

Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo

Rodrigo Martins

**Efeito do Polimento na Resistência ao Atrito e no Momento de
Torção de Braquetes Cerâmicos**

**São Paulo
2017**

Rodrigo Martins

Efeito do Polimento na Resistência ao Atrito e no Momento de Torção de Braquetes Cerâmicos

Dissertação de Mestrado apresentada ao Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo - IPT, como parte dos requisitos para a obtenção do título de Mestre em Processos Industriais.

Data da aprovação ____ / ____ / ____

Prof. Dr. Catia Fredericci (Orientador)
IPT – Instituto de Pesquisas Tecnológicas
do Estado de São Paulo

Membros da Banca Examinadora:

Prof. Dr. Catia Fredericci (Orientador)
IPT – Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo

Prof. Dr. Daniel Rodrigues (Membro)
Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo - IPT

Prof. Dr. Denis Boing (Membro)
UNIFEBE - Universidade Federal de Santa Catarina

Rodrigo Martins

Efeito do Polimento na Resistência ao Atrito e no Momento de Torção de Braquetes Cerâmicos

Dissertação de Mestrado apresentada ao Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo - IPT, como parte dos requisitos para a obtenção do título de Mestre em Processos Industriais.

Área de Concentração: Desenvolvimento e Otimização de Processos Industriais.

Orientadora: Profa. Dra. Catia Fredericci

SÃO PAULO
NOVEMBRO/2017

Ficha Catalográfica
Elaborada pelo Departamento de Acervo e Informação Tecnológica – DAIT
do Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo - IPT

M386e

Martins, Rodrigo

Efeito do polimento na resistência ao atrito e no momento de torção de braquetes cerâmicos. / Rodrigo Martins. São Paulo, 2017.

143 p.

Dissertação (Mestrado em Processos Industriais) - Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo. Área de concentração: Desenvolvimento e Otimização de Processos Industriais.

Orientador: Profa. Dra. Catia Fredericci

1. Braquete cerâmico 2. Polimento 3. Sinterização 4. Resistência ao atrito 5. Rugosidade 6. Tecnologia do pó 7. Tese I. Fredericci, Catia, orient. II. IPT. Coordenadoria de Ensino Tecnológico III. Título

18-13

CDU 621.762(043)

DEDICATÓRIA

Dedico primeiramente a Deus que concedeu o dom e a oportunidade de poder viver e contemplar as maravilhas deste mundo, aprendendo cada dia mais sobre a ciência e toda forma de vida.

Dedico também aos meus colegas de trabalho das empresas Inser e Morelli, a toda equipe de processo e laboratório, que tanto foram parceiros no sucesso deste trabalho, colaborando com os ensinamentos e a amizade. Aos irmãos Oraci e Antônio Morelli que me proporcionaram a oportunidade de trabalhar na Morelli Ortodontia.

À minha família que tanto me apoiou em todos os momentos da minha vida, dando-me força para seguir.

AGRADECIMENTOS

À empresa INSER em nome do Sr. Antônio Morelli que tanto me apoiou.

À minha orientadora, Professora Dra. Catia Fredericci pela orientação, apoio, amizade e por me proporcionar a oportunidade de conhecer, buscar e acreditar.

À Dra. Taeko Y. Fukuhara, do Laboratório de Corrosão e Proteção (LCP), do Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo (IPT) pelas análises de microscopia eletrônica de varredura.

Ao Prof. Dr. Denis Boing pelas análises de rugosidade.

À Empresa Acil & Weber, em nome do senhor Helder Oliveira pelas análises de densidade por picnometria de gás hélio.

Aos senhores Edson Silva e Frederico Drago da empresa Otec/Rösler Brasil que concedeu apoio nos testes com abrasivos e máquinas.

Aos senhores Nelson Maurici Antônio e Marcelo Cavalcante da empresa Opto Eletrônica – São Carlos - SP, que me orientaram sobre os polidores da Universal Photonics.

À Profa. Dra. Maria Cecília Salvadori do Laboratório de Filmes Finos do Departamento de Física da Universidade de São Paulo – Campus São Paulo – SP, pelas análises de microscopia de força atômica.

