



SOLUÇÃO MATEMÁTICA PARA DETERMINAÇÃO DO MOVIMENTO DO DENTE NO TRATAMENTO ORTODÔNTICO

Augusta Cerceau Isaac Neta

PUC-Minas, Departamento de Engenharia Mecânica
Av. Dom José Gaspar, 500 – 30535-610 – Belo Horizonte, MG, Brasil
augusta@ig.com.br

Leonardo Gontijo

PUC-Minas, Departamento de Odontologia
Av. Dom José Gaspar, 500 – 30535-610 – Belo Horizonte, MG, Brasil

Prof. Hélio Henrique de Araújo Brito, M.Sc.

PUC-Minas, Departamento de Odontologia
Av. Dom José Gaspar, 500 – 30535-610 – Belo Horizonte, MG, Brasil

Prof. Jánes Landre Júnior, D.Sc.

PUC-Minas, Departamento de Engenharia Mecânica / Mecatrônica
Av. Dom José Gaspar, 500 – 3535-610 – Belo Horizonte, MG, Brasil
janes@pucminas.br

Resumo. *A Ortodontia, em determinadas situações, tem se baseado em avaliações subjetivas para a escolha da metodologia a ser empregada nos tratamentos ortodônticos. Entretanto, em condições um pouco mais complexas, a aplicação de conhecimentos matemáticos e físicos tem se mostrado extremamente necessária para a conversão dos resultados em soluções corretas. Em alguns casos, a adoção do método de análise baseado em conhecimentos empíricos tem se mostrado eficiente. Contudo, tem-se observado que determinados procedimentos realizados pela Ortodontia na procura pela correção de dentes extruídos, não tem levado a resultados satisfatórios. Diante deste cenário, identificou-se a necessidade de criar uma técnica aplicada à Ortodontia que garantisse a estabilidade e efetividade dos resultados. O objetivo deste trabalho foi desenvolver uma técnica, a partir de estudos numéricos, que possibilitasse a determinação de uma adequada geometria do aparelho ortodôntico. Fez-se uso de cálculos matemáticos para obtenção de pontos ótimos de fixação do aparelho e, conseqüentemente, o aperfeiçoamento de sua geometria, visando a consecução dos resultados almejados. Com base no estudo realizado, é possível desenvolver aparelhos ortodônticos que transmitam aos dentes somente esforços benéficos, evitando-se dessa forma reações adversas à esperada.*

Palavras-chave: *biomecânica, mecânica dos sólidos, tratamento ortodôntico.*

1. INTRODUÇÃO

A ortodontia é uma especialidade da Odontologia que consiste em corrigir a defeituosa posição dos dentes.

Durante o seu processo evolutivo, contemplou-se um desenvolvimento expressivo tanto nos aspectos relativos à área biológica quanto na questão tecnológica. Entretanto, ainda vigora a escolha de tratamentos ortodônticos baseados apenas na experiência e, pois, sem caráter científico, o que tem mostrado ser ineficaz para determinados desafios da ortodontia contemporânea.

Existe, então, uma urgência real de aplicação de conhecimentos matemáticos e físicos aos tratamentos ortodônticos de maior complexidade, para que a prática clínica se aproxime do ideal terapêutico.

Para a elaboração de um projeto terapêutico cabe ao profissional diligente coletar uma série de informações fornecidas por fotografias, dados pessoais e análises cefalométricas, até a definição do tratamento.

Além das fotografias, o molde de gesso é um dos itens essenciais para o diagnóstico e plano de tratamento. Através destes moldes, devidamente recortados e polidos, é possível observar detalhes impossíveis de serem vistos na boca, registrando oclusões (o contato entre os dentes) e permitindo examinar a simetria dos arcos (vista oclusal), o alinhamento dos dentes, suas inclinações axiais, tipos de má oclusão, e outros dados relevantes.

A partir do diagnóstico, as etapas seguintes consistem na planificação do tratamento para o problema clínico em estudo e no tratamento propriamente dito. Um projeto terapêutico eficiente requer planos de tratamento e mecânicos precisos para a consecução de resultados prazíveis.

