



Universidade Norte do Paraná

CENTRO DE CIÊNCIAS BIOLÓGICAS E DA SAÚDE
MESTRADO EM ODONTOLOGIA
ÁREA DE CONCENTRAÇÃO: ORTODONTIA

LAIS GIACOMINI GALLI

**AVALIAÇÃO DA TENSÃO GERADA NA RETRAÇÃO DE
CANINOS COM O MÉTODO MINI-IMPLANTE E *POWER
ARM* POR MEIO DA FOTOELASTICIDADE.**

Londrina
2013

LAIS GIACOMINI GALLI

**AVALIAÇÃO DA TENSÃO GERADA NA RETRAÇÃO DE
CANINOS COM O MÉTODO MINI-IMPLANTE E *POWER
ARM* POR MEIO DA FOTOELASTICIDADE.**

Dissertação de mestrado apresentada à
Universidade Norte do Paraná (UNOPAR), como
requisito parcial para a obtenção do título de Mestre
em Odontologia, Área de Concentração Ortodontia.

Orientador: Prof. Dr. Renato Rodrigues de Almeida

Londrina
2013

LAIS GIACOMINI GALLI

**AVALIAÇÃO DA TENSÃO GERADA NA RETRAÇÃO DE CANINOS
COM O MÉTODO MINI-IMPLANTE E *POWER ARM* POR MEIO DA
FOTOELASTICIDADE**

Trabalho apresentado para defesa de Dissertação do Curso de Mestrado em Odontologia, área de concentração Ortodontia, da Universidade Norte do Paraná (UNOPAR), com nota final igual a____, conferida pela Banca Examinadora formada pelos professores:

Prof. Dr. Renato Rodrigues de Almeida
Prof. Orientador
Universidade Norte do Paraná (UNOPAR)

Prof. Dr. Flávio Augusto Cotrim Ferreira
Universidade Cidade São Paulo – UNICID

Prof^a. Dr^a. Ana Cláudia de Castro Ferreira Conti
Universidade Norte do Paraná (UNOPAR)

Londrina, 22 de fevereiro de 2013.

AUTORIZO A REPRODUÇÃO TOTAL OU PARCIAL DESTE TRABALHO, POR QUALQUER MEIO CONVENCIONAL OU ELETRÔNICO, PARA FINS DE ESTUDO E PESQUISA, DESDE QUE CITADA A FONTE.

**Dados Internacionais de catalogação-na-publicação
Universidade Norte do Paraná
Biblioteca Central
Setor de Tratamento da Informação**

G16a Galli, Lais Giacomini.
Avaliação da tensão gerada na retração de caninos com o método mini-implante e *power arm* por meio da fotoelasticidade / Lais Giacomini Galli .
Londrina : [s.n], 2013.
vii; 50.p.

Dissertação (Mestrado). Odontologia. Ortodontia. Universidade Norte do Paraná.
Orientador: Profº. Drº. Renato Rodrigues de Almeida

1- Odontologia - dissertação de mestrado - UNOPAR 2- Ortodontia
3- Retração dos caninos 4- Fotoelasticidade 5- Movimentação dentária 6- Áreas de tensão I- Almeida, Renato Rodrigues, orient. II- Universidade Norte do Paraná.

CDU 616.314-089.23

Dedico este trabalho,

aos meus amados pais, Cornélio e Cristina e

ao meu querido irmão Luiz Victor.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, pelo dom da vida, por me guiar e me iluminar em cada passo e escolha. Pela sabedoria e por me manter no caminho do bem e da fé.

Aos meus queridos e amados pais, Cornélio e Cristina, que são minha base e meu porto seguro. Por me apoiarem e me incentivarem em tudo que me proponho a fazer, pois sem vocês eu nada seria e conquistaria. Obrigada por acreditarem em mim e em meus objetivos. Tenho profunda gratidão por sempre terem me proporcionado o melhor dentro de nossa realidade, abrindo mão muitas vezes, de seus sonhos para conquistarem comigo os meus! Sou grata por sempre terem confiado em mim, pela educação, pelos princípios e valores, características as quais me tornam o ser humano que sou. Tenho certeza que um dia olharemos para trás e orgulhosos desfrutaremos de todo esse esforço! Amo vocês mais que tudo na vida...

Ao meu amado irmão, Luiz Victor, por ser meu exemplo de caráter e honestidade, por ser meu amigo, companheiro, incentivador e, acima de tudo, minha calma. Por ter coragem de enfrentar todas as situações da vida de cabeça erguida e com fé. Agradeço a Deus por me permitir conviver ao seu lado, podendo desfrutar a cada dia da delícia de ser sua irmã! E tenho certeza que estaremos juntos para sempre, e que realizaremos e conquistaremos nossos sonhos e objetivos... Você é a tradução do que é o amor... Eu amo você Vito!

Ao primo-irmão que Deus me deu, Gabriel, que pelas circunstâncias da vida vive conosco para que assim possamos ajudá-lo a guiar seu caminho e lhe dar um futuro melhor. Espero que tenhamos conseguido alcançar esses objetivos e que você seja um grande homem! Que siga no caminho do bem, da verdade e seja sempre muito feliz. Siga os princípios e valores a você ensinados, sempre com muito respeito e educação. Te amo como meu irmão, pois de alma e coração somos!

Aos meus avós Victorino (in memorium), Lourdes, Luís (in memorium) e Elvira, por serem os responsáveis por tudo, pela base e formação dessas duas famílias maravilhosas, que são exemplo de respeito, fé e humildade. Agradeço a

Deus por ter tido a oportunidade de viver e conviver com vocês podendo desfrutar de tudo de melhor que puderam nos dar, o Amor!

Aos meus tios e primos, que sempre estiveram presentes em minha vida, me apoiando e me incentivando. Que torceram e vibraram em cada conquista e vitória. Que estiveram ao meu lado em todos os momentos e que serão pra sempre guardados em meu coração com muito amor e carinho. Obrigada pela torcida e pela amizade... amo vocês!

À minha cunhada, Mariana, por ser tão querida e especial em nossas vidas. Por nos tornar mais felizes em tê-la ao nosso lado. Mas, acima de tudo, por ser uma grande amiga e irmã. Tenho certeza que manteremos esse vínculo de afeto e amor para sempre. Seja sempre muito bem vinda em nossa família! Adoro você Ma!

Ao meu Orientador, Prof. Dr. Renato Rodrigues de Almeida, por ser esse ícone e essa verdade na Ortodontia, por ser exemplo de persistência e dedicação. Pela oportunidade de poder realizar este trabalho sob sua orientação. Agradeço pela amizade e pelo privilégio de poder conviver com o Sr., aprendendo com cada lição de vida e profissional. Com toda certeza será lembrado para sempre com muito carinho. Muito obrigada!

À Profa. Dra. Ana Cláudia Conti, por prontamente ter aceitado fazer parte da banca examinadora desta dissertação. É uma honra poder ter convivido e aprendido durante esses anos de convivência. Agradeço pelos momentos de aprendizado, principalmente por ser esse exemplo de profissional. Obrigada por tudo!

Ao Prof. Dr. Flávio Cotrim, grande nome e mestre da Ortodontia, pela gentileza em aceitar nosso convite, por nos brindar com suas idéias e sabedoria, nos permitindo engrandecer esta pesquisa com suas sugestões. Agradeço pela oportunidade de conhece-lo e de poder ter a honra de dividir este momento ao seu lado. Muito obrigada!

Ao Prof. Dr. Márcio R. de Almeida, Mestre da Ortodontia, grande exemplo de conhecimento e dedicação. Agradeço pela amizade e pela maneira que sempre me

recebeu durante esses anos que temos convivido. Obrigada!

Aos Profs. Drs. do curso de Mestrado, Profa. Dra. Paula Navarro, Profa. Dra. Thaís Fernandes, Prof. Dr. Ricardo Navarro, por serem sempre tão gentis e generosos, por estarem sempre disponíveis para me escutar e ajudar. Parabéns pela maneira com que conduzem este curso, com tanta dedicação e amor. Agradeço por serem carinhosos e especiais comigo, levarei para sempre tudo que nesse pequeno período passamos juntos, mas que engrandeceu minha vida profissional e pessoal, obrigada!

Ao Prof. Dr. Alcides Gonini, Coordenador do Curso de mestrado, agradeço profundamente a atenção, paciência e disponibilidade com que sempre me atendeu. Obrigada por todas as vezes em que precisei do Sr., para poder colocar em prática esta pesquisa. Com certeza, isso só foi possível pela ajuda e dedicação que me foi dada. Obrigada!

Aos Profs. Do curso de Especialização, a Profa. Dra. Renata, que sempre dispôs de muita atenção e carinho para comigo, a quem muitas vezes pedi conselhos e fui prontamente acolhida e orientada. Obrigada pela amizade e pela oportunidade de poder aprender durante esses anos com você! À Dra. Celina, agradeço por tudo que fez por mim, pelas vezes que me orientou, me ajudou, me apoiou e me incentivou. Por me ajudar na minha caminhada profissional sempre com muita boa vontade e carinho, mas acima de tudo, agradeço por ter me acolhido em sua família, sou muito grata por esses anos de amizade. Ao Prof. Dr. Fernando Pedrin, que tem sido um grande exemplo dentro da Ortodontia, pela maneira respeitosa e amigável que sempre me tratou. Pelas conversas e conselhos que me deu. Por ser um ser humano e profissional diferenciado e acima de tudo especial... Obrigada!

Aos amigos da Turma de Mestrado, Luzevandro Masson, que esteve presente em todos os momentos em que precisei, um ser humano com uma boa vontade em se doar para o próximo como poucos que já conheci. Agradeço a atenção e carinho que teve comigo durante esses dois anos, vou levá-lo como exemplo de profissional.

Ao querido Caio, pessoa alegre e de bem com a vida, capaz de enfrentar as dificuldades com a tranquilidade e paz que carrega em si, obrigada por dividir momentos especiais durante esses anos. Ao querido Ricardo, pelas conversas que tivemos, por ser exemplo de humildade, características as quais o tornam o ser incrível que é, obrigada! À Joseli, que foi conselheira e “mãezona” de todos, que mostrou um lado afetivo e carinhoso desde o começo. Obrigada pela amizade, e por se tornar especial em tão pouco tempo.

À minha amiga Natalia Martins, pessoa pela qual tenho profundo respeito e carinho. Mais um ciclo se termina e fizemos isso novamente juntas. Espero que nossa amizade se fortaleça cada vez mais e que possamos sempre contar uma com a outra. Foram mais dois anos, e podemos nos orgulhar dessa trajetória profissional que temos construído. Obrigada pela amizade, pelos momentos, por esses anos de estrada, e por tudo que já conquistamos e batalhamos juntas! Conte comigo, amo você!

