadas

A tabela 5.3 apresenta as comparações múltiplas não paramétricas pareadas das franjas entre os tipos de mecânica.

Tabela 5.3 – Resultado das comparações múltiplas não paramétricas pareadas das franjas entre os tipos de mecânica

Região	Comparação			Valor Z	p
Cervical da raiz mesial	Mini-implante	VS	Cantiléver	-3,68	<0,001
	Mini-implante	VS	Mola T	-1,58	0,114
	Mini-implante	VS	Mola aberta	-1,58	0,114
	Cantiléver	VS	Mola T	2,10	0,035
	Cantiléver	VS	Mola aberta	2,10	0,035
	Mola T	VS	Mola aberta	0,00	>0,999
Apical da raiz mesial	Mini-implante	VS	Cantiléver	-2,91	0,004
	Mini-implante	VS	Mola T	-3,43	0,001
	Mini-implante	VS	Mola aberta	-1,06	0,289
	Cantiléver	VS	Mola T	-0,52	0,602
	Cantiléver	VS	Mola aberta	1,85	0,064
	Mola T	VS	Mola aberta	2,37	0,018
Apical da raiz distal	Mini-implante	VS	Cantiléver	1,04	0,297
	Mini-implante	VS	Mola T	-1,06	0,289
	Mini-implante	VS	Mola aberta	0,52	0,602
	Cantiléver	VS	Mola T	-2,10	0,035
	Cantiléver	VS	Mola aberta	-0,52	0,602
	Mola T	VS	Mola aberta	1,58	0,114

Resultado das comparações múltiplas não paramétricas para dados pareados

O quadro 5.3 apresenta a reprodutibilidade inter-examinadores calibrados utilizando em todas as técnicas comparadas.

E1	Mcrm	Marm	Mrdc	Mard	E2	Mcrm	Marm	Mrdc	Mard
1	0	1	2	0,6	1	0	1	2	0,6
2	0	1	2	0,6	2	0	1	2	0,6
3	0	1	2	0,6	3	0	1	2	0,6
4	0	1	2	0,6	4	0	1	2	0,6
5	0	1	2	0,6	5	0	1	2	0,6
E1	Ccrm	Carm	Crdc	Card	E2	Ccrm	Carm	Crdc	Card
1	2,5	2,5	0,9	0,45	1	2,67	2,5	0,9	0,45
2	2,67	2,33	0,9	0,45	2	2,67	2,5	0,9	0,45
3	2,67	2,33	0,9	0,45	3	2,67	2,5	0,9	0,45
4	2,67	2,33	0,9	0,45	4	2,67	2,5	0,9	0,45
5	2,67	2,33	0,9	0,45	5	2,67	2,5	0,9	0,45
E1	Tcrm	Tarm	Trdc	Tard	E2	Tcrm	Tarm	Trdc	Tard
1	0,45	0,79	0,28	0,6	1	0,45	0,79	0,28	0,6
2	0,45	0,79	0,28	0,6	2	0,45	0,9	0,28	0,6
3	0,45	0,79	0,28	0,45	3	0,45	0,79	0,28	0,6
4	0,6	0,79	0,28	0,6	4	0,45	0,79	0,28	0,6
5	0,45	0,79	0,28	0,6	5	0,45	0,79	0,28	0,6
E1	Acrm	Aarm	Ardc	Aard	E2	Acrm	Aarm	Ardc	Aard
1	0,79	1,06	0,6	0,79	1	0,9	1,22	0,6	0,79
2	0,79	1,06	0,6	0,79	2	0,79	1,22	0,6	0,79
3	0,9	1,06	0,6	0,79	3	0,9	1,22	0,6	0,79
4	0,79	1,06	0,6	0,79	4	0,79	1,22	0,6	0,79
5	0,79	1,06	0,6	0,79	5	0,9	1,22	0,6	0,79

Quadro 5.3 – As ordens de franjas foram classificadas cinco 5 vezes por dois examinadores calibrados – (E1): examinador 1; (E2): examinador 2; (M): mini-implante; (C): cantiléver; (T): mola em “T”; (A): mola aberta; (crm): região cervical da raiz mesial; (arm): região apical da raiz mesial; (crd): região cervical da raiz distal; (ard): região apical da raiz distal

