

ANÁLISE EXPERIMENTAL ESTÁTICA E DINÂMICA DA DEFORMAÇÃO DE ELÁSTICOS ORTODÔNTICOS ATRAVÉS DE SISTEMA DE AQUISIÇÃO E TRATAMENTO DE IMAGEM ¹

*Roberto Márcio Blom Oliveira ²
Roberto Márcio de Andrade ³*

Resumo

O tratamento ortodôntico é baseado no princípio de aplicação prolongada de uma força de tração em um dente. A verificação da intensidade de força auxilia o ortodontista no tratamento permitindo-lhe empregar a força necessária para determinado movimento. A relação tensão-deformação dos elásticos influencia nos resultados do tratamento e no controle biomecânico. A literatura apresenta poucos estudos quantitativos sobre a deformação desses elásticos e o comprometimento dos resultados esperados in vivo. Esses elásticos apresentam alterações de difícil controle e monitoramento nas forças desejadas para obtenção da movimentação dentária nos primeiros minutos de uso, em função da temperatura da boca, pH da saliva, microbiota oral e movimentação durante a fala. O objetivo deste trabalho é apresentar uma metodologia para análise da deformação estática e da deformação dinâmica de elásticos ortodônticos de origem nacional e importada, através de uma avaliação experimental, utilizando um sistema de aquisição e tratamento de imagem de baixo custo e um sistema de simulação de abertura e fechamento de boca, acessível a qualquer profissional da área de odontologia. Os resultados permitiram a avaliação da evolução da deformação dos elásticos ortodônticos no tempo para cargas estáticas e a interferência de ciclos de estiramentos e relaxação dos elásticos no comportamento do material. Foi possível verificar a tendência de estabilização da deformação na primeira hora de teste estático e a tendência de deformação progressiva dos elásticos em teste dinâmico. Observou-se, também, o tempo necessário para a ruptura do material em teste dinâmico, permitindo uma comparação entre as marcas nacional e importada.

Palavras-chave: Elástico ortodôntico; Deformação elástica e plástica; Sistema de aquisição e tratamento de imagem; Teste estático e dinâmico.

¹ Trabalho a ser apresentado no 60º Congresso Anual - ABM - 2005, de 25 a 28 de julho de 2005, local: Minas Centro – Belo Horizonte - MG - Brasil.

² Engenheiro Mecânico, Mestrando do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica da UFMG

³ Engenheiro Mecânico, Mestre, Doutor, Professor do Departamento de Engenharia Mecânica da UFMG.

1 INTRODUÇÃO

O tratamento ortodôntico é baseado na aplicação prolongada de uma força de tração em um dente com o auxílio de elásticos, fios ortodônticos, molas de aço inoxidável, entre outros, a qual acarretará no deslocamento do dente. Nesse processo, o osso alveolar é absorvido na região onde a raiz comprime o ligamento periodontal, o que acarreta a formação óssea na região contrária à compressão.

O uso de elásticos para correção ortodôntica é amplo, mas poucas são as pessoas que verificam a intensidade de força exercida por eles, durante seu uso no tratamento. Essa verificação auxilia o ortodontista no tratamento permitindo-lhe saber a força necessária para determinado movimento. Constata-se, entretanto, que os elásticos perdem muito de sua capacidade de tração durante o uso.

Os elásticos ortodônticos, Figura 1, são utilizados em diversas técnicas de correção de maloclusão, mas seus fabricantes não fornecem as informações necessárias que permitam ao profissional o seu uso com confiabilidade e segurança. Faltam nas embalagens informações como: fórmula química, componentes, prazo de validade, instruções sobre armazenagem adequada e manuseio.

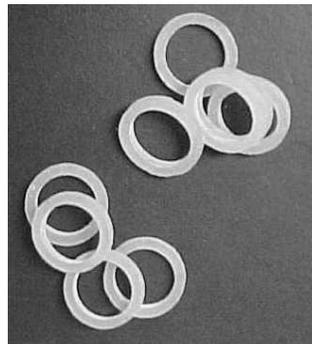


Figura 1. Elásticos ortodônticos intraorais do tipo médio com 7,9 cm de diâmetro interno.