À minha amiga Karina Alvarenga, pela amizade que construímos desde a época da faculdade, pessoa pela qual tenho muita admiração e carinho. Agradeço pelos momentos que dividimos, pelas confidências, pelas conversas, risadas e pela companhia. Tenho certeza que continuaremos lapidando e cultivando a cada dia essa amizade que me faz um ser humano melhor e mais feliz. Obrigada por tudo, conte sempre comigo "Tchuca"!

Aos meus colegas e amigos, que de alguma maneira se fizeram presentes em minha vida. Por participarem mesmo que de longe dos meus passos. Com certeza levo um pouco de cada um de vocês em mim! Obrigada!

Aos meus pacientes, pela paciência e pelo voto de confiança, por me entenderem nos momentos em que precisei me ausentar, devido aos compromissos para com o mestrado. Buscarei sempre melhorar profissionalmente para honrar a confiança em mim depositada. Obrigada!

À empresa SIN implantes, por generosamente nos proporcionar a doação dos mini-implantes para a prática desta dissertação. Agradecemos a gentileza e

confiança para conosco e com nossa pesquisa. Obrigada!

À Profa. Dra. Solange Franzolin, por generosamente nos ajudar com a parte Estatística desta pesquisa. Obrigada!

Aos funcionários da Unopar, pelo carinho e atenção com que sempre me trataram, obrigada!

Aos pacientes do mestrado, pela confiança e respeito com que me receberam. Desejo que sejam muito felizes! Obrigada!

GALLI, Lais Giacomini. **Avaliação da tensão gerada na retração de caninos com o método mini-implante e *power arm* por meio da fotoelasticidade.** Número total de folhas: 67. [Dissertação de Mestrado]. Programa de Pós-Graduação em Odontologia – Universidade Norte do Paraná, Londrina, 2013.

RESUMO

O objetivo deste estudo foi o de avaliar e quantificar, *in vitro*, a tensão resultante nas estruturas de suporte durante a retração de um canino superior com o uso do método mini-implante e *power arm*, por meio da fotoelasticidade. Foram utilizados 15 modelos em resina fotoelástica representando um hemi-arco superior direito com a ausência do primeiro pré-molar, e a presença dos dentes incisivos, canino, segundo pré-molar, primeiro e segundo molares. Nos referidos dentes, foram colados braquetes convencionais (3M-UNITEK, prescrição MBT .022”) e tubos no primeiro e segundo molar (3M-UNITEK, prescrição MBT .022”), os quais receberam um fio de Niti (Orthometric, .016” x .022”). Foram adaptados dispositivos *power arm* nos braquetes dos caninos, nos tamanhos: curto, médio e longo, passando abaixo do centro de resistência, na altura do centro de resistência e acima do centro de resistência do dente, respectivamente. Para cada tamanho do dispositivo *power arm* a ser adotado, foram confeccionados 5 modelos em resina fotoelástica. Na região vestibular, entre as raízes do segundo pré-molar e primeiro molar foi posicionado um mini-implante à 5 mm apicalmente ao terço cervical. Uma mola de retração de 150g (GAC, Niti) foi conectada do mini-implante ao dispositivo *power arm*. A tensão gerada foi analisada ao longo da raiz do canino por meio de um polariscópio utilizando-se o método de reflexão, o qual quantificou as tensões (Mpa) por meio de um software (OS CALC 2.0). Para análise estatística foi utilizado o teste ANOVA seguido do teste de Tukey a 0,05% de significância. Os resultados obtidos revelaram que o *power arm* médio foi o mais eficiente para a realização do movimento de translação durante a retração do canino, quando comparado aos de tamanho curto e longo. Conclui-se que para a retração de caninos, quando a finalidade é um movimento de corpo, o tamanho do *power arm* deve coincidir com a altura do centro de resistência do mesmo, sendo então o de tamanho médio o de melhor escolha.

Palavras-chave: retração dos caninos, fotoelasticidade, movimentação dentária, áreas de tensão.

GALLI, Lais Giacomini. **Evaluation of tension generated in canine retraction with mini-implant and method *power arm* through photoelasticity.** Número total de folhas: 67. [Dissertação de Mestrado]. Programa de Pós-Graduação em Odontologia – Universidade Norte do Paraná, Londrina, 2013.

ABSTRACT

The aim of this study was to evaluate and quantify in vitro, the resulting tension in the supporting structures during retraction of a maxillary canine using the mini-implant and method *power arm* through photoelasticity. A total of 15 models in photoelastic resin representing a hemi-arch top right with the absence of the first premolar, and the presence of incisors, canine, second premolar, first and second molar. In those teeth were glued conventional brackets (3M-UNITEK, prescription MBT .022 ") and tubes in the first and second molar (3M-UNITEK, prescription MBT .022"), which received a wire niti (Orthometric, .016" x .022 "). We adapted devices *power arm* in canine brackets in sizes: short, medium and long, going below the center of resistance, the height of the center of resistance and above the center of resistance of the tooth, respectively. For each device size *power arm* to be adopted, 5 models were manufactured in photoelastic resin. In the vestibular region, between the roots of the second premolar and first molar was positioned a mini implant to 5 mm apical to the cervical third. A spring retraction 150g (GAC, Niti) was connected to the mini-implant device *power arm*. The voltage generated was analyzed along the root of the canine by means of a polariscope using the reflection method, which quantified the stresses (MPa) through a software (OS CALC 2.0). Statistical analysis was performed by ANOVA followed by Tukey test at 0,05% significance. The results revealed that the average *power arm* was more efficient to perform the translation movement during retraction of the canine when compared to short and long size. It is concluded that for canine retraction when the purpose is a motion of body, size of the *power arm* must match the height of its center of resistance thereof then being the average size of choice.

Keywords: retraction of canines, photoelasticity, tooth movement, areas of tension.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Duplicação do arco superior de um manequim odontológico.....	25
Figura 2 - Delimitação do modelo de gesso para recorte do arco dentário descrito.	25
Figura 3 - Vazamento de Resina Acrílica Quimicamente Ativada em um segundo molde de silicone de adição	26
Figura 4 - Remoção da porção coronária do dente 14	26
Figura 5 - Acabamento e Polimento do modelo de Resina Acrílica.....	27
Figura 6 - Posicionamento das réplicas dos incisivos, canino, segundo pré-molar, primeiro e segundo molar no molde de silicona de adição.....	27
Figura 7 - Adaptação do tubo plástico de diâmetro correspondente à plataforma do mini-implante	28
Figura 8 - Modelos Padronizados com Resina Fotoelástica.....	29
Figura 9 - <i>Power arm</i> curto, médio e longo, confeccionados com fio ortodôntico de aço .021"x .025"	30
Figura 10 - Preparo dos braquetes com disco de carborril realizando um sulco no centro da face lingual dos braquetes dos caninos.....	30
Figura 11 - Dispositivos Ortodônticos instalados.....	31
Figura 12 - Posicionamento da mola de NiTi interligada da cabeça do mini-implante ao <i>power arm</i>	32
Figura 13 - Polariscópio de Reflexão (Vishay LF/Z-2, Malern, USA) e Software específico (PSCalc 2.0).....	32
Figura 14 - Esquema dos pontos pré-determinados ao longo da porção radicular do canino, distribuídos ao longo da face mesial (M) e distal (D)	33
Figura 15 - Presença de franjas coloridas frente a um polariscópio de reflexão com a utilização do método <i>power arm</i> curto.....	34
Figura 16 - Presença de franjas coloridas frente a um polariscópio de reflexão com a utilização do método <i>power arm</i> médio.....	34
Figura 17 - Presença de franjas coloridas frente a um polariscópio de reflexão com a utilização do método <i>power arm</i> longo	35
Figura 18 - Média dos <i>power arm</i> , em Mpa, dos cinco modelos de cada um dos três grupos (curto, médio e longo) referente aos pontos 1, 2, 3, 4, 5 e 6.....	36

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	13
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	16
3 PROPOSIÇÃO	21
4 ARTIGO - AVALIAÇÃO DA TENSÃO GERADA NA RETRAÇÃO DE CANINOS COM O MÉTODO MINI-IMPLANTE E POWER ARM POR MEIO DA FOTOELASTICIDADE.....	22
5 CONCLUSÃO	44
REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA.....	45

1 INTRODUÇÃO

O movimento dentário ortodôntico é decorrente da resposta celular nas estruturas de suporte alveolar dos dentes, quando forças são aplicadas em suas coroas⁷. Ao receber uma carga por um determinado período de tempo, este assume uma nova posição no osso através da reabsorção do tecido ósseo nas áreas de pressão e aposição de novo osso, nas áreas de tensão^{5,21,15}. Sua estabilidade depende da musculatura e da oclusão, que devem estar em equilíbrio²¹. A compreensão dos mecanismos de resposta dos tecidos ainda é limitada, provavelmente por causa da sua natureza multifatorial. Outra consideração importante diz respeito à variação encontrada na maioria dos sistemas biológicos, neste caso em particular, há diferenças nos tamanhos dos dentes, na morfologia radicular e localização, na natureza e qualidade dos tecidos envolvidos, a idade do paciente, e as respostas biológicas individuais com alternância dentro do ambiente. O tipo de resposta esperado dos tecidos está diretamente relacionado à direção, à duração, à continuidade, e à distância através da qual as forças são aplicadas⁷.

O diagnóstico e o plano de tratamento ortodôntico muitas vezes exigem a retração de dentes anteriores superiores, nestes casos a extração dos pré-molares fornece os espaços requeridos para a correção da má oclusão¹⁸. Geralmente, o primeiro pré-molar é o dente mais frequentemente extraído a fim de alcançar um resultado mais satisfatório¹¹, principalmente devido à sua proximidade com a região a ser retraída e por apresentar-se birradicular. A discrepância entre o tamanho dos dentes e as bases ósseas, podem levar o Ortodontista a optar pela extração^{3,20}. De maneira geral, existem três razões para a extração dentária em ortodontia: (a) conseguir espaço para alinhar dentes apinhados, (b) diminuir a protrusão e (c) camuflar problemas moderados de Classes II ou III, quando a correção por modificação do crescimento não é mais possível. Muitas vezes, o espaço conseguido com as extrações não é completamente fechado com o alinhamento dos dentes, sendo necessária uma força adicional para esse fim¹⁰. Dependendo das técnicas utilizadas, um número de procedimentos são usados para retração dos incisivos, dos caninos ou em massa do segmento anterior em casos de tratamentos com extração^{7,4}.