RESUMO

Há vários tipos de braquetes de diferentes materiais, principalmente de metais e cerâmica. Estes aparelhos ortodônticos atuam mecanicamente proporcionando a movimentação óssea alveolar entre tecidos duros e moles, por meio dos conjuntos entre elásticos, que mantêm presos os arcos sobre a cavidade (*slot*) dos braquetes. No *slot* ocorre o deslizamento do arco para a movimentação dos dentes. Os braquetes cerâmicos, à base de alumina translúcida, atendem à uma classe de linha estética e biocompatível com maior resistência ao desgaste e à coloração. Porém, a alumina possui limitação de fragilidade devido à maior dureza o que acaba potencializando o aumento de atrito com os arcos metálicos. Foram preparados braquetes de Al_2O_3 dopado com MgO , por moldagem por injeção, tratados a $1750\text{ }^\circ\text{C}$. Estes braquetes foram polidos para melhorar o aspecto estético. No entanto, não se conhece o efeito do polimento em propriedades como a força de atrito e o momento de torção nesses componentes ortodônticos. Dessa forma, coloca-se como objetivo desse trabalho analisar o efeito do polimento na força de atrito e no momento de torção de braquetes, utilizando como variáveis dois tipos de suspensões (diamante e sílica coloidal), assim como dois tipos de processos de polimento (disco centrífugo e tambor rotativo). Os ensaios de força de atrito e momento de torção foram realizados no conjunto, braquete + arco metálico (NiTi) + elástico, nas condições a seco e em saliva artificial. Os resultados mostraram que tanto a força de atrito estático (382,53 gf) quanto a do dinâmico (356,2 gf) foram maiores para o conjunto braquete/NiTi, cujos braquetes foram polidos com diamante em tambor rotativo. As forças de atrito estático e dinâmico do conjunto braquete/NiTi foram menores para o braquete não polido (controle), cujos valores são aproximadamente os mesmos que para os conjuntos polidos em diamante e em sílica coloidal em disco centrífugo. A força de atrito foi maior no sistema em saliva artificial (> 600 gf). Os parâmetros de rugosidade, como S_a e S_z , foram medidos, mas não foi observado uma relação clara entre eles e a força de atrito. O momento de torção (aproximadamente 60 N.mm) foi maior para os braquetes que foram polidos com diamante em tambor rotativo.

Palavras-Chave: Braquetes, superfície, sinterização, polimento, tecnologia do pó, atrito, rugosidade.

ABSTRACT

EFFECT OF POLISHING ON THE TENSILE STRENGTH AND TORSIONAL STRENGTH OF CERAMIC BRACKETS

There are several types of brackets of different materials, mainly metals and ceramics. These orthodontic appliances act mechanically by providing alveolar bone movement between hard and soft tissues through the elastic sets, which hold the archwires over the brackets. The archwires slip in the slot providing the movement of the teeth. Ceramic brackets based on translucent alumina meet a class of aesthetic and biocompatible line, with great resistance to wear and staining. However, the alumina has a limitation of brittleness due to the great hardness, which results in the increase of friction with the archwires. MgO-doped Al₂O₃ brackets were prepared by injection molding and were treated at 1750 °C. These brackets were polished to improve the aesthetic appearance. However, the effect of polishing on properties such as the friction force and torsion moment in these orthodontic components is not known. The objective of this work was to analyze the effect of polishing on the friction force and torsion moment in brackets, using two types of suspensions (diamond and colloidal silica) as well as two types of polishing process (centrifugal disc and rotary drum). The tests were performed under the set, bracket + archwire (NiTi) + elastic, under dry and under artificial saliva conditions. The results showed that both the static (382.53 gf) and dynamic (356.2 gf) friction force in dry system were higher for the bracket/NiTi, which brackets were diamond polished in a rotary drum. The static and dynamic friction forces of the bracket/NiTi set were lower for the unpolished brackets (control), whose values are approximately the same as for the brackets polished in diamond and colloidal silica in centrifugal disc. The roughness parameters Sa and Sz were measured, but a clear relation between them and the friction force could not be drawn from experimental data. The friction forces were higher for the systems in artificial saliva (> 600 gf). The torsion moment (approximately 60 N.mm) was higher for the system of the bracket polished with diamond in rotary drum.

Keywords: Brackets, surface, sintering, polishing, powder technology, friction, roughness.

1 INTRODUÇÃO

Os braquetes são importantes não somente para finalidade estética, mas também funcional, uma vez que as articulações e a musculatura facial são prejudicadas com o desalinhamento do dente. Há vários tipos de braquetes de diferentes materiais, principalmente de metal e cerâmica e são constituídos basicamente por partes, como mostra a Figura 1. O ligante (*bonding*) o mantém ligado ao dente, o arco passa de um braquete para outro e tem a função de pressionar os dentes, e o elástico (também chamado *o-ring*) fixa o braquete ao arco. Alguns tipos são denominados auto ligados e não necessitam de elástico. O arco pressiona os braquetes e os dentes, exercendo pressão constante que, ao longo do tempo, os movem para as posições corretas. A região onde passa o arco é chamada de *slot*, como mostra a Figura 1.

Figura 1- Tipos de braquetes (cerâmico e metálico) e partes que os compõem



Fonte: INDIAN ORTHODONTICS SOCIETY

O movimento ortodôntico dos dentes depende da mecânica de deslizamento do arco no *slot*, que provoca atritos tanto estático quanto dinâmico. ARASH et al. (2015) e PILLAI et al. (2014) reportam que o atrito entre o arco e o *slot* pode consumir até 60 % da força necessária para a movimentação dos dentes, dependendo da relação entre os materiais e as condições superficiais do *slot* do braquete e do arco. As forças de atrito podem, portanto, prejudicar o tratamento

resultando na torção dos fios, na inclinação dos dentes, na geração de espaços indesejáveis, por meio da ancoragem, e até mesmo na fratura dos braquetes.