Para a realização de um determinado movimento dental, seria necessário o conhecimento da geometria do dente e das restrições existentes, para então precisar a localização correta de forças, momentos ou binários. Entretanto, na prática, não é possível garantir a execução de um movimento dental sem desvios, uma vez que ainda não se tem domínio sobre as restrições

Para uma melhor compreensão deste trabalho, é interessante o conhecimento de alguns termos muito utilizados na Odontologia. Considerando três eixos mutuamente perpendiculares, sendo um deles normal à superfície facial de um dente do arco superior, Fig. (1), denomina-se vestibular o sentido de deslocamento do dente na direção y no sentido positivo do eixo; palatinal, na direção y no sentido negativo; mesial, na direção x no sentido negativo; distal, na direção x no sentido positivo. Intrusão é o deslocamento do dente na direção z no sentido negativo do eixo, enquanto extrusão é o deslocamento no sentido positivo deste eixo.

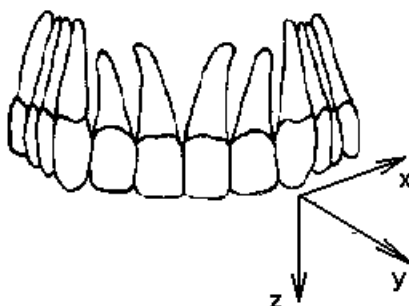


Figura 1. Arco superior

O tipo mais simples de movimento ortodôntico é a inclinação (Marcotte, 1993), resultado da ação de uma força sobre o dente que o faz inclinar em relação ao seu eixo longitudinal.

No movimento de translação, os eixos do dente antes e depois do movimento, são paralelos ou coincidentes. Serão coincidentes quando o dente se move no sentido de intrusão ou extrusão e paralelos nos deslocamentos horizontais ou oblíquos (Ferreira, 1996).

A translação propriamente dita – movimento horizontal ou oblíquo que preserva a inclinação do eixo do dente – é um dos movimentos mais complexos. Sua obtenção é possível sempre que a linha de ação da força resultante cruza o centro de gravidade do dente, ou quando a tendência de rotação decorrente de uma força é totalmente anulada por um binário (Ferreira, 1996).

Dos movimentos verticais, a extrusão é a de mais fácil obtenção, pois produz poucas áreas de compressão no ligamento periodontal. Já a intrusão requer um controle cuidadoso da magnitude e direção das forças, uma vez que haverá concentração de forças numa pequena área no ápice do dente (Ferreira, 1996).

Hoje, um dos grandes desafios no que diz respeito a pacientes adultos é a extrusão de molares superiores, especialmente os primeiros molares, quando houve perda do antagonista no arco inferior (Proffit, 1995). Essa situação é de difícil resolução clínica e, em geral, envolve a reabilitação protética do dente extruído muitas vezes precedida por tratamento endodôntico.

O presente trabalho tem como objetivo mostrar o uso de cálculos matemáticos para viabilizar o desenvolvimento de um método rápido e eficiente para a intrusão de molares superiores em pacientes adultos, como alternativa à reabilitação protética (Shigley, 1989).

2. MATERIAIS E MÉTODOS

Um paciente procurou o tratamento ortodôntico no Centro de Odontologia e Pesquisa da Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais, por indicação do clínico geral. A solicitação inicial era o preparo pré-protético do arco inferior na região dos primeiros molares, dentes indicados pelos códigos 36 e 46, perdidos precocemente.

Uma avaliação preliminar, havia sido planejado pelo clínico a reconstituição protética, possivelmente antecedida por tratamento endodôntico, dos primeiros molares superiores, uma vez que estavam extruídos e desnivelados com o plano oclusal. Além disso, era necessário haver altura para a futura prótese na região dos dentes 36 e 46.

O tratamento ortodôntico pré-protético proposto foi intruir os primeiros molares com aparelho removível associado a molas que fariam o contato com os dentes e posteriormente verticalização dos segundos e terceiros molares inferiores. Como a confecção de um primeiro aparelho não levou em consideração uma avaliação dos esforços envolvidos, os resultados obtidos não foram satisfatórios.

Por se tratar de uma correção da posição do dente, onde estão envolvidos esforços que o conduziu para direções não desejadas, foi proposto uma solução matemática para a identificação da posição onde deveriam ser aplicadas as forças. Para este estudo foi confeccionado o diagrama de corpo livre do dente a ser trabalhado.

Inicialmente, foi feita uma avaliação do tratamento ortodôntico realizado e, em seguida, definida a geometria de um aparelho que transmitisse aos dentes os esforços necessários à correção do problema de extrusão.