6 DISCUSSÃO

inclinação mesial de molares inferiores é uma das frequentes situações encontradas em pacientes adultos que procuram a reabilitação protética e necessitam de tratamento ortodôntico para possibilitar o procedimento. A inclinação dos molares inferiores, pode ser causada principalmente por perdas precoces de dentes decíduos ou permanentes (perdidos por cáries, problemas periodontais ou iatrogenias) e agenesias de elementos dentários (Sakima et al., 1999; Gracco et al., 2007). Tal inclinação pode ter consequências como acúmulo de biofilme dental gerando problemas periodontais, defeito ósseo na face mesial do molar inclinado e extrusão do dente antagônico. Assim sendo, pode iniciar um ciclo vicioso de oclusão traumática, que pode provocar contatos prematuros que ocasionam interferências em máxima intercuspidação habitual, relação cêntrica e nos movimentos mandibulares excursivos.

A reabilitação oral nos casos em que os pacientes apresentam este tipo de problema é dificultada, uma vez que interfere, geralmente, na relação maxilo/mandibular e na dimensão vertical de oclusão (Weiland et al., 1992; Melsen et al., 1996; Freitas et al., 2001).

A verticalização de molares inferiores é útil e necessária, pois permite melhor distribuição das forças oclusais no longo eixo dos dentes. Sendo assim, minimiza efeitos colaterais como defeitos ósseos verticais, pois promove melhora no periodonto prejudicado nos respectivos dentes inclinados. Consequentemente, possibilita melhor controle da higiene, recuperação de espaço protético e reposição do elemento dentário ausente (seja por meio de próteses devido à estabilidade de pilares protéticos verticais e mais paralelos ou implantes), redução da necessidade de cirurgias periodontais e diminuição do risco de necrose pulpar (Sakima et al., 1999; Janson et al., 2001; Souza et al., 2008; Girelli et al., 2010).

Há várias técnicas para promover a verticalização desses dentes (Norton; Proffit, 1968; Tuncay, 1980; Orton; Jones, 1987; Kogod; Kogod, 1991; Moyers, 1991; Weiland et al., 1992; Majourau; Norton, 1995; Carano et al., 1996; Capelluto; Lauweryns, 1997; Giancotti; Cozza, 1998; Janson et al., 2001; Park et al., 2002;

Miao; Zhong, 2006; Chiavini; Ortellado, 2009; Totti et al., 2010). Porém, nenhum destes estudos preocupou-se em comparar efeitos causados por diferentes técnicas. Por este motivo, nesta pesquisa, foram selecionadas para serem avaliadas e comparadas quatro mecânicas indicadas para tal movimento, já estudadas anteriormente por outros pesquisadores: mini- implante (Park; et al., 2002; Giancotti et al., 2004; Di Matteo et al., 2005; Marassi et al., 2005; Yun et al., 2005; Araújo et al., 2006; Izasa et al., 2006; Bicalho et al., 2009; Pithon et al., 2009; Melo et al., 2011); mecânica em cantiléver (Melsen et al., 1996; Sawicka et al., 2007; Chiavini; Ortellado, 2009; Girelli et al., 2010; Melo et al., 2011;); mola em “T” (Rubenstein, 1975; Tuncay et al., 1980; Girelli et al., 2010); mola aberta (Melsen et al., 1996).