A literatura apresenta poucos estudos quantitativos sobre a deformação dos elásticos e o comprometimento dos resultados esperados *in vivo*, (BURSTONE, 1989, RICKETTS, 1991). Os elásticos ortodônticos apresentam alterações de difícil controle e monitoramento nas forças desejadas para obtenção da movimentação dentária nos primeiros minutos de uso em função da temperatura da boca, pH da saliva, microbiota oral e movimentação durante a fala, (PAKHAN, 2000).

O desafio para o ortodontista é impor suficiente pressão para estimular a atividade celular sem ocluir o suprimento vascular no periodonto. Observa-se que o ortodontista deforma os elásticos ortodônticos para obtenção de força de acordo com o movimento dentário desejado.

O objetivo deste trabalho é apresentar uma metodologia experimental para análise das deformações geradas por esforços estáticos e dinâmicos em elásticos ortodônticos de origem nacional (N) e importada (I), utilizando um sistema de aquisição e tratamento de imagem de baixo custo e um sistema de simulação de abertura e fechamento de boca, acessíveis a qualquer profissional da área de odontologia.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

O sistema de medição por aquisição e tratamento de imagem no visível de baixo custo, proposto no presente trabalho, é apresentado na Figura 2. Este sistema reduz a dependência da ação do operador, facilita a operação, mantém as informações para comparações futuras, garantindo assim uma maior confiabilidade metrológica.

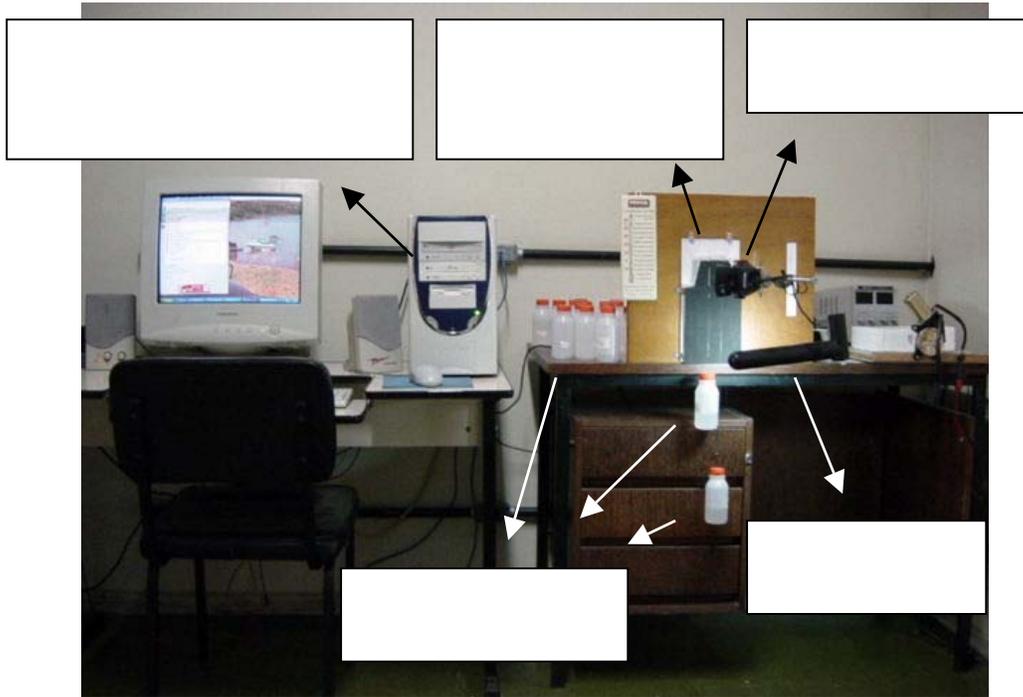


Figura 2. Sistema de medição por aquisição e tratamento de imagem no visível.

O equipamento é formado por:

- a) base de acrílico acoplada a uma base de madeira;
- b) quatro ganchos de aço inoxidável com 25 mm de comprimento, contendo *brackets* ortodônticos da marca MORELLI;
- c) câmera de vídeo *webcam* Creative Go Es, com resolução de 640 x 480 pixels;
- d) PC contendo *software* de aquisição de imagem (*webCam Go Control*) e *software* de tratamento de imagem (*Image-Pro Plus* versão 3.2);
- e) luminária contendo lâmpada fria;
- f) garrafas plásticas de água com pesos diferentes;
- g) linha de Nylon de alta resistência;
- h) termômetro com escala de: -10 a 50 °C \pm 0,5.