Para esta avaliação foram usadas a radiografia e o molde de gesso para a identificação da geometria do dente, sendo então transportada para um código de desenho, o AutoCAD na sua versão 2000. As duas técnicas foram utilizadas por serem de mais fácil compreensão e disponíveis ao profissional da ortodontia.

Através dos recursos deste programa, precisou-se as formas e dimensões do sistema e o centro de gravidade do dente, Fig. (2). Em seguida, foi construído o diagrama de corpo livre do dente para uma exposição elucidativa do tratamento ortodôntico aplicado.

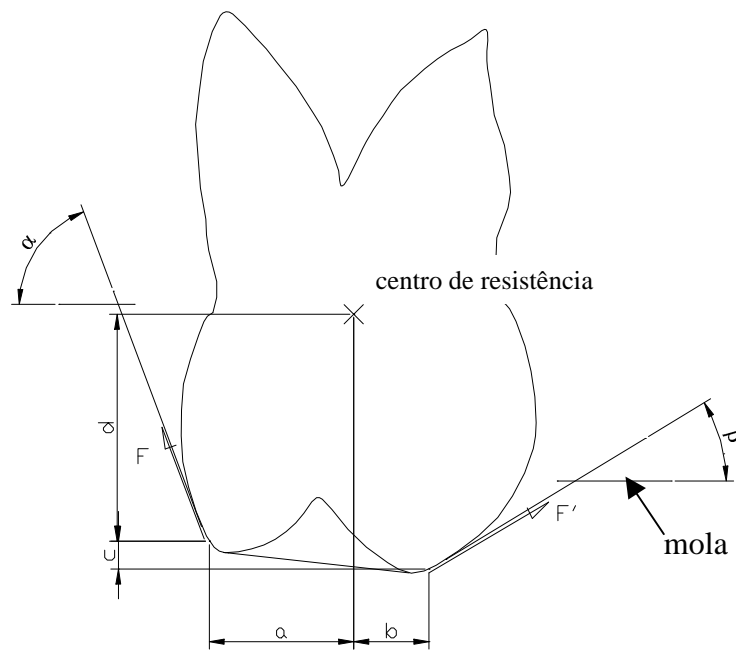


Figura 2. Geometria do sistema e localização do centro de gravidade, numa vista mesial.

Foram definidos um conjunto de variáveis e posições específicas no dente que ao estarem em contato com o aparelho a ser desenvolvido pudesse produzir somente o movimento intrusivo.

Como o aparelho previa a colocação de dois apoios onde fossem fixadas as extremidades da mola, tornava-se necessário a identificação de ângulos de posicionamento desta mola, calculados em função da posição do centro de gravidade e centro de rotação do dente, parâmetro este intimamente dependente da quantidade que o dente se encontra dentro do osso alveolar.

Todas estas definições foram obtidas e calculadas a partir das informações fornecidas pela geometria transportada da radiografia para o AutoCAD e posterior desenvolvimento de uma função matemática onde foi possível a definição da posição ótima de conexão da mola.

Para produzir o movimento intrusivo, é necessário o equilíbrio dos torques no dente, conforme apresentado na equação abaixo:

$$F \cos \alpha \cdot d + F \sin \alpha \cdot a = F' \cos \beta \cdot (c + d) + F' \sin \beta \cdot b \quad (1)$$

onde F e F' são as forças impostas ao dente e a, b, c, d, α e β são as variáveis definidas na Fig. (2).

Os termos a esquerda do sinal de igualdade representam os torques no sentido horário; e a direita, anti-horário.

Uma referência em relação à condição de equilíbrio das forças horizontais não é feita em razão dos valores destas forças serem relativamente baixos.

Para facilitar a seleção dos ângulos que satisfazem a Eq. (1), foram construídas as curvas dos torques nos sentidos horário e anti-horário em função dos ângulos, Fig. (3).