Há na literatura ortodôntica uma versatilidade de métodos utilizados para a retração dos caninos. Esses meios implicam em vários tipos de braquetes e outros

como: acessórios, fios de espessura e formas variadas, fontes de aplicação de força e controle, e sistemas de ancoragem. O dente pode ser movido distalmente utilizando-se arco contínuo, podendo ser de fio redondo ou retangular, a largura e o tipo dos braquetes afetam a quantidade da área de contato com o fio, podendo ou não, afetar significadamente a força transmitida ao ligamento periodontal. O fechamento do espaço também pode ser realizado por meio de um arco vestibular com alça, eliminando qualquer possível efeito de fricção, mas sacrificando, até certo ponto, o controle dos dentes. As forças podem ser aplicadas por meio da utilização de elásticos, molas de secção aberta ou fechada, alças de numerosos desenhos e inúmeros tipos de aparelhos extrabucais ^{4,7}.

No passado, o conhecimento a respeito da resposta do periodonto de um dente, quando submetido a uma força, só era possível por meio de estudos histológicos dos tecidos de suporte. Um eficiente e seguro método de pesquisa para avaliação dos fenômenos que ocorrem no periodonto de sustentação é o da fotoelasticidade²¹, introduzido na Odontologia por Zak em 1935²⁵ e certificado por Brodsky e Caputo em 1975⁵, quando validaram a correlação positiva entre os resultados histológicos e fotoelásticos. O método da fotoelasticidade é o mais bem aceito, dentre os métodos utilizados, por permitir uma análise fiel da distribuição de forças em estruturas de conformação espacial complexa. Quando utilizada dentro de suas limitações e controladas as variáveis indesejáveis, a análise fotoelástica proporciona dados bastante precisos sobre as zonas de concentração de tensões nos padrões confeccionados em material adequado, podendo ser extrapolados para situações reais com bastante segurança⁶.

No que diz respeito à movimentação dentária, o ortodontista pode definir o tipo de movimento dental a ser realizado, a partir da correta utilização de forças, momentos e binários⁸. Dentre os movimentos dentários existentes, o mais facilmente obtido, mas nem sempre desejável, é o de inclinação descontrolada, que ocorre quando uma força simples é aplicada na coroa de um dente, ou seja, distante do seu centro de resistência (CR) fazendo com que o dente sofra um movimento pendular. Outro movimento é o inclinação controlada, onde ocorre apenas a movimentação da coroa dentária mantendo o ápice radicular na sua posição inicial. E por fim, o movimento mais complexo e, muitas vezes desejável, é o de translação ou movimento de corpo. É obtido sempre que a linha de ação de força cruzar o centro de resistência, ocorrendo então o deslocamento do dente sem que o mesmo sofra

alteração em seu longo eixo^{22,13,8}. Para superar esta barreira anatômica natural, que é a localização do centro de resistência, Andrews em 1977, incorporou um *power-arm* (braço de Alavanca) aos braquetes para casos com extração da técnica *Straight-wire*. Segundo ele, estes braquetes deslocavam o local de aplicação de força mais para apical, propiciando o movimento de translação dentária⁸.

Com o intuito de realizar novas pesquisas de retração de caninos por meio da fotoelasticidade, visto a escassez de estudos na literatura, o presente estudo tem por objetivo avaliar e quantificar a tensão resultante nas estruturas de suporte durante a retração de caninos, utilizando o dispositivo ortodôntico *power arm*, com ancoragem em mini implante, por meio da fotoelasticidade.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Um método para verificação dos movimentos e áreas de tensão durante a retração de caninos é o da fotoelasticidade, fenômeno físico, em que certos materiais anisotrópicos apresentam um padrão de franjas coloridas, quando forças são aplicadas sobre este material^{12,14}. Utilizando-se desta técnica fotoelástica, Caputo et al (1974)⁷, desenvolveram dois modelos fotoelásticos de um hemi-arco inferior, com ausência do primeiro pré-molar, simulando a exodontia do mesmo. Avaliaram, com um polariscópio circular o efeito fotoelástico de diferentes alças verticais para retração, confeccionadas com fio Elgiloy azul (Rocky Mountain, Denver Colo). Dobras Gable de 0°, 30°, 45° e 60° foram incorporadas nas alças de retração. Eles concluíram que, uma apropriada combinação entre forças de ativação excessiva, independentemente da dobra Gable, produz movimentos de inclinação, assim como perda de ancoragem; e o movimento controlado do canino ocorre quando a força de ativação não excede 300 gramas e o ângulo Gable fica entre 45° e 60°.

Avaliando, também, por meio da fotoelasticidade, Baeten (1975)¹, construiu um modelo resinoso de tamanho e formas anatômicas, simulando um arco superior direito e avaliou dezessete sistemas mecânicos de retração na Ortodontia. Dentre as técnicas avaliadas estão a mecânica de retração de Ricketts e a alça de retração retangular utilizada por Burstone. Para a análise dos resultados, a tensão resultante era vista como franjas coloridas no interior do modelo fotoelástico, onde eram fotografadas e depois analisadas. Concluíram que, entre as técnicas avaliadas, as de Burstone e as de Ricketts tiveram resultados satisfatórios por promover um movimento sem fricção.

Utilizando-se animais (gatos), Brodysky et al. (1975)⁵ estudaram a correlação entre as alterações histológicas e distribuições de tensões em modelos fotoelásticos. Foi avaliado o movimento do canino decorrente da aplicação de força durante a retração com molas de secção fechadas fixadas anteriormente ao canino e posteriormente ao molar. As arcadas superiores foram moldadas, e os dentes construídos em material fotoelástico (PL4, Malvern, Pa) e uma fina camada de cera cobrindo as raízes dos dentes para posterior substituição por material plástico uretano birrefringente (Solithane 113, Trenton, NJ) simulando o ligamento periodontal. O restante do modelo foi confeccionado com material plástico menos

duro, com base epóxi (PLM-1Z, Malvern, PA). Os modelos foram examinados no campo de um polariscópio circular e os padrões de estresse dentro das secções foram registrados fotograficamente. Nos modelos fotoelásticos foram anotadas as áreas de interesse particular, localizadas na crista alveolar do canino, no ápice do canino, e por fim, na crista alveolar do molar. Nas mesmas regiões foram realizados cortes histológicos. Observaram que, os modelos fotoelásticos apresentavam locais de tensão e que nestes locais, no material histológico, havia tracionamento do ligamento periodontal. As regiões de pressão no modelo foram idênticas em que se verificou compressão das fibras periodontais. Concluíram que, houve uma correlação positiva entre os modelos fotoelásticos e os materiais histológicos.

Comparando a mecânica convencional com a mecânica *power arm*, Rossato et. Al. (1982)²¹, avaliaram o movimento do canino, por meio do método fotoelástico. Reproduziram 15 padrões fotoelásticos, de um hemi-arco inferior direito, com a ausência do primeiro pré-molar inferior, simulando a extração. Para cada mecânica foram confeccionados dois arcos segmentados de fios retangulares, sendo um de .021" x .025" e outro de .018" x .025". Concluíram que, no método convencional o canino apresentou um movimento de inclinação, sendo acentuada com a utilização de fio mais leve e com incremento na magnitude da força. Já no método "power arm", o canino apresentou tendência para movimento de corpo, sendo que a espessura do fio não alterou o movimento e a magnitude.

Campos Júnior et al. (1989)⁶, compararam as distribuições de forças em diferentes formas radiculares, trinta padrões fotoelásticos foram confeccionados (sendo 10 da série I – raízes cilíndricas; 10 da série II – raízes cônicas de apical para cervical; 10 da série III – raízes cônicas da cervical para apical). Observaram que o principal fator de determinação da distribuição de forças é a área apical, e que os dentes cônicos (série III), apresentavam uma compressão lateral que influenciava a magnitude da força necessária para obtenção da mesma deformação das outras séries. Concluíram que, para comparação de distribuição de forças periodontais, é imprescindível a padronização de todas as etapas de construção dos padrões fotoelásticos, medidas do bloco de silicone fotoelástico e, principalmente, da área apical da raiz, que é o principal fator decorrente dos resultados qualitativos e quantitativos da análise fotoelástica.

Comparando as tensões geradas por aparelhos linguais e labiais, por meio da fotoelasticidade, Chaconas et al. (1990)⁹, confeccionaram modelos fotoelásticos

tridimensionais do arco superior e inferior de forma a simular uma oclusão que poderia ser tratada com ambos os aparelhos. Arcos contínuos de beta-titânio .016" foram utilizados para simular as forças produzidas pelos dispositivos labiais e linguais sobre os dentes e as estruturas circundantes durante o nivelamento, sendo que estavam ligados aos braquetes com alastik (UNITEK Corporation 3M). Os modelos foram vistos e fotografados por um polariscópio circular antes da colocação dos arcos para verificação de tensões que poderiam mascarar os resultados. Os arcos de retração com fio Elgiloy (Rocky Mountain Orthodontics) .016" x .016" foram amarrados aos incisivos, com ativações controladas para ambos os aparelhos, tanto por lingual quanto por vestibular. Os arcos foram ativados, e as distribuições de tensões dentro das estruturas de suporte foram analisadas. Os autores encontraram que, forças aplicadas pelos arcos de nivelamento foram semelhantes em natureza e intensidade para ambos os aparelhos, embora as tensões produzidas pelo aparelho lingual sejam ligeiramente superiores.

Utilizando o meio fotoelástico, Matsui et al. (2000)¹⁷ construíram um modelo fotoelástico de três dimensões da maxila com diferentes materiais na confecção dos componentes individuais do modelo. Este apresentava espaços de 6mm entre os caninos e incisivos laterais, como objetivo de simular um estágio do tratamento ortodôntico com extração, já os incisivos centrais firmemente fixados entre si. A determinação do centro de resistência em um segmento anterior do arco superior foi especificado a partir de forças que geraram distribuição de forma uniforme ao redor do dente. Os autores concluíram que, o centro de resistência foi localizado aproximadamente a 6mm apical e 4mm posterior a linha perpendicular do plano oclusal, a partir da crista óssea alveolar vestibular do incisivo central.

Por meio de um modelo fotoelástico, Yoon et al. (2002)²⁴ avaliaram a distribuição da tensão produzida entre dois tipos de sistemas para correção da mordida cruzada posterior de segundos molares. O modelo fotoelástico foi confeccionado utilizando resina fotoelástica (PL-3) para similar o osso alveolar e resina Ivory-colored utilizada para construção dos dentes. O modelo foi analisado no início e no final do experimento em um polariscópio circular e fotografado antes e depois da ativação do aparelho. Os autores concluíram que, uma inclinação palatina descontrolada e uma força de rotação foram geradas quando a força de tração foi aplicada na superfície palatina do segundo molar superior; e que uma inclinação controlada e uma força intrusiva foram geradas quando a força de tração foi aplicada

na superfície vestibular do segundo molar superior.