A mecânica ortodôntica aplicada para a verticalização de molares inferiores é, particularmente, um movimento de difícil execução para os ortodontistas, além de causar efeitos colaterais indesejáveis (Roberts et al., 1982; Shellhart et al., 1996; Yun et al., 2005). Um fator que pode ser considerado crítico nesse tipo de movimentação ortodôntica é que não há um consenso entre os autores em relação à força utilizada pelas mecânicas descritas na literatura. Cada autor utilizou diferentes forças, variando de 30gf a 450gf, em distintas técnicas para verticalização de molares (Majourau; Norton, 1995; Carano et al., 1996; Melsen et al., 1996; Giancotti; Cozza 1998; Giancotti et al., 2004; Di Matteo et al., 2005; Marassi et al., 2005; Alcântara, 2006; Gracco et al., 2007;). Entretanto, nenhum destes estudos, preocupou-se em avaliar os efeitos causados por diferentes forças aplicadas nas referidas movimentações. Por esta razão, esta investigação, além de avaliar e comparar diferentes mecânicas de verticalização, empregou diversas magnitudes de forças aplicadas para promover este movimento ortodôntico: 50gf, 100gf, 150gf, 200gf, 250gf e 300gf.

O método escolhido para análise do comportamento das tensões, quando estes dispositivos são aplicados sobre os dentes foi o fotoelástico, consagrado na Odontologia e em outras áreas do conhecimento, fortemente consubstanciado na literatura (Glickman et al., 1970; Brodsky et al., 1975; Caputo; Furtzman, 1975; Chaconas; Caputo, 1982; Campos Júnior et al., 1985; Itoh et al., 1985; Laganá, 1992; Clifford et al., 1999; Matsui et al., 2000; Phillips, 2000; Badran et al., 2003; Cruz, 2004; Alcântara, 2006; Rocha et al., 2006; Nakamura et al., 2007; Claro, 2008; Laganá 2011; Cebrián-Carretero et al., 2012; Çehreli et al., 2013; Galli et al., 2014).

Por ser considerado um método ilustrativo do comportamento das tensões quando submetidos à cargas, possibilita a observação conjunta e direta das tensões internas dos corpos, permitindo que essas sejam medidas e fotografadas (Campos Júnior et al., 1985). A comprovada correlação positiva entre resultados fotoelásticos e histológicos validou a utilização deste método como simulador das estruturas periodontais (Glickman et al., 1970; Brodsky et al., 1975).

Vários foram os trabalhos que o empregaram na Ortodontia e Ortopedia facial. Alcântara (2006), estudou a verticalização dos molares. Brodsky et al.(1975) e Galli et al. (2014), avaliaram a distalização de canino com a técnica da mola fechada. Os efeitos de forças ortopédicas no complexo craniofacial oriundas de aparelhos expansores Haas, “Minne-expander, Hyrax, Quadrihélice e Aparelho Expansor removível foram estudados por Chaconas e Caputo (1982). Itoh et al. (1985) analisaram aparelhos para protração maxilar no tratamento de mordidas cruzadas anteriores. A averiguação dos aspectos qualitativos das tensões e deslocamento dos incisivos inferiores com a utilização de arcos com reversão da curva de Spee foram aferidos por Clifford et al. (1999).Foram ainda, estudados o centro de resistência do segmento anterior do arco superior baseado na distribuição de tensões ao redor dos elementos dentários (Matsui et al., 2000); diferentes arcos para nivelamento inicial (Badran et al., 2003); melhora da curva de Spee acentuada, tração de caninos impactados e retração de caninos empregando-se elásticos e alças (Rocha et al., 2006); movimentação distal de molares utilizando mini-implantes (Nakamura et al., 2007) e intrusão de incisivos inferiores (Claro, 2008).

Um dos fatores mais importantes na análise fotoelástica é a seleção do material apropriado para o modelo fotoelástico. Infelizmente, não existe um que seja considerado ideal. Desta maneira, deve-se escolher aquele que supra as necessidades do estudo, principalmente por não apresentar tensões residuais e ser de baixo custo (Schiavon, 2010). Em relação aos materiais utilizados na literatura, alguns estudos empregaram resina fotoelástica (Brodsky et al.,1975; Laganá 1992; Matsui et al., 2000; Cruz, 2004; Alcântara 2006; Nakamura et al., 2007; Claro, 2008; Laganá 2011; Cebrián-Carretero et al., 2012; Galli et al., 2014), enquanto outros utilizaram gelatina (Clifford et al.,1999; Badran et al., 2003; Rocha et al., 2006; Schiavon, 2010). Nesta pesquisa, foi utilizada resina epóxi flexível, por aderir mais às raízes dos dentes em comparação à gelatina (Claro, 2008).