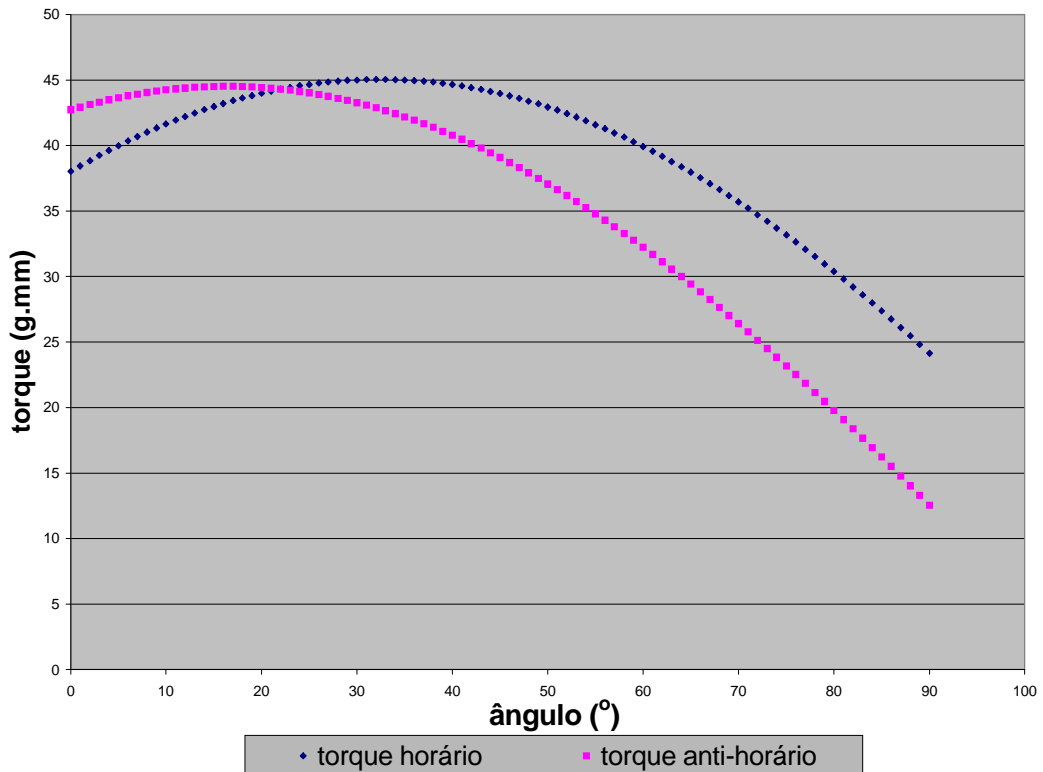


Figura 3 – Curvas dos torques horário e anti-horário em função do ângulo

Para a escolha destes ângulos, foram levados em consideração variáveis odontológicas e geométricas.

Sob os dados geométricos obtidos ora do molde de gesso ora da radiografia, foram definidos os maiores valores possíveis para os ângulos α e β , Fig. (4).

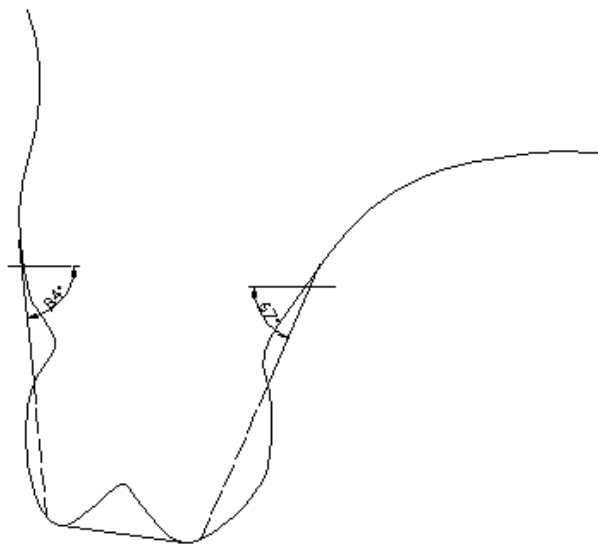


Figura 4. Determinação dos maiores valores dos ângulos α e β

Fixou-se o valor do menor ângulo. Por conseguinte, para que a condição de equilíbrio fosse atingida, o outro ângulo foi selecionado a partir das curvas dos torques, Fig. (5).