Bradán et al. (2003)², avaliaram as tensões transmitidas as raízes dos dentes da arcada inferior com apinhamento moderado e um canino superior deslocado para a palatina, no início do nivelamento, em modelos fotoelásticos. Compararam seis tipos de arcos de nivelamento (dois arcos multi-trançados de aço inoxidável; dois arcos de níquel titânio e dois arcos de níquel titânio super elásticos). Cada um dos seis arcos foram testados três vezes e analisados por meio de um polariscópio circular. Os autores concluíram que, mesmo em situações em que há grandes desvios, onde arcos iniciais para nivelamento são necessários, os arcos de níquel-titânio super elásticos não parecem ter vantagens sobre os arcos de nivelamento multi-trançados de aço inoxidável, em termos de tensões transferidas para as raízes dos dentes.

Com o fim de dinamizar o ensinamento prático em Ortodontia, Watanable et al. (2004)²³, propuseram a utilização de um typodont fotoelástico simulando o movimento de intrusão para a correção do trespasse vertical acentuado, utilizando a técnica do arco segmentado. Para a construção do aparato foi desenvolvido um modelo acrílico com o formato da arcada dentária, onde dentes artificiais foram inseridos em material fotoelástico. O modelo foi submetido à forças por meio de dobras no fio preconizadas por Burstone, de 20° a 50°, gerando forças que variaram de 50g a 110g. As tomadas fotográficas foram realizadas por um polariscópio plano em campo escuro. Observaram que o typodont fotoelástico mostrou-se eficiente na visualização do movimento intrusivo, reproduzindo a biomecânica quando da utilização da mecânica 4x2, sendo, portanto, um recurso efetivo a ser utilizado na prática Ortodôntica.

Analisando fotoelasticamente a distribuição de tensões decorrente da movimentação distal dos molares inferiores, com sistema de ancoragem esquelética, Nakamura et al. (2007)¹⁹, utilizaram dois tipos de modelos fotoelásticos. Um modelo simulando a posição do segundo molar antes da retração e, o outro, simulando a situação após a movimentação distal. Uma barra foi fixada por detrás do modelo para variar a direção das forças de distalização. O experimento efetuou 3 tipos de tração: apenas do primeiro molar; somente o segundo molar; e o primeiro e o segundo molares simultaneamente. A direção da força de tração foi paralela ao plano oclusal 30° para baixo em relação ao plano oclusal, utilizando uma força de 250g por ser similar aquela usada na prática clínica. Os resultados mostraram que,

no modelo com tração do primeiro molar apenas, a tensão foi extremamente elevada quando paralela ao plano oclusal. Com tração 30° para baixo do plano oclusal, todos os modelos mostraram 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 inclinação distal do primeiro molar, independentemente da tração ou sequência utilizada, a tração em 30° para baixo parece induzir intrusão e movimento distal dos molares.

Com a finalidade de analisar o local onde a força é exercida após a ativação do arco de dupla chave (DKL), Dobranszki et al. (2009)¹⁰, construíram nove modelos fotoelásticos de um arco dentário inferior, sem os primeiros pré-molares e os terceiros molares. O arco DKL foi ativado entre as alças, na alça distal e com Gurin^R. A região de incisivos, caninos e dentes posteriores foi fotografada, com interposição de filtros polarizadores de luz. Após a análise do modelo fotoelástico, conclui-se que ativação com Gurin^R pode produzir movimento de retração anterior com componente extrusivo. A ativação na alça distal pode produzir movimento de retração anterior sem componente extrusivo. E a ativação entre as alças e na alça distal pode produzir movimento de retração anterior com componente intrusivo.

Em um trabalho atual Maia et al. (2011)¹⁶, utilizando-se da análise fotoelástica, modelos foram preparados posicionando os dois dentes separados por uma distância de 27mm, em ambos os grupos. A avaliação foi feita com as mesmas pré-ativações. No grupo 1, foi utilizado o fio de aço e dois helicoides incorporados na mola T-loop; e o grupo 2, foi confeccionado com liga TMA e sem nenhum helicóide. Os testes foram realizados utilizando polariscópio circular. Utilizando-se da análise qualitativa da ordem das franjas no modelo fotoelástico, observou-se que magnitude de força gerada pelas molas do grupo 1 foi significativamente mais elevada do que no grupo 2. Os autores concluíram que, o sistema de força liberado pelas molas foi semelhante em ambos os lados independentemente do tipo de liga utilizada para construir as molas. Considerando a magnitude de força a mola confeccionada com liga de TMA mostrou-se inferior quando comparada com as molas feitas com fio de aço.

3 PROPOSIÇÃO

O presente estudo tem por objetivo, avaliar e quantificar a tensão resultante nas estruturas de suporte na região de caninos durante a retração dos mesmos, utilizando o dispositivo ortodôntico *power arm*, com ancoragem em mini-implante, por meio da fotoelasticidade

4 ARTIGO - AVALIAÇÃO DA TENSÃO GERADA NA RETRAÇÃO DE CANINOS COM O MÉTODO MINI-IMPLANTE E POWER ARM POR MEIO DA FOTOELASTICIDADE

4.1 RESUMO

O objetivo deste estudo foi o de avaliar e quantificar *in vitro*, a tensão resultante nas estruturas de suporte durante a retração de um canino superior com o uso do método mini-implante e “power arm”, por meio da fotoelasticidade. Foram utilizados 15 modelos em resina fotoelástica representando um hemi-arco superior direito com a ausência do primeiro pré-molar, e a presença dos dentes incisivos, canino, segundo pré-molar, primeiro e segundo molar. Nos referidos dentes, foram colados braquetes convencionais (3M-UNITEK, prescrição MBT .022”) e tubos no primeiro e segundo molar (3M-UNITEK, prescrição MBT .022”), os quais receberam um fio de niti (Orthometric, .016” x .022”). Foram adaptados dispositivos *power arm* nos braquetes dos caninos, nos tamanhos: curto, médio e longo, passando abaixo do centro de resistência, na altura do centro de resistência e acima do centro de resistência do dente, respectivamente. Para cada tamanho do dispositivo *power arm* a ser adotado, foram confeccionados 5 modelos em resina fotoelástica. Na região vestibular, entre as raízes do segundo pré-molar e primeiro molar foi posicionado um mini-implante à 5 mm apicalmente ao terço cervical. Uma mola de retração de 150g (GAC, Niti) foi conectada do mini-implante ao dispositivo *power arm*. A tensão gerada foi analisada ao longo da raiz do canino por meio de um polariscópio utilizando-se o método de reflexão, o qual quantificou as tensões (Mpa) por meio de um software (OS CALC 2.0). A análise estatística foi realizada pelo teste ANOVA seguido do teste de Tukey a 0,05% de significância. Os resultados obtidos revelaram que o *power arm* médio foi o mais eficiente para a realização do movimento de translação durante a retração do canino, quando comparado aos de tamanho curto e longo. Conclui-se que para a retração de caninos, quando a finalidade é um movimento de corpo, o tamanho do power arm deve coincidir com a altura do centro de resistência do mesmo.

Palavras-chave: retração dos caninos, fotoelasticidade, movimentação dentária, áreas de tensão.

4.2 INTRODUÇÃO

O principal objetivo da Ortodontia é a correção das más oclusões com concomitante reposicionamento dos dentes em uma relação esteticamente agradável e estável¹⁵. A retração dentária anterior representa uma fase fundamental do tratamento com aparelhagem ortodôntica fixa¹². Quando as forças são aplicadas nas coroas dos dentes, produzem uma resposta celular nas estruturas de suporte alveolar, gerando uma movimentação dentária. As tensões são transmitidas aos tecidos circundantes das raízes dos dentes, onde sua intensidade, a direção, a duração, a continuidade e a distância por meio da qual as forças são aplicadas, afetam diretamente a resposta tecidual esperada¹³.

No passado, o conhecimento a respeito da resposta do periodonto de um dente, quando submetido a uma força, só era possível por meio de estudos histológicos dos tecidos de suporte. Um eficiente e seguro método de pesquisa para avaliação dos fenômenos que ocorrem no periodonto de sustentação é o da fotoelasticidade¹⁹, introduzido na Odontologia por Zak em 1935²⁵. O método da fotoelasticidade é o mais bem aceito, dentre os métodos utilizados, por permitir uma análise fiel da distribuição de forças em estruturas de conformação espacial complexa. Quando utilizada dentro de suas limitações e controladas as variáveis indesejáveis, a análise fotoelástica proporciona dados bastante precisos sobre as zonas de concentração de tensões, podendo ser extrapolados para situações reais com bastante segurança⁵.

No intuito de realizar a movimentação dentária, é de fundamental importância determinar a localização do centro de resistência do dente ou de um grupo de dentes, para melhor compreender a natureza das características de deslocamento quando submetidos a vários níveis de forças^{9,3}. Dentre os diversos movimentos dentários existentes, tais como inclinação controlada e, descontrolada, aquele que se destaca é o de translação, embora de maior complexidade. Esse movimento é obtido sempre que a linha de ação da força cruzar o centro de resistência, ocorrendo então o deslocamento do dente sem que o mesmo sofra alteração em seu longo eixo^{21,14}. Para superar esta barreira anatômica natural que é a localização do centro de resistência, Andrews em 1977, inspirado nos trabalhos de Case (1908), incorporou um power-arm (braço de Alavanca) aos braquetes para tratamento ortodôntico de casos com extração utilizando-se da técnica Straight-wire,

deslocando o local de aplicação da força mais para apical, propiciando o movimento de translação dentária^{19,8}.

Devido a escassez de trabalhos pertinentes na literatura, o presente estudo tem por objetivo avaliar e quantificar a tensão resultante nas estruturas de suporte durante a retração de caninos, utilizando o dispositivo ortodôntico “power arm” e ancoragem em mini-implante, por meio da fotoelasticidade.