Embora os braquetes metálicos, à base de aço inoxidável, sejam mais adequados em termos de propriedades mecânicas, eles apresentam o inconveniente do brilho metálico. Na tentativa de superar o efeito estético, para atender principalmente os adultos, surgiu na década de 1980 os braquetes cerâmicos à base de óxido de alumínio policristalino translúcido ou monocristalino transparente. Apesar de os braquetes cerâmicos serem biocompatíveis, apresentarem maior resistência química no meio bucal, e melhores propriedades ópticas, em relação aos metálicos, eles são mais duros e de um modo geral produzem maior força de atrito entre o *slot* e o arco metálico. Dessa forma, todo trabalho realizado no sentido de reduzir o atrito entre esses materiais é de suma importância para melhorar a eficiência do movimento dos dentes e do tratamento ortodôntico. Como os braquetes produzidos por sinterização de alumina apresentam defeitos superficiais como poros e rugosidades, um tratamento com agentes de polimento como diamante, por exemplo, pode melhorar o brilho deste tipo de braquete, aumentando o apelo estético, como comprovado em procedimentos realizados na empresa onde esse trabalho foi desenvolvido. No entanto, pelo nosso conhecimento, nenhum estudo foi realizado no sentido de estudar o efeito do polimento na força de atrito e no momento de torção em conjuntos braquetes polidos/arco metálico. Apesar de melhorar a estética, terá o polimento algum efeito nessas propriedades? Este é o objetivo principal deste trabalho.

6 CONCLUSOES

O desenvolvimento deste trabalho permitiu analisar o efeito do tipo de polimento e do tipo de suspensão de polimento na força de atrito e no momento de torção em braquetes cerâmicos de alumina policristalina. Após as etapas de processamento e análises de caracterizações, foi possível concluir que:

- A partir de análise de microscopia de força atômica, no modo contato intermitente, foi determinando Ra de 19,0 nm para a amostra de alumina sinterizada polida em sílica coloidal e de 394,5 nm para o mesmo tipo de amostra não polida. Dessa forma, mesmo a sílica coloidal apresentando menor dureza que a alumina houve um efeito no acabamento superficial da alumina quando de sua utilização;
- A força de atrito (382,53 gf) e o coeficiente de atrito (0,67) para o sistema braquete/arco NiTi, para os braquetes polidos com diamante em tambor rotativo, foram maiores do que os valores obtidos para o sistema braquete sem polimento/arco NiTi (348,67 gf e 0,47, respectivamente). O aumento de força de atrito foi de 12 %. Os valores de Sa para os braquetes polidos em diamante em tambor rotativo e os não polidos foram de 0,22 μm e 0,27 μm , respectivamente. Quando se compara o valor de Sa do arco NiTi de 0,173 μm , observa-se que é o valor mais próximo ao do braquete polido em diamante em tambor rotativo, podendo apresentar área de contato semelhante e pontos de contato que elevam a resistência de atrito em relação ao braquete não polido;
- As análises de microscopia eletrônica de varredura da superfície dos *slots* dos braquetes não polidos (controle) e dos braquetes polidos em diamante e sílica coloidal, mostraram resíduos na superfície, cuja composição elementar por EDS mostrou ser Si e C, provenientes dos materiais de polimento. No caso da superfície dos braquetes polidos com diamante em tambor rotativo, o teor de carbono (diamante) foi da

ordem de 26 %, o que também pode ter contribuído para o aumento de resistência ao atrito, já que o diamante é mais duro que a alumina;

- A literatura indica que superfícies polidas podem apresentar tensão de compressão, que pode ser determinada, entre outras, pela técnica de espectroscopia Raman. Neste trabalho, foram realizadas análises nas superfícies dos *slots* e da superfície superior dos braquetes, polidos e não polidos, e nenhuma diferença nos resultados foi encontrada que indicasse a presença de tensão residual nos braquetes polidos;
- O momento de torção (62 N.mm) do braquete polido com diamante em tambor rotativo foi maior que o do braquete não polido (50 N.mm), não havendo diferenças significativas entre os valores de torção dos braquetes polidos em disco centrífugo com diamante e sílica coloidal (também da ordem de 50 N.mm). Como não foi observada tensão de compressão na superfície das amostras polidas, não foi possível explicar o aumento de momento de torção do braquete polido em função dessa propriedade. Algumas análises realizadas por microscopia eletrônica de varredura indicam que a superfície dos *slots* não polidos apresentam mais defeitos (poros), em relação às amostras polidas. No entanto, é necessário um número significativo de análises microestruturais, em diferentes amostras com os mesmos processos de polimento, para garantir uma análise estatística confiável. Novos estudos devem ser realizados para constatar essa hipótese, ou seja, de que o menor número de defeitos na superfície são responsáveis pelo aumento do momento de torção;
- Apesar de ter aumentado o atrito, o polimento em tambor rotativo resultou em aumento significativo (~ 20 %) de momento de torção, que também é um dos problemas atuais de uso de braquetes estéticos.

- Este trabalho resultou na modificação do sistema de polimento, de disco centrífugo para tambor rotativo, na empresa em que parte desta pesquisa foi desenvolvida.
- Considerando o objetivo desse trabalho que foi verificar se o polimento, que melhora a estética do braquete, tem efeito nas propriedades como força de atrito e momento de torção, foi possível verificar que sim em relação ao braquete não polido, e com relação ao tipo de suspensão e tipo de polimento.