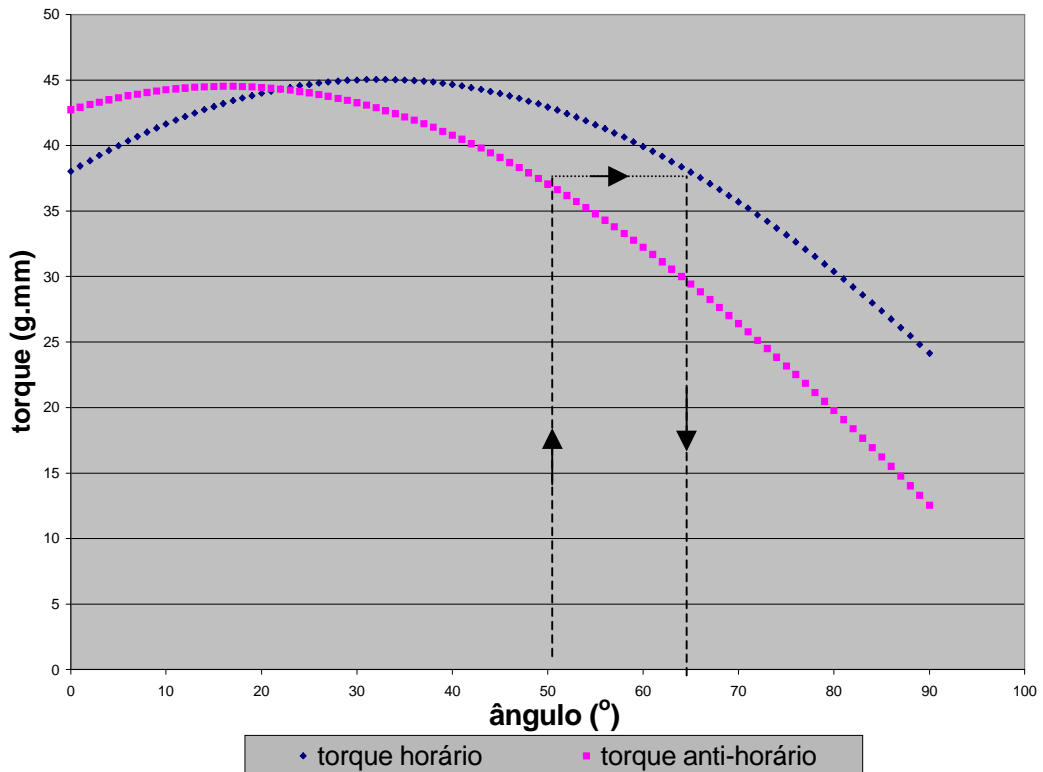


Figura 5. Determinação do valor do ângulo

De posse dos ângulos obtidos pelo gráfico da Fig. (5) é possível identificar a posição dos pontos 1 e 2, pontos estes onde deverão ser confeccionados os apoios da mola. Estas regiões deverão ser identificadas em relação aos pontos de oclusão do dente e consequentemente de contato da mola, definidos pelas variáveis $d1$, $d2$, $d3$ e $d4$, conforme Fig. (6).

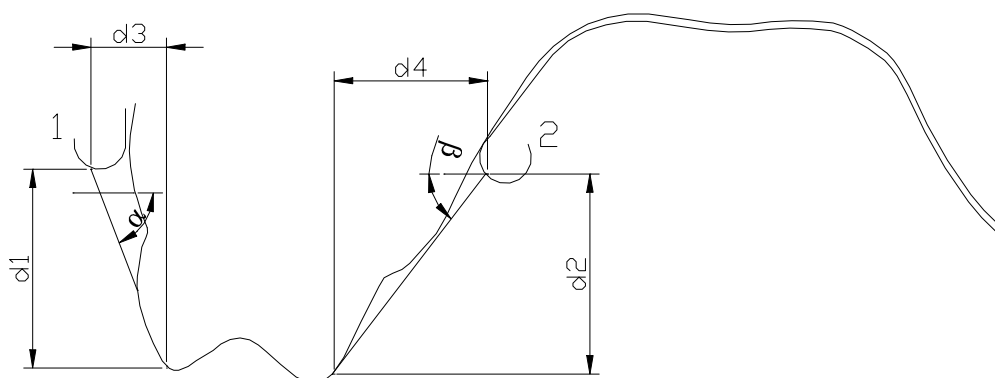


Figura 6. Pontos de fixação 1 e 2

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

O diagrama de corpo livre do dente submetido ao tratamento ortodôntico está apresentado na Fig. (7). Como a mola é considerada um corpo contínuo e as forças de atrito presentes são desprezíveis, os módulos das forças F e F' foram admitidas como sendo iguais.