Utilizou-se para medição estática, elásticos ortodônticos retirados diretamente das embalagens originais, e elásticos ortodônticos submetidos a simulação dinâmica de abertura e fechamento de boca. Os padrões de força foram de 19,62 cN a 196,2 cN, com variação de 19,62 cN.

No teste estático, as extremidades dos elásticos foram colocadas nos *brackets* ortodônticos e as diferentes cargas foram aplicadas, por uma hora, nos ganchos de aço inoxidável. As imagens do elástico estirado foram capturadas e digitalizadas numa frequência inicial de 5 minutos. Após 20 minutos de teste, a frequência foi alterada para

10 minutos. As imagens foram processadas para medição do estiramento gerado. Uma primeira imagem com carga de 12,7 cN foi capturada, gerando um estiramento inicial de referência com acomodação geométrica do elástico. Ao final do teste, essa mesma carga é utilizada para outro estiramento do mesmo elástico, o que permite avaliar se houve uma deformação plástica do material.

Foram testados elásticos intra-orais, intermaxilares, de látex, modelos nacional e importado, dos tipos leve, médio e pesado. Para cada tipo e modelo de elástico foram utilizadas seis amostras. O modelo leve recebeu carga de 58,8 cN o modelo médio recebeu carga de 78,5 cN e o modelo pesado recebeu carga de 157 cN.

No processo de tratamento a imagem original, no formato JPEG, colorida, foi transformada para padrão escala de cinza (8 bits). Em seguida a imagem foi binalizada (preto e branco) para facilitar a definição dos pontos de referência.

A contagem do número de pixels entre os pontos definidos pelos *brackets* foi realizada pela função de medição *Line Profile* do Image ProPlus. Desta forma, foi obtido o número de pixels do elástico deformado pela diferença entre o valor medido e o de referência (Figura 3).

O experimento foi realizado em ambiente com temperatura média de $(20 \pm 0,5)^\circ\text{C}$ e iluminação adequada e constante, com o auxílio de uma luminária com lâmpada fria.

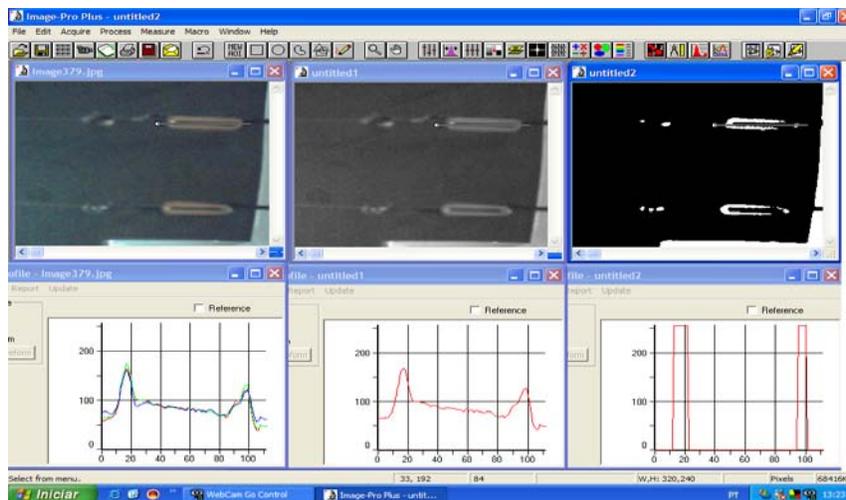


Figura 3. Etapas do processo de tratamento da imagem: imagem original, imagem em escala de cinza e imagem binalizada.

A calibração do sistema de medição proposto foi realizada utilizando-se o critério de comparação entre o valor conhecido do bloco padrão (25 mm) e o número de pixels obtidos por meio de software (125 pixels). O resultado da calibração forneceu a dimensão de 0,2 mm por pixel.

O sistema de simulação do uso do elástico ortodôntico é apresentado na Figura 4. O sistema foi concebido para simular a abertura e o fechamento da boca de um paciente da ortodontia, pois os elásticos testados são para uso intermaxilar no tratamento ortodôntico. Este sistema é formado por uma base de madeira para fixação da caixa retangular de acrílico (160 x 65 x 55 mm), contendo quatro ganchos de aço inoxidável com *brackets*, da marca MORELLI, soldados na sua extremidade, dois rolamentos de esfera (PFI – 627-2RS C3), uma haste cilíndrica de 22 mm de diâmetro,

também de acrílico, com o formato de um virabrequim de motores automotivos, um motor de rotação variável de 12 volts, uma fonte de tensão e corrente variáveis e isopor para isolamento térmico.