7 SUGESTOES PARA TRABALHOS FUTUROS

- Análise microscópica, por microscopia eletrônica de varredura, em mais amostras de braquetes polidos e não polidos, para associar ou não o efeito de defeitos na superfície de *slots* com o momento à torção.

REFERÊNCIAS

AHN, S.; PARK, S.J.; LEE, S.; ATRE,S.V.; GERMAN, R.M. Effect of powders and binders on material properties and molding parameters in iron and stainless steel powder injection molding process. **Powder Technology**, 193, 2, 2009, p. 162-169.

ALFONSO, M.V.; ESPINAR. E.; LLAMAS J.M.; et al. Friction coefficients and wear rates of different orthodontic archwires in artificial saliva. **Journal of Materials Science-Materials in Medicine**, 24, 5, 2013, p.1327-1332.

ANDREASEN, G.F.; QUEVEDO, F.R. Evaluation of friction forces in 0.022x0.028 edgewise bracket in-vitro. **Journal of Biomechanics**, 3, 2, 1970, p. 151-160.

ARASH, V.; RABIEE, M.; RAKHSHAN, V.; et al. In vitro of frictional forces of two ceramic orthodontic brackets versus a stainless steel bracket I combination with two types of archwires. **Journal of Orthodontic Science**, 4, 2, 2015, p. 42-46.

ARICI, N.; AKDENIZ B.S.; ARICI, S. Comparison of the frictional characteristics of aesthetic orthodontic brackets measured using a modified in vitro technique. **Korean Journal of Orthodontics**, 45, 1, 2015, p. 29-37.

ARTICOLO, L.C.; KUSY, R.P. Influence of angulation on the resistance to sliding in fixed appliances. **American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics**, 115, 1, 1999, p. 9-51.

BAKER, K.L.; NIEBERG L.G.; WEIMAR, A.D.; HANNA, M. Frictional changes in force values caused by saliva substitution. **American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopaedics**, 91, 4, 1987, p. 316-320.

BARROS, M.B.; SILVA, W.M.; MELO, J.D.B. Efeito dos parâmetros de teste sobre o mecanismo de desgaste predominante em ensaios de desgaste abrasivo. **XII Congresso Nacional de Estudantes de Engenharia Mecânica**, Ilha Solteira – SP., Anais do CREEM, 2005, p.1-2.

BEER, F.P.; JOHNSTON, E.R.; DEWOLF, J.T.; MAZUREK, D.F. **Mechanics of Materials**, 6th Ed., McGrawHill, 2009, 832 p.

BENNISON, S.J.; HARMER, M.P. Grain-growth kinetics for alumina in the absence of a liquid-phase. **Journal of the American Ceramic Society**, 68, 1, 1985, p. C22-C24.

BEER, F.P.; JOHNSTON JR, E.R.; MAZUREK, D.F; EISENBERG, E.R. **Mecânica Vetorial para engenheiros**, Estática, 9^o edição 2012, p.414.

BERNAL, E.; KOEPE, B.G. Residual stress in machined MgO Crystals. **Journal of the American Ceramic Society**, 56, 1973, p. 634-639.

BISHARA, S.E.; ORTHO, D.; OLSEN, M.E., et al. Evaluation of debonding characteristics collapsible ceramic bracket. **American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics**, 112, 5, 1997, 552-559.

BRAGA, C.P.; VANZIN, G.D.; MARCHIORO, E.M.; BECK, J.C.P. Avaliação do coeficiente de atrito de braquetes metálicos e estéticos com fios de aço inoxidável e beta-titânio. **Revista Dental Press de Ortodontia e Ortopedia Facial**, 9, 2004, p. 70-83.

BRITO JR., V.S; URSI, W.J.S. O aparelho pré-ajustado: sua evolução e suas prescrições. **Revista Dental Press de Ortodontia e Ortopedia Facial**, 11, 3, 2006, p.104-156.

BURROW, S.J. Friction and resistance to sliding in orthodontics: A critical review. **American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics**, 135, 4, 2009, P. 442-447.

CACCIAFESTA V.; SFONDRINI M.F.; SCRIBANTE A.; KLERSY C.; et al. Evaluation of friction of conventional and metal-insert ceramic brackets in various bracket-archwire combinations. **American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics** – 124, 4, 2003, p. 403-9.

CALLISTER, W.D. **Materials Science and Engineering – An Introduction**, 7th Ed., John Wiley & Sons, 2008, 975 p.

CHA, J.Y.; KIM K.S.; HWANG C.J. Friction of conventional and silica-insert ceramic brackets in various bracket-wire combinations. **Angle Orthodontist**, 77, 1, 2007, p. 100-107.

CHO, S.J; KIM, K.H.; KIM, D.J.; et al. Abnormal Grain Growth at the Interface of Centrifugally Cast Alumina Bilayer during Sintering. **Journal of the American Ceramic Society**, 83, 2000, p. 1773-1776.