Apesar da grande maioria dos estudos envolvendo fotoelasticidade, utilizar somente a análise qualitativa das tensões observadas (Noonan, 1949; Glickman et al., 1970; Brodsky et al., 1975; Thayer; Caputo, 1980; Chaconas; Caputo, 1982; Campos Júnior et al., 1985; Itoh et al., 1985; Laganá, 1992; Brosh et al., 1998; Clifford et al., 1999; Matsui et al., 2000; Badran et al., 2003; Cruz, 2004; Rocha et al., 2006; Nakamura et al., 2007; Laganá 2011; Çehreli et al., 2013), a presente investigação levou em consideração a análise quantitativa para corroborar os resultados obtidos, procedimento semelhante encontrado somente nos trabalhos de Alcântara (2006), Claro, (2008), Ferreira Júnior (2003) e Schiavon (2010).

De acordo com as pesquisas relacionadas na literatura (Noonan, 1949; Glickman et al., 1970; Brodsky et al., 1975; Thayer; Caputo, 1980; Chaconas; Caputo, 1982; Campos Júnior et al., 1985; Itoh et al., 1985; Laganá, 1992; Brosh et al., 1998; Clifford et al., 1999; Matsui et al., 2000; Phillips, 2000; Badran et al., 2003; Cruz, 2004; Alcântara, 2006; Rocha et al., 2006; Nakamura et al., 2007; Claro, 2008; Schiavon, 2010; Laganá, 2011; Çehreli et al., 2013), as ordens de franjas foram classificadas visualmente por sequência de cores, enquanto poucos trabalhos utilizaram auxílio de programas de computador específicos ou desenvolvidos para tal fim, alegando possível inacurácia da visão humana para reconhecimento das cores o que pode prejudicar a repetibilidade e reprodutibilidade (Ferreira Júnior, 2003; Perosa 2013). Apesar de parecer ser a metodologia ideal, é necessário uso de programas de computador específicos, de difícil aquisição e, que ainda não foram utilizados por outros autores na literatura, para atestar sua suposta validade. Entretanto, a eficácia da metodologia visual empregada no presente estudo foi verificada averiguando a concordância inter-examinadores, que se mostrou praticamente 100%, com dois pesquisadores treinados e calibrados (Tabela 5.3). Em relação à reprodutibilidade intra-examinador (Tabela 5.1), foi possível avaliar estatisticamente os resultados. Desta maneira, comprovou-se ser esta, uma metodologia reproduzível.

Os resultados observados nas regiões selecionadas para avaliação, levando-se em consideração as médias das ordens de franjas das diversas cargas aplicadas, foram analisados por aproximação numérica aos valores encontrados na tabela 4.1 (ASTM D4093). As menores e maiores médias de ordens de franjas de tensões (Tabela 5.2) foram encontradas respectivamente: na região cervical da raiz mesial,

onde a mecânica de mini-implante apresentou ausência de tensões, ordem zero (0) e, a mecânica em cantiléver, com ordem 2; na região apical da raiz mesial, a do mini-implante apresentou ordem bem próxima a zero (0,28) e a técnica mola em “T” 1,63; na região cervical da raiz distal, as mecânicas cantiléver, mola em “T” e mola aberta, apresentaram a mesma média de ordem de franjas 0,28 e a técnica de mini-implante 0,45; na apical da raiz distal, a mecânica em cantiléver não apresentou tensões (ordem zero) e, mola em “T”, 0,60. Estes resultados podem ser considerados inéditos, visto que não existem na literatura, trabalhos semelhantes utilizando fotoelasticidade para esta avaliação.