Figura 4. Sistema dinâmico de simulação de abertura e fechamento de boca.

A haste de acrílico (virabrequim) permitiu reproduz o movimento da mandíbula em várias direções. A variação da tensão do motor elétrico gerou uma variação na rotação do motor e, conseqüentemente, uma variação no ciclo de estiramentos dos elásticos, simulando a freqüência na qual o paciente abre e fecha a boca.

Para o teste dinâmico, foram utilizadas quatro amostras de cada tipo e modelo de elástico. Após o funcionamento do motor com 32 rpm por 30 minutos, os elásticos foram retirados dos *brackets*, e medidos. Desse modo, avaliou-se o comportamento do elástico ortodôntico com simulação de uso em meio seco.

A repetitividade, a incerteza do bloco padrão e a resolução limitada são utilizadas para o cálculo da incerteza expandida ($U_{95\%}$) do sistema de medição (TAB.1). O valor calculado foi de 0,2 mm.

3 RESULTADOS

Os resultados apresentados, a seguir, têm como objetivo a validação do equipamento e da metodologia para análise da deformação estática de elásticos ortodônticos utilizando um sistema de aquisição e tratamento de imagem.

A Tabela 1 apresenta as deformações médias dos elásticos ortodônticos nacional e importado, em teste estático, com cargas específicas dentro da faixa de trabalho de cada tipo e em diferentes instantes.

A Tabela. 2 apresenta as deformações médias dos elásticos ortodônticos nacional e importado, em teste dinâmico.

Tabela 1. Deformações médias dos elásticos ortodônticos em teste estático.

Tipo de elástico	Carga (cN)	Modelo	Tempo (min)									
			0	5	10	15	20	30	40	50	60	
Leve	58,8	N	9.3	9.8	9.9	9.9	10.0	10.1	10.1	10.1	10.1	
		I	10.1	11.6	11.9	12.1	12.2	12.4	12.4	12.4	12.5	
Médio	78,5	N	6.0	6.3	6.3	6.4	6.4	6.4	6.4	6.4	6.4	
		I	6.9	7.8	7.8	8.0	8.0	8.2	8.2	8.2	8.3	
Pesado	157	N	11.9	12.5	12.6	12.6	12.7	12.9	12.9	12.9	12.9	
		I	8.0	8.9	9.1	9.1	9.3	9.4	9.4	9.4	9.6	

Tabela 2. Deformações médias dos elásticos ortodônticos em teste dinâmico.

Tipo de elástico	Carga (cN)	Modelo	Tempo (min)			
			30	60	90	120
Leve	58,8	N	9.9	10.2	10.2	10.3
		I	13.4	13.9	14.4	14.9
Médio	78,5	N	7.4	7.5	7.5	7.7
		I	7.9	8.3	8.5	8.7
Pesado	157	N	13.8	14.1	14.2	14.5
		I	9.4	9.7	10.0	10.2

O Gráfico 1 mostra a tendência do comportamento da deformação em função do tempo dos elásticos do tipo leve, em teste estático e dinâmico. A carga aplicada nos elásticos foi de 58,8 cN. Os dois elásticos apresentaram maior variação na deformação nos cinco primeiros minutos de aplicação de carga. O elástico nacional apresentou um comportamento mais homogêneo comparado com o elástico importado. O elástico nacional apresentou uma tendência à estabilização da deformação em teste estático e uma deformação progressiva com rompimento em 3 horas e 30 minutos de experimentação, enquanto o elástico importado rompeu-se com 4 horas e 30 minutos. As deformações apresentadas pelo elástico importado foram maiores que as deformações apresentadas pelo nacional. O elástico importado apresentou maior variação na deformação comparando os testes estático e dinâmico, indicando uma interferência dos estiramentos cíclicos no comportamento do material.