4.3 MATERIAL E MÉTODOS

O presente estudo foi composto por 15 modelos fotoelásticos de um hemiarco superior direito, com ausência do primeiro pré-molar, utilizando protótipos de resina dos dentes incisivos, canino, segundo pré-molar, primeiro e segundo molares (Roic, São Paulo, Brasil), com braquetes convencionais prescrição MBT .022” (3M-UNITEK), e tubos colados nos primeiro e segundo molares (prescrição MBT 0,022”, 3M-UNITEK) , passando um fio de niti0.016”x.022” (Orthometric) e retração com molas Niti (Sentalloy, GAC, 150g) conectadas dos mini-implantes (1,6 diâmetro, 8mm comprimento, SIN, Brasil) aos dispositivos ortodônticos *power arm* adaptados nos braquetes dos caninos em 3 tamanhos diferentes: curto, médio e longo, passando respectivamente, abaixo do centro de resistência, no centro de resistência e acima do centro de resistência do canino.

4.3.1 Métodos

Considerando o objetivo do presente trabalho, foi idealizado um modelo em resina fotoelástica correspondente a hemi-arcada superior direita, segundo os passos que serão descritos a seguir.

4.3.2 Obtenção do modelo de gesso

Para a realização do presente trabalho foi idealizado um modelo padrão correspondente a um segmento de arco superior direito de um paciente adulto, com a presença dos incisivos, canino, segundo pré-molar, primeiro e segundo molar. Para a obtenção deste padrão, inicialmente foi duplicada a arcada superior completa de um manequim odontológico pré-fabricado (Roic, SP, Brasil) com uma silicona de

adição (Elite Double 22-Zhermack, USA) (Figura 1) cujo molde foi vazado com gesso pedra tipo IV (Durone, Dentsply) sobre um vibrador para gesso.



Figura 1 - Duplicação do arco superior de um manequim odontológico

Uma vez cristalizado e removido do molde, o modelo de gesso foi recortado até que fosse obtido um segmento do arco descrito anteriormente, constituído por uma base de 2 cm de altura no sentido ocluso-cervical e uma parede de 1cm de largura no sentido vestibulo-lingual, de forma que os dentes permanecessem centralizados. (Figura 2).



Figura 2 - Delimitação do modelo de gesso para recorte do arco dentário descrito

4.3.3 Obtenção do modelo de Resina Acrílica

Finalizado o modelo de gesso foi realizado um segundo molde em silicona de

adição, sendo o vazamento com uma resina acrílica ativada quimicamente incolor (Jet-Clássico, Campo Limpo Paulista, Brasil) (Figura 3) e mantido em ambiente úmido com pressão constante de 25 libras por um período de 20 minutos para se evitar a inclusão de bolhas.

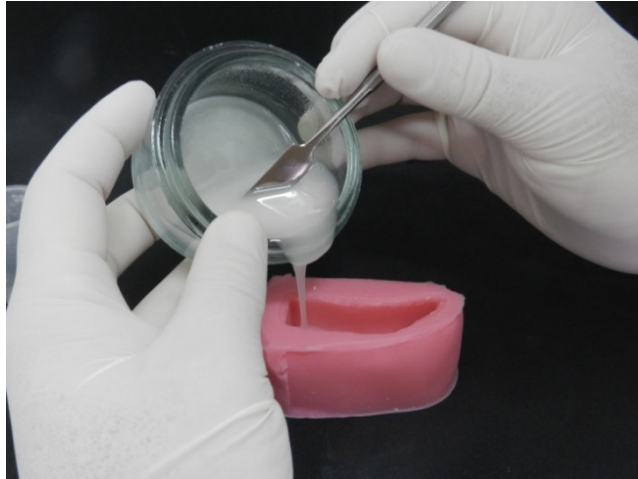


Figura 3 - Vazamento de Resina Acrílica Quimicamente Ativada em um segundo molde de silicone de adição

Polimerizada a resina acrílica realizou-se a desinclusão do modelo de resina acrílica, do qual foi realizada a remoção da porção coronária do primeiro pré-molar com uma broca maxicut em baixa rotação, simulando uma situação clínica onde a retração do canino estaria indicada (Figura 4).

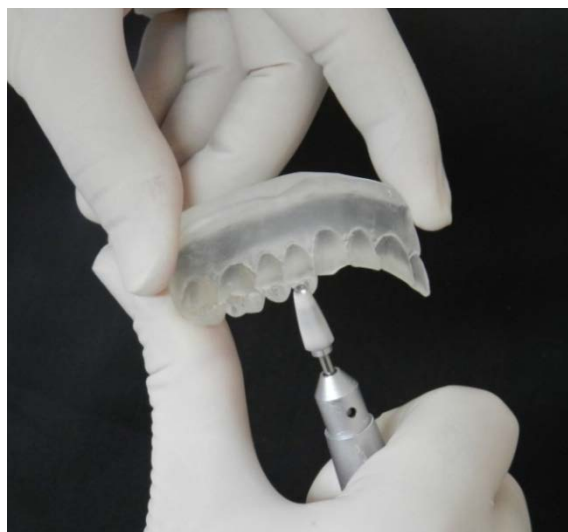


Figura 4 - Remoção da porção coronária do dente 14

As paredes do modelo foram então alisadas manualmente com uma lixa de

granulação 600, inclusive na área correspondente a coroa do primeiro pré-molar, buscando-se remover qualquer imperfeição superficial. Recebeu polimento com pedra pomes e branco de Espanha ao longo de toda a superfície (Figura 5).



Figura 5 - Acabamento e Polimento do modelo de Resina Acrílica

4.3.4 Obtenção do modelo fotoelástico

Um terceiro molde em silicona de adição foi realizado a partir do modelo em resina acrílica. Desta vez, antes do vazamento com resina acrílica incolor, as réplicas dos incisivos, canino, segundo pré-molar, primeiro e segundo molar. foram reposicionados no molde apoiados por sua porção coronária (Figura 6).



Figura 6 - Posicionamento da réplicas dos incisivos, canino, segundo pré-molar, primeiro e segundo molar no molde de silicona de adição

Após o mesmo procedimento descrito e adotado para a polimerização da resina acrílica, o modelo foi removido do molde e pode-se observar por transparência a posição e a distância das raízes do segundo pré-molar e primeiro molar, local escolhido para a colocação de um mini-implante ortodôntico. Por meio de uma broca de fissura 702 em baixa rotação foi realizada uma perfuração a uma distância de 5mm da representação da crista alveolar no modelo, entre as raízes do segundo pré-molar e primeiro molar, de maneira a ficar paralelo ao plano oclusal .

Após a perfuração foi instalado um mini-implante (1,6 diâmetro, 8mm de comprimento, SIN, Brasil) e inserido por meio de chave apropriada, fazendo-se valer sua conformação para a fixação mecânica no corpo do modelo de resina acrílica. Conferido o posicionamento do mini-implante, adaptou-se um tubo de plástico de diâmetro correspondente à plataforma do mesmo, fixando-o com cera utilidade à superfície do modelo (Figura 7). Esse procedimento foi realizado com o fim de evitar a instalação do mini-implante após a obtenção do modelo fotoelástico, o que com certeza, geraria uma tensão e respectivas franjas indesejáveis que poderiam interferir nos resultados.



Figura 7 - Adaptação do tubo plástico de diâmetro correspondente à plataforma do mini-implante

A partir deste modelo obteve-se cinco moldes de silicona de adição, a fim de constituir o número necessário de modelos para cada grupo a ser estudado. Por meio de um teste piloto foi realizado neste momento o vazamento de duas resinas fotoelásticas, para tanto selecionou-se aquela que forneceria de maneira satisfatória a leitura das tensões impostas pelos dispositivos ortodônticos. Foi utilizada a resina

epóxica PL-2 (Vishay, Malvern, USA) e a resina flexível G4 (Londrina, PR, Brasil). Para a obtenção dos modelos piloto foram posicionados uma nova série de dentes de manequim e um novo mini-implante antes do vazamento das resinas. Após a polimerização e desinclusão dos modelos, os mesmos foram levados ao polariscópio de reflexão em busca de tensões. Como não haviam tensões presentes ou residuais, um novo conjunto de dispositivos ortodônticos foram instalados para a realização do teste piloto. Detectou-se ao final do teste que a resina PL-2 não demonstrava na intensidade necessária a formação de tensões, escolhendo-se portanto a resina flexível G4 para a realização da pesquisa. Desta maneira, foram obtidos 15 modelos padronizados com esta resina (Figura 8).



Figura 8 - Modelos Padronizados com Resina Fotoelástica

4.3.5 Adaptação do Braço de Alavanca *Power Arm*

No intuito de empregar a técnica de retração de caninos com o braço de alavanca, utilizam-se clinicamente a adaptação do mesmo em braquetes de caninos para colagem, sugerido por Cotrim-Ferreira em 1989⁷, por meio dos passos descritos a seguir: Foram construídos 15 segmentos de fio ortodôntico retangular .021" x .025" polegadas, divididos em três diferentes grupos, por tamanhos: curto, médio e longo, com um gancho em uma das extremidades. Sendo (G1) curto, passando abaixo do centro de resistência do canino; (G2) médio, passando sobre o centro de resistência do canino e; (G3) longo, passando acima do centro de resistência do canino (Figura 9).



Figura 9 - Power arm curto, médio e longo, confeccionados com fio ortodôntico de aço 0,021"x 0,025"

Para o preparo do braquete utilizou-se disco de carboril realizando um sulco no centro da face lingual do braquete do canino no sentido vertical de gengival até apical (Figura 10), onde durante o procedimento, o braquete foi fixado por um alicate tipo "How" reto.



Figura 10 - Preparo dos braquetes com disco de carboril realizando um sulco no centro da face lingual dos braquetes dos caninos

Após a confecção foi verificado se o segmento de fio retangular com gancho adaptava-se perfeitamente ao sulco. Para promover a fixação do segmento de fio no sulco já confeccionado, misturamos uma pequena quantidade dos líquidos A e B de resina acrílica flúida e gotejamos no sulco, fixando-as em posição, a seguir verificando-a com uma paquímetro digital, a posição dos ganchos com alturas as previamente planejadas.

4.3.6 Instalação dos dispositivos ortodônticos

Em cada um dos modelos de resina fotoelástica foram fixados os braquetes convencionais (3M-UNITEK, prescrição MBT, slot .022") sobre a superfície vestibular

dos incisivos e segundo pré-molar e o braquete adaptado com o “power arm” no canino, com um adesivo a base de cianoacrilato (SuperBonder, Locite). Nos primeiro e segundo molar foram colados tubos duplos e simples (3M-UNITEK, prescrição MBt) respectivamente, sobre os quais instalou-se um fio de Niti .016” x .022” (Orthometric), realizando-se então uma colagem nivelada dos dispositivos ortodônticos, não induzindo assim tensões residuais (Figura 11).