CIÊNCIA DOS MATERIAIS MULTIMÍDIA, site financiado pela FINEP, CETEC, REDEMAT. <http://www.cienciadosmateriais.org/>, acessado em 10/01/2017.

COBLE, R.L. Sintering crystalline solids. 1. Intermediate and final stage diffusion models. **Journal of Applied Physics**, 32, 5, 1961, p.787-792.

COBLE, R.L. Sintering crystalline solids. 2. Experimental test of diffusion models in

powder compacts. **Journal of Applied Physics**, 32, 5, 1961, p.793-799.

COOK, R.F.; LAWN B.R.; DABBS T.P.; CHANTIKUL B. Effect of machining damage on the strength of a glass ceramic. **Journal of the American Ceramic Society**, 64, 9, 1981, p. C121-C122.

DE QUEIROZ, G.M.O; SILVA L.F.; FERREIRA, J.T.L.; GOMES, J.A.C.P; SATHLER L. Comportamento eletroquímico e estabilidade de pH de salivas artificiais para testes de corrosão – **Brazilian Oral Research**, 21, 3, 2007, p. 209-215.

DENTALCOMPARE – TOP PRODUCT – BEST PRACTICES -

<https://www.dentalcompare.com/4727-Ceramic-Brackets/3195587-Clarity-SL-Self-Ligating-Ceramic-Brackets/>. acesso em: 02/10/2017.

DICKSON, J.; JONES, S. Frictional characteristics of a modified ceramic bracket. **Journal of Clinical Orthodontics**, 30, 9, 1996, p. 516-518.

DOWNING, A.; McCABE, J.F.; GORDON, P.H. The effect of artificial saliva on the frictional forces between orthodontic brackets and archwires. **British Journal of Orthodontics**, 22, 1, 1995, p.41-46.

DRUMMER, D.; MESSINGSCHLAGER, S. Ceramic injection molding material analysis, modeling and injection molding simulation. **Proceedings of PPS-29**, 2014, p. 582-586.

ERKALFA, H.; MISIRLI, Z.; BAYKARA,T. Effect of additives on the densification and microstructural development of low-grade alumina powders. **Journal of Materials Processing Technology**, 62, 1-3, 1996, P. 108-115.

EURO INOX, 2014. Roughness measurement of stainless steel surfaces, http://www.worldstainless.org/Files/issf/non-image-files/PDF/Euro_Inox/RoughnessMeasurement_EN.pdf, acesso em: 02/10/2017.

FRANCISCO JR., W.E.; FRANCISCO, W. Proteínas: Hidrólise, precipitação e um tema para o ensino de Química. **Química Nova na Escola**, 24, 2006, p.12-16

FREDERICCI, C.; FERREIRA, D.C.; OLIVEIRA, M.C.B.; PINTO, N.S. Aplicação da espectroscopia Raman na identificação de minerais asbestiformes. **Revista IPT Tecnologia e Inovação**, 1, 13-20, 2016.

GARCIA, M.C.S. Modificação do resíduo de bauxita gerado no processo Bayer por tratamento térmico. **Dissertação de Mestrado**, apresentada na Escola Politécnica da Universidade de São Paulo – 2012, 102 p.

GERMAN, R.M. **Sintering theory and practice**. New York: John Wiley & Sons, Cap. 3, 1996, p.67-137.

GHAFAARI, J. Problems associated with ceramic brackets suggest limiting use to selected teeth. **Angle Orthodontist**, 62, 2, 1992, p. 145-152.

GONZÁLEZ-GUTIÉRREZ J.; STRINGARI, G. B.; EMRI, I. Cap. 3 - Powder Injection Molding of Metal and Ceramic Parts. **Some Critical Issues for Injection Molding**, editor Dr. Jian Wang, ISBN: 978-953-51-0297-7, 2012, p.65-89.

GOTTLIEB, E.L; NELSON, A.H.; VOGELS, D.S. Study of orthodontic diagnosis and treatment procedures, part I: results and trends. **Journal of Clinical Orthodontics**, 25, 3, 1991, p. 145-156.

GUAN, G.Q.; TAKANO-YAMAMOTO, T.; MIYAMOTO, M.; et al. Shear bond strengths of orthodontic plastic brackets. **American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics**, 117, 4, 2000, P. 438-443.

GAUTAM, P.; VALIATHAN, A. Ceramic Brackets: In search of an ideal! **Trends in Biomaterials and Artificial Organs**, 20, 2007, p.122-126.

GAVRILOV, K.L.; BENNISON, S.J., MIKESKA, K.R.; LEVI-SETTI, R. Grain boundary - chemistry of alumina by high-resolution imaging SIMS. **Acta Materialia**, 47, 15-16, 1999, p. 4031-4039.

GERMAN, R.M; BOSE, A. **Injection Molding of Metals and Ceramics**. Metal Powder Industries Federation, 1997, 413 p.

HANDWERKER, C. A.; MORRIS, P.A.; COBLE, R.L. Effects of Chemical Inhomogeneities on Grain Growth and Microstructure in Al_2O_3 . **Journal of the American Ceramic Society**, 72, 1, 1989, P. 130-136.