Do que se pode depreender dos resultados obtidos dos experimentos realizados é que, a ordem de franja acima de 1, descrita na Tabela 4.1, pode ser danosa aos dentes e periodonto, devido à intensidade de tensões que apresentou em determinadas regiões. Foi possível destacar que as mecânicas apresentaram magnitude de tensão acima de 1 nas seguintes regiões do segundo molar inferior: no mini-implante, na região cervical da raiz distal, quando submetido a 250gf; no cantiléver, na região cervical da raiz mesial e na região apical da raiz mesial, com 150gf; na mola em “T”, na região cervical da raiz mesial, com 150gf; na mola aberta, na região apical da raiz mesial, com 300gf. É necessário ressaltar que o presente estudo somente analisou os efeitos ocorridos no segundo molar inferior, não levando em consideração as demais regiões.

Ao confrontar os tipos de mecânicas averiguadas, exceto na região cervical da raiz distal, houve diferença estatística nas demais regiões (Tabela 5.3). Na região cervical da raiz mesial, o cantiléver apresentou valores estatisticamente maiores que qualquer outra mecânica. Na região apical da raiz mesial, o cantiléver e a mola em “T” apresentaram valores estatisticamente maiores que o mini-implante e, a mola em “T”, maiores que a mola aberta. Na região apical da raiz distal, os valores de franjas diferem-se estatisticamente apenas entre cantiléver e mola em “T”, que apresenta os maiores valores. Portanto, pode-se concluir, que a mecânica com mini-implantes é a mais recomendável, por apresentar menores tensões e, o cantiléver utilizando fio 0,019” x 0,025” de TMA, a mecânica menos recomendável, para executar o movimento de verticalização de molares inferiores inclinados para mesial.

O único trabalho encontrado na literatura estudando verticalização de molares

utilizando fotoelasticidade foi o de Alcântara (2006). Mesmo assim, analisou exclusivamente uma técnica, a mecânica com o cantiléver, aplicando somente a intensidade de força de 100gf. As tensões resultantes da aplicação desta mesma força no modelo fotoelástico da presente pesquisa, quando comparado aos resultados da aplicação do mesmo valor de força e técnica no trabalho do supracitado autor, foi possível perceber na análise qualitativa, que os resultados, em parte, foram semelhantes nestes estudos. As maiores tensões foram encontradas nas regiões, cervical da raiz mesial e apical da raiz mesial. Este comportamento pode ser explicado pelo fato de que nestas regiões ocorre o estiramento das fibras elásticas periodontais, causando maiores tensões (Brodsky et al., 1975), provocado pelo movimento de verticalização de molares.

Tendo em vista a importância do conhecimento dos possíveis efeitos colaterais indesejáveis que podem ocorrer na mecânica de verticalização de molares inferiores, e considerando-se que os métodos avaliados neste estudo apresentaram diferenças, outras comparações se fazem ainda necessárias, principalmente avaliação de outras regiões do segundo molar, premolares, caninos e mini-implantes não analisadas aqui. Relevantes informações adicionais clínicas, deverão ser colhidas na sequência desta linha de pesquisa, especialmente quando comparados estes resultados obtidos in vitro, com aqueles a serem pesquisados clinicamente.

7 CONCLUSÕES

Após pertinente revisão da literatura e análise dos dados obtidos no presente estudo concluiu-se que:

1. No mini-implante, as maiores tensões foram encontradas na região cervical da raiz distal, seguidas de apical da raiz mesial e apical da raiz distal. Não foram detectadas tensões na região cervical da raiz mesial.
2. No cantiléver, as maiores tensões foram detectadas na região cervical da raiz mesial, seguidas de apical da raiz mesial e região cervical da raiz distal. Não foram detectadas tensões na apical da raiz distal.
3. Na mola em “T”, as maiores tensões foram observadas na apical da raiz mesial, seguidas de região cervical da raiz mesial, apical da raiz distal e região cervical distal.
4. Na mola aberta, as maiores tensões foram constatadas na apical da raiz mesial, seguidas de região cervical da raiz mesial, região cervical da raiz distal e apical da raiz distal.
5. A mecânica com mini-implantes apresentou as menores tensões no movimento de verticalização de segundos molares inferiores.
6. A mecânica com cantiléver com fio 0,019” x 0,025” TMA, apresentou as maiores tensões no movimento de verticalização de segundos molares inferiores.