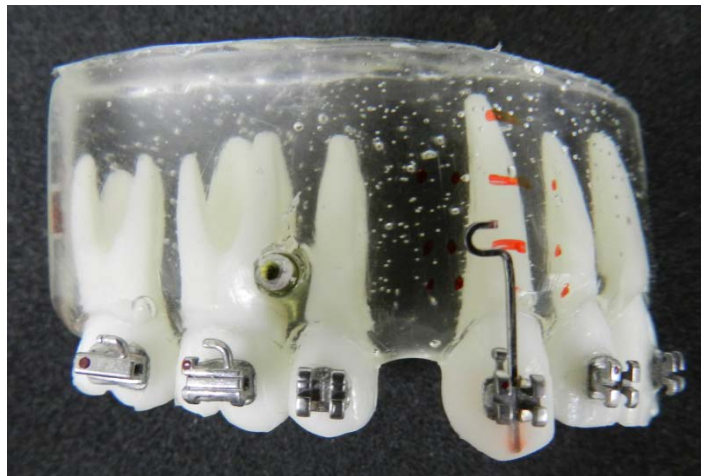


Figura 11 - Dispositivos Ortodônticos instalados

4.3.7 Aplicação da força com o dispositivos *power arm*

Nos braquetes fixados nos caninos de todos os modelos e conforme sua altura em relação ao centro de resistência do dente, foram construídos 3 grupos distintos (n=5). Desta forma para, o Grupo 1 considerou-se um dispositivo *power arm* de altura curta, ao ser instalado coronariamente no centro de resistência do canino. O Grupo 2 considerou-se uma altura média, onde a instalação do dispositivo *power arm* se deu de maneira alinhada horizontalmente ao centro de resistência do canino, e o Grupo 3 utilizou-se um dispositivo *power arm* longo, ao ser instalado apicalmente ao centro de resistência do canino.

4.3.8 Análise das tensões frente a um Polariscópio de Reflexão

Em cada modelo constituído e dividido nos grupos já descritos foi instalada e posicionada uma mola Niti (GAC, Sentalloy, 150g) na cabeça do mini implante interligada ao dispositivo “power arm” (Figura 12).



Figura 12 - Posicionamento da mola de NiTi interligada da cabeça do mini-implante ao power arm

Uma vez posicionada a mola, automaticamente uma tensão foi gerada na resina ao longo da raiz do canino, simulando a tensão que ocorreria na estrutura óssea de sustentação. Neste momento, o conjunto foi posicionado a frente de um polariscópio de reflexão (Vishay LF/Z-2, Malvern, USA), estabilizados sobre um suporte padrão com a finalidade de todos os modelos estarem na mesma posição durante a análise. O polariscópio permitiu então observar as tensões provenientes da ativação dos dispositivos utilizados, e quantificá-los por meio de um software específico (PS CALC 2.0) (Figura 13).



Figura 13 - Polariscópio de Reflexão (Vishay LF/Z-2, Malvern, USA) e Software específico (PSCalc 2.0)

A leitura das tensões foi realizada em pontos pré-determinados ao longo da porção radicular do canino, considerando o terço cervical, médio e apical das face

distal em uma distância de 2mm entre cada ponto, somando-se ao todo 6 pontos, conforme o esquema (Figura 14).

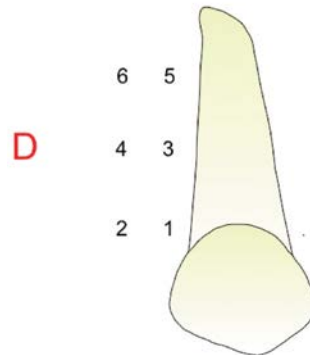


Figura 14 - Esquema dos pontos pré-determinados ao longo da porção radicular do canino, distribuídos ao longo da face distal (D)

4.4 TRATAMENTO ESTATÍSTICO

Os dados foram registrados em planilhas do programa Microsoft Excel, apresentados pela média e desvio padrão e gráfico de colunas. A amostra foi classificada, quanto:

- Ao tipo de *power arm*: curto, médio ou longo.
- A localização dos seis pontos considerados.

Para comparação dos três tipos de *power arm* para cada um dos pontos aplicou-se os testes ANOVA (comparação entre os três grupos) e teste de Tukey (comparação entre dois grupos). Todas as análises estatísticas foram realizadas pelo programa Past version 1.74, adotando-se nível de significância de 0,05%.

4.5 RESULTADOS

Para uma análise mais clara e objetiva, os resultados foram divididos em análise qualitativa e análise quantitativa. Sob o ponto de vista qualitativo, pela observação de presença ou não de franjas coloridas. E também, pelo ponto de vista quantitativo, quando se observou a extensão das franjas coloridas, ou seja, sua força/área.

4.5.1 Análise qualitativa

Foram observadas as distribuições das ordens das franjas e o *power arm* que foi mais eficiente para concentração de tensões nos pontos pré-determinados. De acordo com as fotos da análise fotoelástica, através de uma análise visual, ou seja de uma análise subjetiva, podemos observar que o *power arm* de tamanho curto (Figura15) apresentou maior concentração de tensão na região cervical do canino, o que propicia uma tendência ao movimento de inclinação do canino, visto que o dispositivo ortodôntico passa abaixo do centro de resistência. Em relação ao *power arm* médio (Figura 16) há uma formação de tensões na região média do canino, onde ocorre uma tendência ao movimento de translação, ou seja, ao movimento de corpo do canino durante a retração do mesmo. No último grupo de *power arm*, que é o de tamanho longo (Figura 17), observamos uma formação de franjas coloridas na região próxima ao ápice da raiz, o que tende a ocorrer um movimento de inclinação dentária.



Figura 15 - Presença de franjas coloridas frente a um polariscópio de reflexão com a utilização do método power arm curto

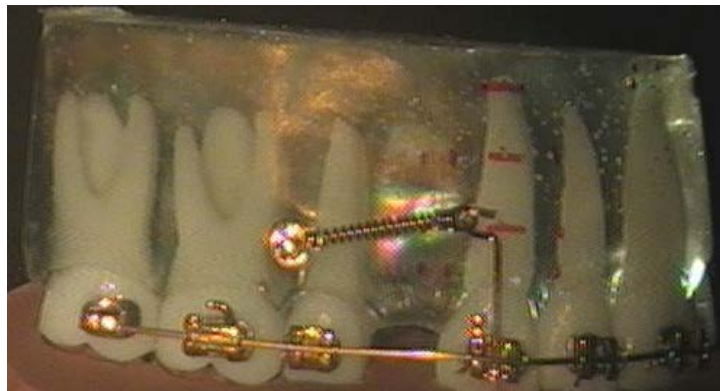


Figura 16 - Presença de franjas coloridas frente a um polariscópio de reflexão com a utilização do método power arm médio



Figura 17 - Presença de franjas coloridas frente a um polariscópio de reflexão com a utilização do método power arm longo

4.5.2 Análise Quantitativa

Foram aplicadas cargas de 150g (1,5N), e as tensões nos pontos pré-determinados foram calculados de acordo com a força/área. Os valores das médias de concentração de tensões estão representados nas tabelas abaixo em Mpa.

Tabela 1 - Média dos valores, em Mpa, dos seis pontos de cada um dos três grupos (curto, médio e longo) (Leitura horizontal)

Pontos	Grupos		
	Curto	Médio	Longo
1	2,8 ^a	9,6 ^b	2,2 ^a
2	4,8 ^a	7,0 ^b	1,4 ^c
3	3,2 ^a	10,8 ^b	3,4 ^a
4	3,6 ^a	9,0 ^b	2,4 ^a
5	0,2 ^a	4,2 ^b	9,8 ^c
6	0,0 ^a	3,0 ^b	9,4 ^c

Curto x Médio: 0,0377*

Curto x Longo: 0,4034

Médio x Longo: 0,3559

* diferença estatisticamente significativa ($p < 0,05$)

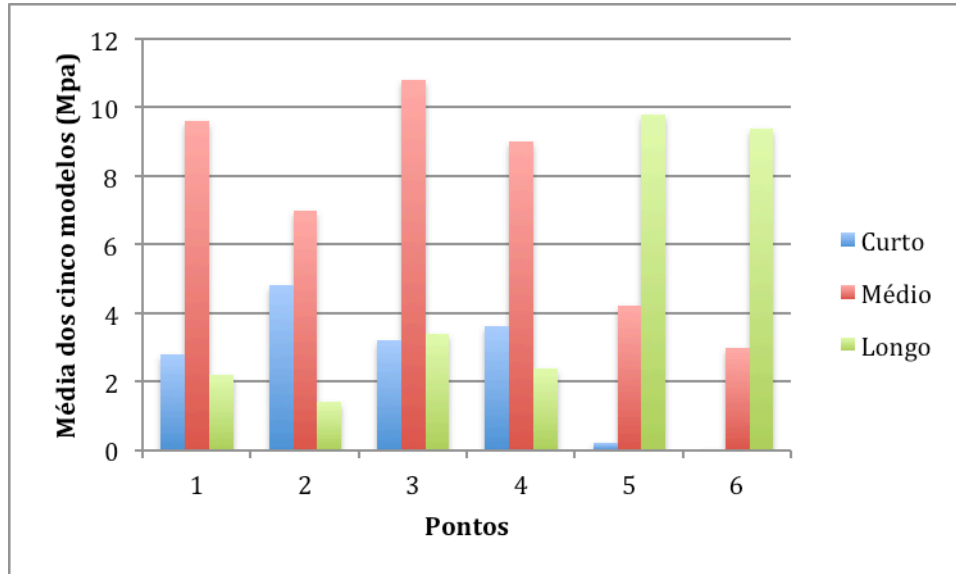


Figura 18 - Média dos Power Arm, em Mpa, dos cinco modelos de cada um dos três grupos (curto, médio e longo) referente aos pontos 1, 2, 3, 4, 5 e 6

Para uma análise mais objetiva, foi estabelecida uma tabela única com os grupos e pontos pré-determinados, afim de que sua comparação seja mais didática e simples. De acordo com os dados encontrados, descritos na tabela 1 e ilustrados no gráfico acima (Figura 18), quando o ponto avaliado refere-se ao ponto 1, que ficou localizado na região cervical do canino à 2mm de sua face distal, observou-se que o *power arm* de tamanho médio apresentou uma maior concentração de força/área (9,6 Mpa) quando comparado aos outros grupos. E o ponto 2, na mesma região à 4mm da face distal do canino, apresentou o mesmo resultado (7,0 Mpa). Quando a aplicação de força, foi realizada no terço médio do canino, tanto à 2mm quanto à 4mm de sua face distal, nos pontos 3 e 4, (10,8 Mpa e 9,0 Mpa) respectivamente, o resultado foi semelhante aos do terço cervical, tornando o *power arm* de tamanho médio o mais apropriado para a movimentação nesta região. E por fim, quando o objetivo foi de atingir os pontos 5 e 6, localizados à 2mm e 4mm da face distal do canino em seu terço apical, a utilização do *power arm* longo, foi o de escolha, visto que sua força/área foi de (9,8 Mpa e 9,4 Mpa), respectivamente, sendo semelhante ao resultado encontrado quando analisado qualitativamente.