HO K.S.; WEST V.C. Friction resistance between edgewise brackets and archwires. **Australian Orthodontic Journal**, 12, 2, 1991, p. 95-99.

HOCKEY B.J. Plastic deformation of aluminum oxide by indentation and abrasion. **Journal of the American Ceramic Society**, 54, 5, 1971, p. 223-231.

HU, X.K.; SONG, Z.T.; PAN, Z.C.; LIU, W.L.; WU, L.C. Planarization machining of sapphire wafers with boron carbide and colloidal silica as abrasives. **Applied Surface Science**, 255, 2009, p. 8230-8234.

HUANG, Z.M.; GOPAL, R.; FUJIHARA, K.; et al. Fabrication of a new composite orthodontic archwire and validation by a bridging micromechanics model. **Biomaterials**, 24, 17, 2003, p. 2941-2953.

HUNT, N.P.; CUNNINGHAM, S.J.; GOLDEN, C.G.; et al. An investigation into the effects of polishing on surface hardness and corrosion of orthodontic archwires. **Angle Orthodontist**, 69, 5, 1999, p. 433-440.

JACOBSON, A. Friction resistance evaluation of orthodontic brackets and archwires with sliding mechanics using quantified simulation of canine retraction. **American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics**, 120, 6, 2001, p. 681.

JOHNSON, G.; WALKER, M.P.; KULA, K. Fracture strength of ceramic bracket tie wings subjected to tension. **Angle Orthodontist**, 75, 1, 2005, p. 95-100.

JOHNSONWALLS, D.; EVANS A.G.; MARSHALL D.B.; JAMES, M.R. Residual stress in machined ceramics surface. **Journal of the American Ceramic Society**, 69, 1, 1986, p. 44-47.

KERSTNER, E.K.; SCHAEFFER, L.; DE LORENZI, M.S.; MERGUTTI, D.M.; ROSADO, C.C. Aspectos reológicos do *feedstock* para utilização no processo MIM. **Revista Eletrônica de Materiais e Processos**, 6, 1, 2011, p. 21-27.

KONG, X.; QUINARD, C.; BARRIERE, T.; et al. Mixing and characterization of stainless steel 316L *feedstock*. **International Journal of Material Forming**, 2, Supl.1, 2009, p. 709-712.

KORAN, A.; TILLISTON, E.W.; CRAIG, R.G. Coefficient of friction of prosthetic tooth materials. **Journal of Prosthetic Dentistry**, 27, 3, 1972, p. 269-274.

KUSY, R.P. Morphology of polycrystalline alumina brackets and its relationship to fracture toughness and strength. **Angle Orthodontist**, 58, 3, 1988, p. 197-203.

KUSY, R.P.; WHITLEY, J.Q. [Coefficients of friction for arch wires in stainless-steel and polycrystalline alumina bracket slots.](#) **American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics**, 98, 4, 1990, p. 300-312.

KUSY, R.P.; WHITLEY J.Q.; PREWITT M.J. Comparison of the friction coefficient for selected archwire-bracket slot combination in the dry and wet states. **The Angle Orthodontist**, 61, 4, 1991, p. 293-302.

KUSY, R.P.; O'GRADY, P.W. Evaluation of titanium brackets for orthodontic treatment: part II - The active configuration. **American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics**, 118, 6, 2000, p. 675-684.

KUSY, R.P. Orthodontic biomaterials: From the past to the present. **Angle Orthodontist**, 72, 6, 2002, p. 501-512.

LAFERLA, M. R. Atrito: uma revisão. In: VIAZIS, A. D. **Atlas de ortodontia avançada**. São Paulo: Ed. Santos, 1999. p. 91-114.

LAMONT, R.J.; JENKINSON, H.F. **Oral Microbiology at a Glance**. Wiley-Blackwell, 2010, Cap.5, p.10.

LANGE, F.F.; JAMES, M.R.; GREEN D.J. Determination of residual surface stress caused by grinding in polycrystalline Al₂O₃. **Journal of the American Ceramic Society**, 66, 2, 1983, p. C16-C17.

LEAL, R.S.; MATOS, M.; AFONSO, L.C.; PUGSLEY C.L.; SOBERANO, J. Estudo comparativo entre braquetes autoligados e braquetes convencionais. **Revista Científica da Faculdade IPPEO - Curitiba – PR**, 1, 2017, p. 12-21.

LEE, S.H.; LU, Z.Y., BABU, S.V.; MATIJEVIC, E. Chemical mechanical polishing of thermal oxide films using silica particle coated with ceria. **Journal of Materials Research**, 17, 10, 2002, p. 2744-2749.

LEE, W.E., RAINFORTH, M. **Ceramic Microstructures - Property control by processing**, Kluwer Academic Publisher, 1994, 599 p.

LENK, R. Heißgießen von KeramiK. **Das KeramiKer Jahrbuch 2002**. Göller-Verlag, Baden-Baden, 2002, p. 13-26.

LIU, X.; LIN J.; DING, P. Changes in the surface roughness and friction coefficient of orthodontic bracket slots before and after treatment. **Scanning**, 35, 4, 2013, p. 265-272.