REFERÊNCIAS ²

Alcântara RM. Estudo da distribuição das tensões provenientes de molas helicoidais utilizadas na verticalização de molares pelo método da fotoelasticidade de transmissão plana [dissertação]. Araçatuba: Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Odontologia de Araçatuba;2006.

Araújo TM, Nascimento MHA, Bezerra F, Sobral MC. Ancoragem esquelética em Ortodontia com mini-implantes. Rev Dental Press Ortodon Ortop Facial.2006;11(4):126-56.

Bicalho RF, Bicalho JS, Laboissière Jr M. Utilização de ancoragem esquelética indireta para verticalização de molares inferiores. Rev Dental Press Ortodon Ortop Facial.2009;8(1):63-8.

Badran SA, Orr JF, Stevenson M, Burden D. Photo-elastic stress analysis of initial alignment archwires. Eur J Orthod.2003; 25(2):117-25.

Brodsky JF, Caputo AA, Furstman LL. Root tipping: a photoelastic-histopathologic correlation. Am J Orthod.1975;67(1):1-10.

Brosh T, Pilo R, Sudai D. The influence of abutment angulation on strains and stresses along the implant bone interface: comparison between two experimental techniques. Prosthet Dent.1998;79(3):328-34.

Bussab WO, Morettin PA. Estatística básica. 4a ed. São Paulo: Atual;1987.

Campos Júnior A, Passanezi E, Nahás D, Janson WA. Bases teóricas fundamentais para a utilização da fotoelasticidade como método de estudo de distribuição de forças. Estomat Cult.1985;15(1):21-4.

Capelluto E, Lauweryns I. A simple technique for molar uprighting. J Clin Orthod. 1997;31(2):119-25.

Carano A, Testa M, Siciliani G. The Distal Jet for uprighting lower molars. J Clin Orthod.1996; 30(12):707-10.

² De acordo com Estilo Vancouver.

Cebrián-Carretero JL, Sánchez-Burgos R, Carrascal-Morillo MT, Vicent-Fraile G, de Artiñano FO, Burgueño-García M. Comparación biomecánica entre los sistemas convencionales y uni-lock en osteosíntesis del ángulo mandibular. Estudio fotoelástico. *Rev Esp Cir Oral Maxilofac.*2012;34(1):1-7.

Çehreli S, Özçirpıcı AA, Yılmaz A. Tilted orthodontic micro implants: a photoelastic stress analysis. *Eur J Orthod.*2013;35(5):563-7.Epub 2011Jul11.

Chaconas SJ, Caputo AA. Observation of orthopedic force distribution produced by maxillary orthodontic appliances. *Eur J Orthod.*1982;82(6):492-501.

Chiavini PCR, Ortellado G. Manual da técnica do arco segmentado. São Paulo: Livraria Santos; 2009.

Claro CAA. Análise da distribuição de tensões, em modelo fotoelástico, decorrente de diferentes arcos de intrusão de incisivos inferiores [tese]. São Paulo: Universidade de São Paulo, Faculdade de Odontologia; 2008.

Clifford PM, Orr JF, Burden DJ. The effects of increasing the reverse curve of spee in a lower archwire examined using a dynamic photoelastic gelatine model. *Eur J Orthod.*1999;2: 213-22.

Cruz ANL. Análise fotoelástica das estruturas de suporte e craniofaciais de portadores de prótese parcial removível superior, classe II de Kennedy, subclasse 1 [tese]. São Paulo: Universidade de São Paulo, Faculdade de Odontologia; 2004.

Di Mateo RC, Villa N, Sendyk WR, Movimentação de molares inferiores ancorados em mini-parafusos. *Rev Dental Press Ortodon Ortop Facial.*2005;10(4):1-24.

Ferreira Júnior AFG. Desenvolvimento de um sistema para análise automática do padrão de franjas fotoelásticas isocromáticas [dissertação]. São Paulo: Universidade de São Paulo, Escola Politécnica; 2003.

Fleiss JL. The design and analysis of clinical experiments. New York: Wiley;1986.