O Gráfico 2 mostra a tendência do comportamento da deformação em função do tempo dos elásticos do tipo médio, em teste estático e dinâmico. A carga aplicada nos elásticos foi de 78,5 cN. Os dois elásticos apresentaram maior variação na deformação nos cinco primeiros minutos de aplicação de carga. O elástico nacional apresentou um comportamento mais homogêneo comparado com o elástico ortodôntico importado. O elástico nacional apresentou uma tendência à estabilização da deformação em teste estático e uma deformação progressiva com rompimento do elástico em 4 horas de experimentação, enquanto o elástico importado rompeu-se com 2 horas e 40 minutos. As deformações apresentadas pelo elástico importado foram maiores que as apresentadas pelo elástico nacional. O elástico nacional apresentou maior variação na deformação comparando os testes estático e dinâmico. Isso indica uma interferência dos estiramentos cíclicos no comportamento do material.

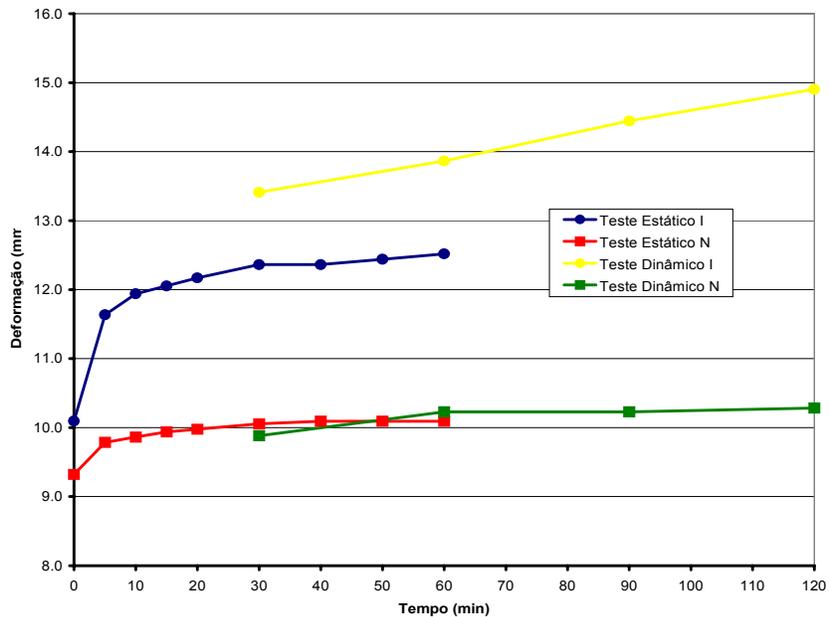


Gráfico 1. Deformação em função do tempo de elásticos ortodônticos nacional e importado do tipo leve, em teste estático e dinâmico, com carga de 58,8 cN.

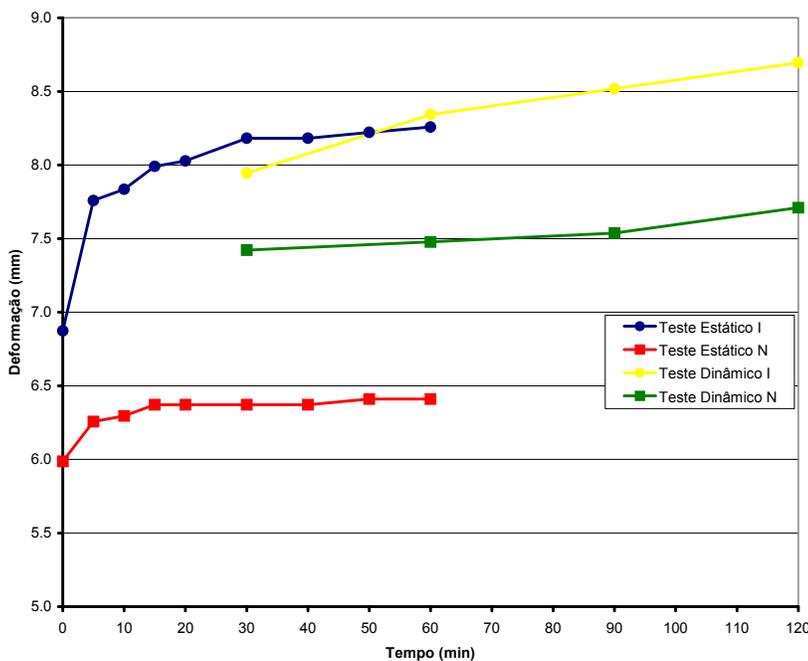


Gráfico 2. Deformação em função do tempo de elásticos ortodônticos nacional e importado do tipo médio, em teste estático e dinâmico, com carga de 78,5 cN.