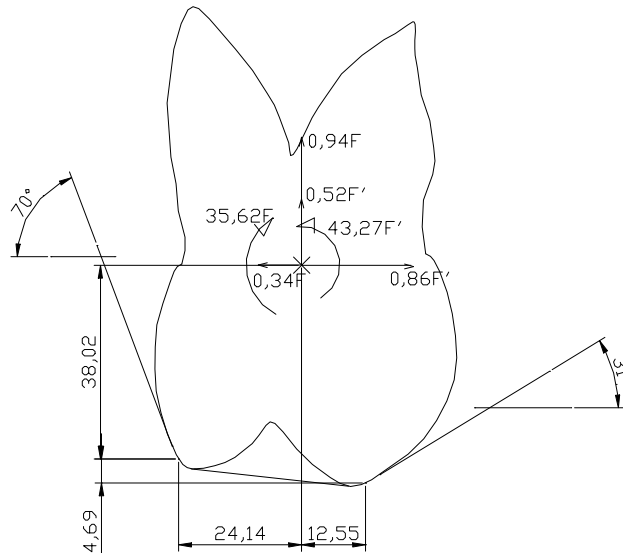


Figura 7 – Forças e Momentos transmitidos ao dente pelo aparelho ortodôntico

Através da análise do diagrama, visualizou-se que os esforços levariam o dente além da intrusão, à vestibularização, desconceituando o tratamento aplicado.

Diante desta avaliação, ficou confirmado que os tratamentos ortodônticos baseados em avaliações subjetivas não garantem a estabilidade e efetividade dos resultados.

Nas Fig. (8) e Fig. (9) estão ilustrados os pontos de fixação do aparelho obtidos para uma intrusão real, levando em consideração as variáveis geométricas obtidas do molde de gesso e da radiografia, respectivamente. Todas as medidas estão em milímetros.

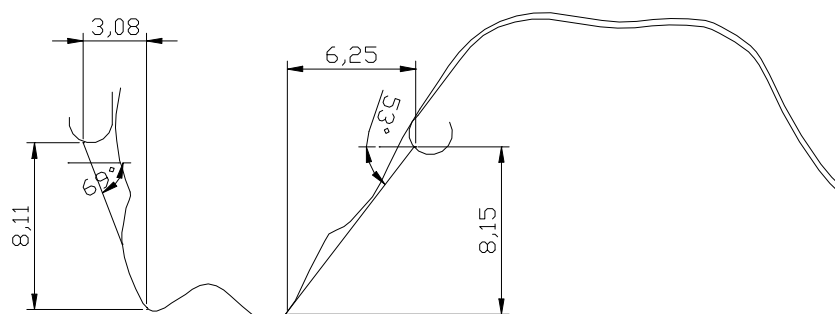


Figura 8 – Pontos de fixação do aparelho ortodôntico sob o molde de gesso

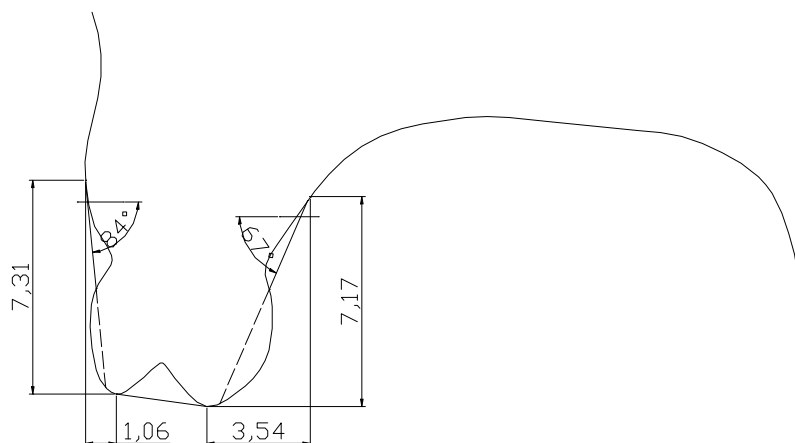


Figura 9 – Pontos de fixação do aparelho ortodôntico sob a radiografia

As diferenças entre os resultados mostrados pelas Fig. (8) e Fig. (9) existem principalmente pelo fato da radiografia exibir a massa óssea, enquanto o molde de gesso, a massa óssea acrescida pelo tecido. Para a fabricação do aparelho, foram considerados os valores obtidos sob o molde de gesso, uma vez que retrata melhor a realidade.