LOFTUS, B.P.; et al. Evaluation of friction during sliding tooth movement in

various bracket-archwire combinations. **American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics**, 116, 3,1999, p. 336-345.

McKAMEY, R.P.; KUSY, R.P. Stress-relaxing composite ligatures wires: Formulations and characteristics. **Angle Orthodontist**, 69, 1999, p. 441-449.

MOLISANI, A.L.; YOSHIMURA, H.N.; GOLDSTEIN, H. Sinterização de cerâmicas técnicas no estado sólido e assistida por fase líquida, 2006, p. 1-20, acessada em: 02/10/2017.

https://www.researchgate.net/publication/263734197_Sinterizacao_de_Ceramicas_Tecnicas_no_Estado_Solido_e_Assistida_por_Fase_Liquida.

MONCEAU, D.; PETOT, C.; PETOTERVAS, G.; et al. The microchemistry and microstructure of magnesium-doped submicron alpha-alumina powders after thermal treatment at 1300 °C. **Journal the European Ceramic Society**,12, 5, 1993, p.337-341.

MORELLI ORTODONTIA - <https://www.morelli.com.br/produtos.html>, acesso em 02/10/2017.

MORELLI ORTODONTIA - <http://www.morelli.com.br/loja/braquete-prescricao-roth-ceramic-022-13-gancho-1011005.htm>, <http://www.morelli.com.br/loja/arco-intraoral-superelastico-grande-niti-redondo-030mm-012--5060011.htm>, acesso em 10/10/2017.

OHTSUKA, S.; ZHU, W.; TOCHINO S.; et al. In-depth of residual stress in an alumina coating on silicon nitride substrate using confocal Raman piezo-spectroscopy. **Acta Materialia**, 55, 4, 2007, p. 1129-1135.

PARK, C.W.; YOON, D.Y. Effects of SiO₂, CaO, and MgO additions on the grain growth of alumina. **Journal of the American Ceramic Society**, 83 ,10, 2000, p. 2605–609.

PARK, K.H.; et al. Surface roughness analysis of ceramic bracket slots using atomic force microscope. **Korean Journal of Orthodontics**, 40, 5, 2010, p.294-303 - <https://doi.org/10.4041/kjod.2010.40.5.294>

PARDO, J.A.; MERINO, V.M.; PENA J.J.; GONZALEZC.; PASTOR J.Y.; et al. Piezospectroscopic study of residual stress in Al₂O₃-ZrO₂ directionally solidified eutectics. **Journal of the American Ceramic Society**, 83, 11, 2000, 2745-2752.

PECK, S. Setting the stage for the AJO-DO: The haphazard times before orthodontic specialty journals. **American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics**, 147, 1, 2015,1-3.

PILLAI, A.R.; GANGADHARAN, A.; KUMAR, S; et al. Comparison of the frictional resistance between archwire and different bracket system: An in vitro study. **Journal of Pharmacy and Bioallied Sciences**, 6, 1, 2014, p. S150-S155.

PIRATELLI FILHO, A. 3º Seminário de Metrologia Rugosidade Superficial - Universidade de Brasília (UnB) - Faculdade de Tecnologia Departamento de Engenharia Mecânica.
http://www.posgrad.mecanica.ufu.br/metrologia/arquivos/palestra_ufu_17_05_2011.pdf, acesso em: 20/02/2018.

PORTU, G.; MICELE, L.; SEKIGUCHI, Y.; et al. - Measurement of residual stress distribution in Al₂O₃/3Y-TZP multilayered composites by fluorescence and Raman microprobe piezo-spectroscopy. **Acta Materialia**, 53, 5, 2005, p. 1511-1520.

PRASHANT, P.S.; NANDAN, H.; GOPALAKRISHNAN. M. Friction in orthodontics. **Journal of Pharmacy And Bioallied Sciences** , 7, 2, 2015, p. S334-S338.

PRATTEN, D.H; POPLI,K.; GERMANE,N.; et al. Frictional resistance of ceramic and stainless steel orthodontic brackets. **American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics**, 98, 5, 1990, p. 398-403.

QUANTACHROME INSTRUMENTS – acesso em: 10/10/2017
<https://www.flickr.com/photos/tags/quantachromeinstruments/>

QUINTÃO, C. C. A.; BRUNHARO, I. H. V. P. Fios ortodônticos: conhecer para otimizar a aplicação clínica. **Revista Dental Press de Ortodontia e Ortopedia Facial**, 14, 6, 144-157.

RADONJIC, L.; SRDIC, V. Effect of magnesia on the densification behavior and grain growth of nucleated gel alumina. **Materials Chemistry and Physics**, 47,1, 1997, p. 78-84.

RAHARAM, M.N. **Ceramic Processing and Sintering**, Merce Dekker Inc., 1995, 902 pág.

RIBEIRO, M.J.; VENTURA, J. M.; LABRINCHA, J. A. A atomização como processo de obtenção de pós para a indústria cerâmica. **Cerâmica Industrial**, 6, 5, 2001, p. 34-40.