O Gráfico 3 mostra a tendência do comportamento da deformação em função do tempo dos elásticos ortodônticos nacional e importado do tipo pesado, em teste estático e dinâmico. A carga aplicada nos elásticos foi de 157 cN. Os dois elásticos apresentaram maior variação na deformação nos cinco primeiros minutos de aplicação

de carga. O elástico nacional apresentou um comportamento mais homogêneo comparado com o importado. Ambos os elásticos apresentaram uma tendência à estabilização da deformação em teste estático e uma deformação progressiva com rompimento em 4 horas de experimentação. As deformações apresentadas pelo elástico nacional foram maiores que as apresentadas pelos elásticos importados. Com os elásticos do tipo leve e médio as deformações do nacional foram menores que do importado. Isso indica uma diferença não só entre nacional e importado como também entre tipos leve, médio e pesado. O elástico nacional apresentou maior variação na deformação comparando os testes estático e dinâmico. Isso indica uma interferência dos estiramentos cíclicos no comportamento do material.

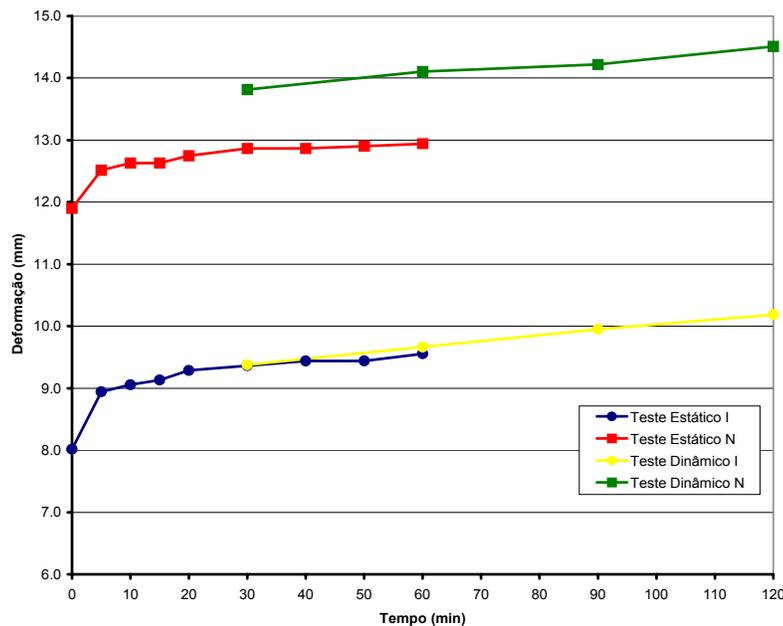


Gráfico 3. Deformação em função do tempo de elásticos ortodônticos nacional e importado do tipo pesado, em teste estático e dinâmico, com carga de 157 cN.

4 CONCLUSÃO

Foi projetada e construída uma bancada de testes de tensão-deformação de elásticos ortodonticos. Foi proposto um modelo para análise experimental da deformação estática, baseada em um sistema de aquisição e elaboração de imagem. Foi proposto um modelo para simulação experimental de abertura e fechamento de boca. Foram analisados elásticos intraorais e intermaxilares de látex, do modelo nacional e importado dos tipos leve, médio e pesado

A metodologia proposta permitiu avaliar a evolução da deformação dos elásticos no tempo para cargas estáticas e a interferência de ciclos de estiramentos e relaxação dos elásticos no comportamento do material. Por meio do teste estático, verificou-se a tendência de estabilização da deformação na primeira hora de teste para todos os elásticos. O teste dinâmico apresentou um resultado diferente do teste estático, pois os elásticos testados deformaram-se progressivamente em direção à ruptura. Os elásticos

submetidos ao teste dinâmico sofreram ruptura bem antes do tempo utilizado pelos ortodontistas na substituição do elástico *in vivo*, indicando irregularidades nos produtos.

O sistema reduz a interferência do operador nos resultados, o que garante maior confiabilidade metrológica.

De acordo com a análise de incerteza do sistema de medição proposto, conclui-se a grande variabilidade de fabricação do material não depõe contra a qualidade das medições realizadas.