O tratamento foi iniciado com a instalação do aparelho removível superior associado a duas molas de NiTi com força de intrusão de 70g em cada dente. O ajuste da posição da mola foi feito de tal forma que a força passasse no centro da superfície oclusal dos primeiros molares no sentido méso-distal.

O aparelho foi ajustado para que todos os dentes inferiores tivessem contato com a cobertura de acrílico evitando assim a extrusão de algum elemento. Além disso, o aparelho devia ficar firmemente adaptado a fim de que não se deslocasse quando a força intrusiva fosse aplicada. O tempo de uso solicitado foi o maior possível, ou seja, deveria ser removido apenas para alimentação e higiene.

Após dois meses de uso, foi possível observar intrusão e, após cinco meses, foi alcançada a intrusão desejada, estabilizada por aparelho fixo colado de primeiro pré-molar a segundo molar de ambos os lados, associado a um fio de aço retangular passivo.

4. CONCLUSÕES

Um tratamento ortodôntico sem uma avaliação numérica exige tempo e custo biológico maiores para a sua conclusão. A aplicação de leis consagradas na Matemática e Física é uma ferramenta eficiente, mesmo que baseada em soluções simples, para problemas na Ortodontia, já que através do seu uso foi possível desenvolver com rapidez um aparelho que transmitisse ao dente os esforços necessários para a correção de sua posição.

Foram constatadas diferenças significativas entre os dados fornecidos pela radiografia e molde de gesso. Entretanto, verificou-se que a radiografia não retrata bem a realidade e que a adoção dos valores obtidos pelo molde de gesso seria mais apropriada.

A fusão da Mecânica e Ortodontia vêm favorecer o desenvolvimento de tecnologias novas e, conseqüentemente, melhores condições de trabalho e tratamento para os ortodontistas e pacientes.

5. REFERÊNCIAS

Ferreira, F.V., 1996, "Ortodontia - Diagnóstico e Planejamento Clínico", Ed. Artes Médicas, São Paulo, Brasil.

Proffit, W.R. e Fields, H.W., 1995, “Ortodontia Contemporânea”, Pancast Editorial, São Paulo, Brasil.
Bennett, J.C. e McLaughlin, R.P., 1994, “As Mecânicas do Tratamento Ortodôntico e o Aparelho Pré-ajustado”, Ed. Artes Médicas, São Paulo, Brasil.
Shigley, J.E. e Mischke, C.R., 1989, “Mechanical Engineering Design”, McGraw-Hill International Editions.

MATHEMATICAL SOLUTION FOR DETERMINATION OF TEETH MOTION IN ORTHODONTIC TREATMENTS

Augusta Cerceau Isaac Neta

PUC-Minas, Departamento de Engenharia Mecânica
Av. Dom José Gaspar, 500 – 30535-610 – Belo Horizonte, MG, Brasil
augusta@ig.com.br

Leonardo Gontijo

PUC-Minas, Departamento de Odontologia
Av. Dom José Gaspar, 500 – 30535-610 – Belo Horizonte, MG, Brasil

Prof. Hélio Henrique de Araújo Brito, M.Sc.

PUC-Minas, Departamento de Odontologia
Av. Dom José Gaspar, 500 – 30535-610 – Belo Horizonte, MG, Brasil

Prof. Jânes Landre Júnior, D.Sc.

PUC-Minas, Departamento de Engenharia Mecânica / Mecatrônica
Av. Dom José Gaspar, 500 – 30535-610 – Belo Horizonte, MG, Brasil
janes@pucminas.br

***Abstract.** Sometimes, Orthodontics has been based on subjective assessments for the choice of methodology to be applied to the treatments. However, in more difficult situations, applications of mathematical and physical knowledge have been extremely necessary for the conversion of the results into correct solution. In a certain situations, the adoption of analysis methods based on empirical knowledge has been efficient. Nevertheless, some procedures carried out by Orthodontics haven't provided satisfactory results. In this way has seen the necessity of developing a technique applied to Orthodontics that guarantees stability and effectiveness of the results. The aim of this work was develop a technique based on numerical studies for determination of appropriate geometry of orthodontic appliance. Mathematical calculations was used for acquisition of good points to fix the appliance and, consequently, its geometric perfection, aiming for the desired results. Based on this study, it's possible to develop orthodontic appliance that transmits to teeth only beneficial stresses, avoiding adverse effects.*

***Keywords.** Biomechanical, mechanical of solid, orthodontic treatments.*