Freitas JR, Ramalho SA, Vedovello Filho M, Vedovello SAS. Verticalização dos segundos molares inferiores. *J Bras Ortod Ortop.*2001;6(36):449-56.

Galli LG, Almeida RR, Almeida MR, Conti ACCF, Gonini Jr A. Protocolo de confecção de modelos de estudo em resina fotoelástica para análise de tensões durante a retração de canínios com ancoragem em mini-implantes. *Ortodontia SPO*.2014;47(1):33-7.

Gandini Jr LG, Amaral RMP, Pinto AS, Raveli DB, Martins LP, Gandini MREAS. Situações em que a Técnica do Arco Segmentado deve ser priorizada em relação a Arcos Contínuos. *Nova Visão em Ortodontia e Ortopedia Funcional dos Maxilares*. São Paulo: Ed. Santos; 2008.p.179-86.

Giancotti A, Arcuri C, Barlattani A. Treatment of ectopic mandibular second molar with titanium miniscrews. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*.2004;126(1):113-7.

Giancotti A, Cozza P. Nickel titanium double-loop system for simultaneous distalization of first and second molars. *J Clin Orthod*.1998;32(4):255-60.

Girelli VCB, Santos GL, Nogueira FF, Penido SMMM. Verticalização de molares inferiores: revisão da literatura e relato de caso clínico. *Rev Clin Ortod Dental Press*.2010;9(2):67-76.

Glickman I, Roeber FW, Brion M, Pameijer JHN. Photoelastic analysis of internal stress in the periodontium created by occlusal forces. *J Periodontol*.1970;41(1):30-5.

Gracco A, Lombrado L, Cozzani M, Siciliani G. Uprighting mesially inclined mandibular second molars with a modified uprighter jet. *J Clin Orthod*.2007;41(5):281-4.

Itoh T, Chaconas SJ, Caputo AA, Matyas J. Photoelastic effects of maxillary protraction on the craniofacial complex. *Am J Orthod*.1985;88(2):117-24.

Izasa S, Lietz T, Domingues GC. Miniparafusos ortodônticos. In: Congresso Brasileiro de Ortodontia. *Nova Visão em Ortodontia e Ortopedia Funcional dos Maxilares* São Paulo:Santos;2006.p. 249-54.

Janson MRP, Janson RRP, Ferreira PM. Tratamento interdisciplinar I: considerações clínicas e biológicas na verticalização de molares. *Rev Dental Press Ortod Ortop*. 2001;6(3):87-104.

Kogod M, Kogod HS. Molar uprighting with the piggyback buccal sectional arch wire technique. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*.1991;99(3):276-80.

Laganá ACC. Análise fotoelástica das distribuições de tensões ocorridas nas estruturas de suporte de cinco diferentes desenhos de implantes quando submetidos ao carregamento axial [dissertação]. São Paulo: Universidade de São Paulo, Faculdade de Odontologia; 2011.

Laganá DC. Estudo comparativo do comportamento biomecânico das próteses parciais removíveis de extremidade livre e das próteses parciais fixas em cantilever. Análise fotoelástica das reações das estruturas de suporte [tese] São Paulo:Universidade de São Paulo,Faculdade de Odontologia; 1992.

Majourau A, Norton LA. Uprighting impacted second molars with segmented springs. Am J Orthod Dentofacial Orthop.1995;107(3):235-8.

Marassi C, Leal A, Herdy JL, Chianelli O, Sobreira D. O uso de mini-implantes como auxiliares do tratamento ortodôntico. Ortodontia.2005;38(3):256-65.

Matsui S, Caputo AA, Chaconas SJ, Kyomura H. Center of resistance of anterior arch segment. Am J Orthod Dentofacial Orthop.2000;118:171-8.

Melo ACM, Silva RD, Silva MAD, Shimizu RH. Verticalização de molares inferiores com auxílio de mini-implantes: Ancoragem direta e indireta por meio de cantilever. J ILAPEO.2011;5(4):141-4.

Melsen B, Fiorelli G, Bergamini A. Uprighting of lower molars. J Clin Orthod.1996; 30(11):640-5.