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

1. BURSTONE, C. J. Mechanics of the Segmented Arch Technique - Angle Orthod, v. 36, n 2, p. 99-120, 1989.
2. PAKHAN, K. et al Calibration of Force Extension and Force Degradation Characteristics of Orthodontic Latex Elastics - American Journal Orthod, v. 118, n 3, p. 280-287, 2000.
3. OLIVEIRA, E. J. Biomecânica para Ortodontistas - Grupo da Bioengenharia da UFMG, Vol. 1, p. 121-124, 1999.
4. PAYNE, George S. The effect of intermarillary elastic force on the temporomandibular articulation in the growing macaque rnonkey” - Am.J.Orthodontics, Saint Louis, v. 60 n. 5, p. 491-504, nov. 1971.
5. NELSON, B. G. What does extra-oral anchorage accomplish? Am. J. Orthod. Dentofacial Orthop., St. Louis, v. 38, p. 422-434, 1952.
6. MOYERS, Robert E. – Ortodontia. 4. ed. Rio de Janeiro:Guanabara Koogan, 1988. p.260-264.
7. PROFFIT, W. R. et al. Ortodontia Contemporânea – 2. ed. Rio de Janeiro: Editora Guanabara Koogan S.A., 1995.
8. RICKETTS, M.R. et al. Técnica bioprogressiva 4. ed. Editora Médica Panamericana, p.33-35,1991.
9. LIU, C. C. et al. The Effect of Repeated Stretching on the Force Decay and Compliance of Vulcanized cis-Polyisoprene Orthodontic Elastics - Dent Mater , vol. 9, p. 37-40, 1993.
10. KERSEY, Michael L. Comparison of Dynamic and Static Testing of Latex and Nonlatex Orthodontic Elastics. The EH Angle Education and Research Foundation. v.73, n.2, 2002.
11. CANEVAROLO, Sebastião V., Jr., Ciência dos Polímeros: um texto básico para tecnólogos e engenheiros. –, São Carlos: Artiliber Editora Ltda, SP, 2002.
12. RUSSELL, K. A., In vitro assessment of the mechanical properties of latex and non-latex orthodontic elastics. American Journal Orthodontic Dentofacial Orthopedic, Canada, v.120 p.36-44, 2001.
13. NEWMAN, George V., Biophysical Properties of Orthodontic Rubber Elastics. Journal of the New Jersey State Dental Society. Camden, New Jersey, v.35, p. 95-103, 1963.
14. GONÇALVES, Armando Albertazzi Jr. Metrologia - Parte I. Departamento de Engenharia Mecânica da UFSC, 2001.

EXPERIMENTAL ANALYSIS OF ORTHODONTICS ELASTICS UNDER STATIC AND DYNAMIC LOADING BY IMAGE ACQUISITION AND TREATMENT SYSTEM ⁴

Roberto Márcio Blom Oliveira ⁵
Roberto Márcio de Andrade ⁶

Abstract

Orthodontic treatment is based on the principle of prolonged application of a force of traction on a tooth by way of the use fixed and mobile appliances. Verification of the intensity of the force helps the orthodontist in the treatment, letting him the necessary force is being applied for a determined movement. The tension-deformation ratio of orthodontic elastics influences treatment results and allows for biomechanic control. In literature there are few quantitative studies on these elastics' deformation and compromising of expected in vivo results. The goal of this paper is to present a methodology for static deformation and dynamic deformation analysis of domestic and imported orthodontic elastics through an experimental evaluation, using a low cost image acquisition and treatment system and a mouth opening and closing simulation system accessible to any professional in the dentistry area. Results permitted an orthodontic elastic deformation evolution evaluation over time for static loads and the interference of the elastics' stretching and relaxation cycles in behavior of the material. It was possible to verify the tendency for deformation stabilization in the first hour of the static test and the tendency for the elastics' progressive deformation in the dynamic test. The time necessary for rupture of the material in the dynamic test was also observed, which permitted a comparison between domestic and imported brands. Thus, this work has shown a range of tests that permit a rapid and simple evaluation of orthodontic elastics.

Key-words: Orthodontic elastic; Elastic and plastic deformation; Image acquisition and treatment system; Static and dynamic test.

⁴ Paper present to 60th Annual Congress - ABM - 2005 , 25 to 28 of July of 2005, Minas Centro – Belo Horizonte - MG - Brazil..

⁵ Engenheiro Mecânico, Mestrando do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica da UFMG

⁶ Engenheiro Mecânico, Mestre, Doutor, Professor do Departamento de Engenharia Mecânica da UFMG.