4.6 DISCUSSÃO

Para facilitar a compreensão do leitor, a discussão foi dividida em tópicos, abordando as características da metodologia, os resultados obtidos e suas considerações finais.

4.6.1 Metodologia

A literatura apresenta alguns trabalhos que demonstram a distribuição de forças no periodonto de sustentação, com a finalidade de recolher melhores subsídios para o planejamento e implicações clínicas⁵. Dentre os métodos utilizados, o da fotoelasticidade tem sido muito bem aceito, e o de escolha nesses trabalhos^{6,1,2,15,19,5,17,10,16}. O presente estudo está sendo o pioneiro em promover retração de canino variando as alturas dos *power arm*, quando utilizado por meio da fotoelasticidade, na intenção de verificar qual o dispositivo que seria o mais apropriado para efetuar um movimento de translação do canino.

Qualquer que seja o método de tratamento usado para casos de extração, com retração dentária de corpo, a habilidade clínica para controlar as mecânicas de escolha no tratamento vai determinar o resultado. Uma limitação relevante para o Ortodontista é o ponto de aplicação de força no braquete, o qual sempre está distante do centro de resistência do dente ou de um grupo de dentes consolidados²⁰. Segundo Smith e Burstone em 1984²¹, uma maneira de se obter movimento de corpo é passar a linha de ação de força sobre o centro de resistência, com esse propósito, a força é aplicada na extremidade de um braço de alavanca estendido a partir do braquete para gengiva. Sendo por essa razão a escolha de se realizar esta pesquisa utilizando-se deste dispositivo ortodôntico *power arm*. É importante determinar a localização do centro de resistência de um dente ou um grupo de dentes para melhor compreender a natureza de suas características de deslocamento quando submetidas a vários níveis de forças^{21,22,9}. E sobre centro de resistência de um dente unirradicular, sua localização, com uma probabilidade de êxito, está sobre seu longo eixo entre o terço e a metade do comprimento da raiz entre a apical à crista alveolar do dente⁴.

Nesta pesquisa laboratorial, o teste fotoelástico utilizado, apresentou os locais onde houve formação de franjas coloridas, representando as áreas de tensão em

que o periodonto foi submetido, quando uma carga de força foi aplicada através de molas de Niti, ligadas do meio de ancoragem mini-implante ao dispositivo *power arm*. As alturas dos *power arm*, foram preconizadas de acordo com a anatomia do canino superior direito, respeitando os limites anatômicos em uma situação clínica real, que obrigatoriamente, passassem abaixo do centro de resistência, sobre o centro de resistência e acima do centro de resistência do mesmo, corroborando com o trabalho de Singh 2011²⁰. As análises foram efetuadas através de um Polariscópio de Reflexão, onde os resultados foram obtidos por meio de um software específico, que traduziam as formações de franjas coloridas em valores específicos (MPa) dentro das áreas pré-determinadas.

A ancoragem em Ortodontia é um dos fatores importantes que determinam o tratamento e seu resultado²³. O mini-implante é um método alternativo de ancoragem absoluta em Ortodontia¹⁸. Em algumas situações é desejável que os dentes de apoio ou ancoragem não se movam o que, muitas vezes, requer aparelhos volumosos ou até com extensões para fora da boca do paciente. Pelo problema de aceitação social, muitas vezes o resultado final fica comprometido pela falta de colaboração do paciente. O emprego de mini-implantes, é uma solução viável para evitar movimentos indesejáveis¹¹. Devido a falta de estudos fotoelásticos, relacionando os mini-implantes à retração de caninos, objetivou-se com este trabalho ser o pioneiro neste sentido também. Sobre análise fotoelástica em mini-implante, há um estudo de Dobranski em 2010¹¹, que observou formação de tensões quando o dispositivo foi submetido à cargas laterais e torção de inserção. No presente trabalho, não foi possível avaliar a formação de tensões (franjas coloridas) devido às estruturas adjacentes a ele, no caso, os dentes de resina referentes ao primeiro molar e segundo pré-molar, que impossibilitaram a visualização das franjas e, assim, a consequente avaliação das mesmas. Outro fator relevante é sobre o fato da posição do mini-implante, pois avaliaria somente a formação de franjas coloridas ao redor da cabeça do mini-implante evidenciando as áreas em que ocorreriam formação de tensão devido a força resultante entre o *power arm* e ele, o que não nos indicaria perda de ancoragem, visto que o mini-implante é de ancoragem esquelética, ou seja, de ancoragem máxima. Porém o motivo mais relevante diz respeito à direção da incidência da luz polarizada, pois a mesma incide paralela ao mini-implante e não perpendicular, como deve ser para que o polariscópio possa fazer a leitura das tensões.

4.6.2 Resultados obtidos

Os resultados obtidos referentes à comparação entre os três grupos de *power arm* e suas respectivas áreas de interesse, representadas pelos pontos pré-determinados, através da análise fotoelástica, são estes: a) no referido ponto 1 e 2, quando da análise subjetiva observou-se a formação de tensões no terço cervical quando da utilização de *power arm* curto. Já em uma análise quantitativa, o *power arm* médio apresentou-se mais eficiente com uma carga/área de 9,6 Mpa e 7,0 Mpa, respectivamente, sendo inesperado este resultado, podendo ter ocorrido devido a dissipação das franjas até estes pontos e a flexibilidade do fio de aço do *power arm* por apresentar-se maior, outro considerável motivo, está relacionado a altura do posicionamento do mini-implante quando comparado a uma ancoragem em molar, o que pode nos levar a uma possível resposta diferente. Esta altura onde o mini-implante foi instalado vem corroborando com o trabalho de Zago em 2011²⁴ onde validou que a melhor altura para instalação do mini-implante foi à 5mm da crista óssea alveolar e não tendo haver portanto com o CR do canino; Nos pontos 3 e 4, analisados qualitativamente, quando utilizado o *power arm* médio, observou-se a formação de maior concentração de franjas coloridas no terço médio do canino, dissipando-se ao longo da raiz porém com menos intensidade. E no quesito quantitativo, a resposta foi a mesma, sendo uma concentração de carga/área de 10,8 Mpa e 9,0 Mpa, para os referidos pontos, respectivamente, o que tendenciou a um movimento de translação do canino superior direito vindo de encontro com os resultados obtidos pelos estudos de Rossato em 1982¹⁹, onde foi constatado uma tendência ao movimento de translação quando da utilização do *power arm*, comparando-se ao método convencional; e por fim, nos pontos 5 e 6, quando analisados tanto qualitativa quanto quantitativamente, o *power arm* longo propiciou um movimento de inclinação dentária onde houve uma maior concentração de tensões sobre o local próximo ao ápice do dente, de 9,8 e 9,4 Mpa nas áreas, respectivamente. Este resultado foi esperado visto que a linha de ação de força passou acima do centro de resistência do canino.

Embora da utilização de diferentes metodologias, porém com a utilização do meio fotoelástico, julgou-se pertinente a exibição de resultados de trabalhos clássicos existentes na literatura para a comparação de resultados. Caputo em

1974⁶ conclui que uma excessiva ativação de dobras Gable apresentou tendência a um movimento de inclinação e uma perda de ancoragem ocorreu quando uma magnitude de força foi excessiva. Já no presente estudo, observou-se uma tendência de translação dentária independente de sua magnitude de força visto que a linha de ação da força passa sob o centro de resistência do canino e a não perda de ancoragem, considerando que a ancoragem faz-se absoluta visto da utilização de mini-implantes. Já Brodsky observou em 1975² que utilizando-se da retração de caninos com o método convencional ancorado no molar, houve uma tendência de inclinação dentária com formação de franjas coloridas na crista alveolar distal do canino e na face mesial do ápice radicular do mesmo, ocorrendo também, na crista alveolar do molar e ao longo de sua raiz mesial o que revelaria a perda de ancoragem, evidenciando a tendência a um movimento de inclinação vindo contra os resultados obtidos pelo presente estudo que com a utilização do *power arm* de tamanho médio houve uma tendência a um movimento de translação do canino, sendo então mais eficiente para este fim.

4.6.3 Considerações finais

Por ser um estudo pioneiro no que diz respeito a variação de locais de aplicação da força utilizando-se deste meio fotoelástico e do método *power arm*, o presente estudo limitou-se a algumas comparações. Tendo então, que melhor estabelecer seus resultados e esclarecer sua metodologia. Por este motivo, nesta pesquisa optou-se por estudar o método *power arm*, e pelos resultados obtidos, verificou-se sua eficiência. No entanto, indubitavelmente, deve-se considerar a necessidade de estudos futuros para melhor esclarecer esta técnica e as possíveis questões e dúvidas ainda pendentes.

4.7 CONCLUSÃO

Mediante a metodologia apresentada e os resultados obtidos, pode-se concluir com este trabalho que:

- Quando o objetivo foi verificar os pontos 1 e 2, situados no terço cervical do canino, o *power arm* de tamanho médio apresentou-se mais eficaz quando comparado aos outros dois tamanhos. Em uma análise subjetiva,

o *power arm* de tamanho curto apresentou maior área de concentração de forças (franjas coloridas) quando utilizado.

- Quando o objetivo foi verificar a concentração de forças no terço médio do canino, nas regiões dos pontos 3 e 4, o *power arm* médio obteve o melhor resultado, propiciando um movimento de translação do canino.
- Quando o objetivo foi verificar os pontos 5 e 6, localizados no terço apical do canino, o *power arm* longo apresentou a melhor concentração de forças tanto em sua análise qualitativa quanto em sua análise quantitativa, quando comparado aos outros grupos de *power arm*, com tendência a um movimento de inclinação dentária.
- Para um movimento de translação do canino, o *power arm* de tamanho médio apresentou-se mais eficaz e o de escolha para tal finalidade, sendo apropriado por sua linha de ação de força passar sob o centro de resistência do canino, observado isto, a utilização do *power arm* torna-se um método auxiliar seguro e de total credibilidade.