Miao QY, Zhong H. An uprighting appliance for impacted mandibular second and third molars. J Clin Orthod.2006;40(2):110-6.

Moyers RE. Ortodontia.4a ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan;1991.

Nakamura A, Teratani T, Itoh H, Sugawara J, Ishikawa H. Photoelastic stress analysis of mandibular molars moved distally with the skeletal anchorage system. Am J Orthod Dentofacial Orthop.2007;132:624-9.

Neter J, Kutner MH, Nachtsheim CJ, Wasserman W. Applied linear statistical models. 4a ed. Illinois: Richard D. Irwing;1996.

Noonan MA. The use of photoelasticity in a study of cavity preparations. J Dent Child.1949;16(4):24-28.

Norton LA, Proffit WR. Molar uprighting as an adjunct to fixed prosthesis. J Dent Am Assoc.1968;76:312-5.

Orton HS, Jones SP. Correction of mesially impacted lower second and third molars. J Clin Orthod.1987;21(3):176-81.

Park HS, Kyung HM, Sung JH. A simple method of molar uprighting with micro-implant Anchorage. J Clin Orthod.2002;36(10):592-6.

Perosa E. Desenvolvimento de um programa computacional visando o aprimoramento do uso da técnica da fotoelasticidade [dissertação].Porto Alegre: Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul; 2013.

Phillips JW. Photoelasticity. In:Phillips JW. TAM326 - Experimental Stress Analysis. Champaign: University of Illinois at Urbana-Champaign;2000.p.1-62.

Pithon MM. Mola “M”: um novo recurso para verticalização de molares inferiores inclinados para mesial. Innov Implant J. 2009;4(3):103-6.

Roberts WW, Chacker FM, Burstone CJ. A segmental approach to mandibular molar uprighting. Am J Orthod.1982;81(3):177-84.

Rocha JET, Fuziy A, Tukasan PC, De Oliveira RCG. Fotoelasticidade: Aplicabilidade na mecânica ortodôntica. Braz Oral Res.2006;20(Special Issue1):81 Res.

Rubenstein BM. Uprighting second molars with direct bonding. J Clin Orthod.1975;9(6):377-8.

Sakima T, Martins LP, Sakima MT, Terrada HH, Kawakami RY, Ozawa TO. Alternativas mecânicas na verticalização de molares. Sistema de força liberados pelos aparelhos. R Dental Press Ortodon Ortop Facial.1999;4(1):79-100.

Sawicka M, Racka-Pilszak B, Rosnowska-Mazurkiewicz A. Uprighting partially impacted permanent second molars. Angle Orthod.2007;77(1):148-54.

Schiavon JA. Aplicação da técnica da fotoelasticidade na análise de fundações por estacas helicoidais [dissertação]. São Carlos: Universidade de São Paulo, Escola de Engenharia de São Carlos; 2010.

Shellhart WC, Moawad M, Lake P. Case report: implants as anchorage for molar uprithging and intrusion. Angle Orthod.1996;66(3):169-72.

Souza RA, Nouer DF, Magnani MBBA, Siqueira VCV, Pereira Neto JS. Reabilitação protética após verticalização do terceiro molar com severa inclinação. Ortodontia.2008;(41):291-4.

Thayer HH, Caputo AA. Photoelastic analysis of overdenture attachments. J Prosthetic Dent.1980;43(6):611-7.

Totti AMG, Ferreira ER, Bernardes LAA, Ferreira JTL, Matsumoto MAN, Romano FL. Verticalização de segundos molares inferiores com arco lingual modificado: Relato de caso. Rev Odontol Univ Cidade de São Paulo.2010;22(3):254-62.

Tuncay OC, Biggerstaff RH, Cutcliffe JC, Berkowitz J. Molar uprighting with T-loop springs. J Dent Am Assoc.1980;6:863-66.

Yun SW, Lim WH, Chun YS. Molar control using indirect miniscrew anchorage. J Clin Orthodon.2005;29(11):661-4.

Weiland FJ, Bantleon HP, Droschl H. Molar uprighting with crossed tipback springs. J Clin Orthod.1992; 26(6):335-7.