4.8 REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

- 1 Baeten LR. Canine retraction: A photoelastic study. Am J Orthod. 1975; 67(1):11-23.
- 2 Brodsky JF, Caputo AA, Furstman LL. Root tipping: A photoelastic-histopathologic correlation. Am J Orthod. 1975; 67(1): 1-10.
- 3 Buckle MMV, Burstone CJ, Sachdeva RCL, Dermaut LR. Location of the centers of resistance for anterior teeth during retraction using laser reflection technique. Am J Orthod. 1987; 91(5):375-384.
- 4 Burstone CJ, Pryputniewicz RJ. Holographic determination of centers of rotation produced by orthodontic forces. Am J Orthod. 1980; 77(4): 396-409.
- 5 Campos Júnior A, Passanezi E, Nahás D, Chiapinotto GA, Lopes ES. A Fotoelasticidade em Odontologia: Influência da base apical de sustentação. Rev. Odont. USP. 1989; 3(4): 470-475.
- 6 Caputo AA, Chaconas SJ, Hayashi RK. Photoelastic visualization of

- orthodontic forces during canine retraction. *Am J Orthod.* 1974; 65(3): 250-259
- 7 Cotrim-Ferreira FA. Adaptação de braço de alavanca (POWER ARM) em braquetes de caninos para colagem. *Rev Fac. Odont. F.Z.L.* 1989; 1(1): 47-53.
 - 8 Cotrim-Ferreira, FA. Biomecânica do movimento dental: Parte II princípios biomecânicos. Ferreira, FV. *Ortodontia: Diagnóstico e planejamento clínico.* 7a edição. São Paulo: Artes médicas; 2008: 363-398.
 - 9 Christiansen RL, Burstone CJ. Centers of rotation within the periodontal space. *Am J Orthod.* 1969; 55(4): 353-369
 - 10 Dobranszki A, Vuolo JH, Neto FL, Suzuki H, Barbosa JA, Dobranszki NPDC. Estudo fotoelástico do controle vertical com o arco dupla chave na técnica Straight wire. *R Dental Press Ortodon Ortop Facial.* 2009; 14(4):123-128.
 - 11 Dobranszki A, Levy Neto F, Dobranszki NC, Vuolo JH, Laboissière Jr MA. Distribuição de tensões em mini-implantes ortodônticos. *Revista matéria.* 2010; 15(3): 405-412.
 - 12 Gjessing P. Contolled retraction of maxillary incisors. *Am J Orthod* 1992; 101: 120-131.
 - 13 Hayashi RK, Chaconas SJ, Caputo AA. Effects of force direction on supporting bone during tooth movement. *Journal American Dental Assoc.* 1975; 90(5): 1012-1017.
 - 14 Isaacson RJ, Lindauer SJ, Davidovitch M. On tooth movement. *Angle Orthod.* 1993; 63(4): 305-309.
 - 15 Itoh T, Chaconas SJ, Caputo AA. Photoelastic effects of maxillary protraction on the craniofacial complex. *Am J Orthod.* 1985; 88(2): 117-124.
 - 16 Maia LGM, Maia MLM, Monini AC, Vianna AP, Jr Gandini, LG. Photoelastic analysis of forces generated by T-loop springs made with stainless steel or titanium-molybdenum alloy. *Am J Orthod.* 2011; 140(3): 123-128.
 - 17 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.* 2007;132(5): 624-629.

- 18 Poggio PM, Incorvati I, Velo S, Carano A. "Safe zones": A guide for miniscrew positioning in the maxillary and mandibular arch. *Angle Orthodontist.* 2006; 76(2): 191-197.
- 19 Rossato C. Estudo fotoelástico das áreas de pressão, produzidas no periodonto, por forças ortodônticas, na distalização do canino, pelos métodos convencional e "power arm". Dissertação de mestrado USP, Bauru. 1982.
- 20 Singh A, Kishore MSV, Shetty KS. Adjusting force vectors during maxillary retraction with miniscrew anchorage. *J Clin Orthod.* 2011; XLV(8): 453-459.
- 21 Smith RJ, Burstone CJ. Mechanics of tooth movement. *Am J Orthod.* 1984; 85(4): 294-307.
- 22 Stephens CD, Orth D. The orthodontic center of rotations of the maxillary central incisor. *Am J Orthod.* 1979; 76(2):209-217.
- 23 Thiruvengkatachari B, Ammayappan P, Kandaswamy R. Comparison of rate of canine retraction with conventional molar anchorage and titanium implant anchorage. *Am J Orthod.* 2008; 134(1): 30-35.
- 24 Zago HB. Avaliação tridimensional de espaços disponíveis para ancoragem esquelética temporária na maxila. [Dissertação Mestrado] UNOPAR, 2011.
- 25 Zak B. Photoelastische analyse in der orthodontischen mechanik. *Osten Z Stomatol.* 1935; 33: 22-37.

5 CONCLUSÃO

Mediante a metodologia apresentada e os resultados obtidos, pode-se concluir com este trabalho que:

- Quando o objetivo foi verificar os pontos 1 e 2, situados no terço cervical do canino, o power arm de tamanho médio apresentou-se mais eficaz quando comparado aos outros dois tamanhos. Em uma análise subjetiva, o power arm de tamanho curto apresentou maior área de concentração de forças (franjas coloridas) quando utilizado.
- Quando o objetivo foi verificar a concentração de forças no terço médio do canino, nas regiões dos pontos 3 e 4, o power arm médio obteve o melhor resultado, propiciando um movimento de translação do canino.
- Quando o objetivo foi verificar os pontos 5 e 6, localizados no terço apical do canino, o power arm longo apresentou a melhor concentração de forças tanto em sua análise qualitativa quanto em sua análise quantitativa, quando comparado aos outros grupos de power arm.
- Para um movimento de translação do canino, o *power arm* de tamanho médio apresentou-se mais eficaz e o de escolha para tal finalidade, sendo apropriado por sua linha de ação de força passar sob o centro de resistência do canino, observado isto, a utilização do *power arm* torna-se um método auxiliar seguro e de total credibilidade.

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

- 1 Baeten LR. Canine retraction: A photoelastic study. *Am J Orthod.* 1975; 67(1):11-23.
- 2 Badran SA, Orr JF, Stevenson M, Burden DJ. Photo-elastic stress analysis of initial alignment archwires. *European Journal Orthod.* 2003; 25: 117-125.
- 3 Bull HL. Obtaining facial balance in the treatment of class II, division 1. *Am J Orthod.* 1951; XXI(3): 139-148.
- 4 Burstone CJ, Koenig HA. Optimizing anterior and canine retraction. *Am J Orthod.* 1976; 70(1): 1-19.
- 5 Brodsky JF, Caputo AA, Furstman LL. Root tipping: A photoelastic-histopathologic correlation. *Am J Orthod.* 1975; 67(1): 1-10.
- 6 Campos Júnior A, Passanezi E, Nahás D, Chiapinotto GA, Lopes ES. A Fotoelasticidade em Odontologia: Influência da base apical de sustentação. *Rev. Odont. USP.* 1989; 3(4): 470-475.
- 7 Caputo AA, Chaconas SJ, Hayashi RK. Photoelastic visualization of orthodontic forces during canine retraction. *Am J Orthod.* 1974; 65(3): 250-259.
- 8 Cotrim-Ferreira, FA. Biomecânica do movimento dental: Parte II princípios biomecânicos. Ferreira, FV. *Ortodontia: Diagnóstico e planejamento clínico.* 7a edição. São Paulo: Artes médicas; 2008: 363-398.
- 9 Chaconas SJ, Caputo AA, Brunetto AR. Force transmission characteristics of lingual appliances. *Journal Clin Orthod.* 1990; XXIV (1): 36-43.
- 10 Dobranszki A, Vuolo JH, Neto FL, Suzuki H, Barbosa JA, Dobranszki NPDC. Estudo fotoelástico do controle vertical com o arco dupla chave na técnica Straight wire. *R Dental Press Ortodon Ortop Facial.* 2009; 14(4):123-128.
- 11 Fastlicht J. Efficient canine retraction with the universal appliance. *Am J Orthod.* 1973; 64(3): 270-277.

- 12 Glickman I, Roeber FW, Brion M, Pameijer JHN. Photoelastic analysis of internal stresses in the periodontium created by occlusal forces. *J Periodontol.* 1970; 41: 30-35.
- 13 Isaacson RJ, Lindauer SJ, Davidovitch M. On tooth movement. *Angle Orthod.* 1993; 63(4): 305-309.
- 14 Itoh T, Chaconas SJ, Caputo AA. Photoelastic effects of maxillary protraction on the craniofacial complex. *Am J Orthod.* 1985; 88(2): 117-124.
- 15 Kojima Y, Fukui H. Numerical simulation of canine retraction by sliding mechanics. *Am J Orthod.* 2005; 127(5): 542-551.
- 16 Maia LGM, Maia MLM, Monini AC, Vianna AP, Jr Gandini, LG. Photoelastic analysis of forces generated by T-loop springs made with stainless steel or titanium-molybdenum alloy. *Am J Orthod.* 2011; 140(3): 123-128.
- 17 Matsui S, Caputo AA, Chaconas SJ, Kiyomura H. Center of resistance of anterior arch segment. *Am J Orthod.* 200; 118(2):171-178.
- 18 Mezomo M, Lima ES, Menezes LM, Weissheimer A, Allgayer S. Maxillary canine retraction with self-ligating and conventional brackets. *Angle Orthodontist.* 2011; 81(2): 292-297.
- 19 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.* 2007;132(5): 624-629
- 20 Ricketts, RM. Bioprogressive therapy as an answer to orthodontic needs part II. *Am J Orthod.* 1976; 70(4): 359-397.
- 21 Rossato C. Estudo fotoelástico das áreas de pressão, produzidas no periodonto, por forças ortodônticas, na distalização do canino, pelos métodos convencional e "power arm". Dissertação de mestrado USP, Bauru. 1982.
- 22 Smith RJ, Burstone CJ. Mechanics of tooth movement. *Am J Orthod.* 1984; 85(4): 294-307.
- 23 Watanable P, Nouer PRA, Garbui IU, Rondelli CEM. Desenvolvimento de

typodont fotoelástico para visualização de linhas de tensão na técnica segmentada (2x4). Rev Assoc Paulista de Espec Ortod Ortop facial. 2004; 2(1-4): 126-135.

- 24 Yoon YJ, Jang SH, Hwang GW, Kim KW. Stress distribution produced by correction of the maxillary second molar in buccal crossbite. Angle Orthodontist. 2002; 72(5): 397-401.
- 25 Zak B. Photoelastische analyse in der orthodontischen mechanik. Ostern Z. Stomatol. 1935; 33: 22-37.