ROCHA, C.D. Estudo do Processamento da Alumina Visando Aplicação em Geometria hemisférica. **Dissertação apresentada no Programa de Pós-Graduação e Pesquisa em Engenharia (COPPE) da Universidade do Rio de Janeiro**, 2011, 92 p.

RÖSLER OTEC DO BRASIL LTDA – acesso: em 10/10/2017
http://www.otecusa.com/products_disc_CF18_specs.html.

SAMUEL, R.; CHANDRASEKAR, S.; FARRIS, T.N.; et al. Effect of residual stress on the fracture of ground ceramics. **Journal of the American Ceramic Society**, 72, 10, 1989, p. 1960-1966.

SARKAR, R.; BANERJEE, G. Effect of compositional variation and fineness on the densification of MgO-Al₂O₃ compacts. **Journal of the European Ceramic Society**, 19, 16, 1999, p. 2893-2899.

SAUNDERS, C.R., KUSY R.P. Surface topography and frictional characteristics of ceramic brackets. **American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics**, 106, 1, 1994, p. 76-87.

SHI, X.L.; PAN, G.S.; ZHOU, Y.; et al. Extended study of the atomic step-terrace structure on hexagonal SiC (0001) by chemical-mechanical planarization. **Applied Surface Science**, 284, 2013, p. 195-206.

SILVEIRA, F.L. Por que o atrito não depende da área do contato do corpo? disponível em <http://www.if.ufrgs.br/cref/?area=questions&id=56>, acesso em: 02/10/2017.

SHASTRI, V.P; et al. – **Advances in Regenerative Medicine: Role of Nanotechnology, and Engineering Principles**, Springer, 2010, Cap. 12, 404 p.

SOBREIRA, C.R.; LORIATO, L.B., OLIVEIRA, D.D. Bráquetes Estéticos: Características e Comportamento Clínico. **Revista Clínica de Ortodontia Dental Press**, 6, 1, 2007, p. 94-102.

SWARTZ, M.L. Ceramic brackets. **Journal of Clinical Orthodontics**, 22, 2, 1988, p.82–88.

TALIC, N.F. Effect of air-powder polishing on the surface topography of orthodontic stainless steel wires. **World Journal of Dentistry**, 8, 4, 2017, p. 1-5.

TANDON, R. Metal injection moulding. In **Encyclopedia of Materials: Science and Technology**, Buschow, K.H.J., Cahn, R.W., Flemings, M.C., Ilscher, B., Kramer, E.J., Mahajan, S. & Veysiere, P., Ed. Elsevier Science Ltd, Amsterdam, The Netherlands, 2008, p. 5439-5442.

The Indian Orthodontics Society – Parts of Brace. Copyright 2013:

<http://www.bracespecialists.com/pages/general/partsofbraces.php>, acessada em 02/10/2017.

THOMAS-VIELMA, P.; CERVERA, A.; LEVENFELD, B.; et al. A. Production of alumina parts by powder injection molding with a binder system based on high density polyethylene. **Journal of the European Ceramic Society**, 28, 4, 2008, p. 763-771.

THORSTENSON, G. A.; KUSY, R. P. Comparison of resistance to sliding between different self-ligating brackets with second-order angulation in the dry and saliva states. **American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics**, 121, 5, 2002, p. 472-482.

TILLITSON, E.W.; CRAIG, R.G.; PEYTON F.A. Friction and wear of restorative dental materials. **Journal of Dental Research**, 50, 1, 1971, p. 149-154.

TILLMAN, M.; YEOMANS, J.A.; DOREY, R.A. The effect of constraint on the sintering and stress in development in alumina thick film. **Ceramics International**, 40, 7, 2014, P. 9715-9721.

VALE, F.; MALO, L.; CAMELO, F.; et al. Dynamic behavior and surface characteristics of conventional and self-ligating brackets. **Revista Portuguesa de Estomatologia e Medicina Dentária e Cirurgia Maxilofacial**, 57,1, 2016, p. 1–8.

VILLELA, O.V. O desenvolvimento da ortodontia no Brasil e no mundo. **Revista Dental Press de Ortodontia e Ortopedia Facial**, 12, 6, 2007, p. 131-156.

YOSHIDA, M. Method of polishing dental instrument, **US Patent 5,249,395**, 1993.

WANG, G.; ZUO, H.; Zhang, H.; et al. Preparation, quality characterization, service performance evaluation and its modification of sapphire crystal for optical window and dome application. **Materials & Design**, 31, 2, 2010, p. 706-711.

WILLIAMS, J. K.; et al. **Aparelhos ortodônticos fixos: princípios e prática**. São Paulo: Ed. Santos, 1997, 141 p.

WU, H.Z.; ROBERTS S.G.; DERBY B. Residual stress distribution around indentation and scratches in polycrystalline Al_2O_3 and $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{SiC}$ nanocomposites measured using fluorescence probes. **Acta Materialia**, 56, 1, 2008, p. 140-149.

ZHANG, P.H.; CHANG, R.Z.; WEI,Z.; et al. The melting point, latent heat of solidification, and enthalpy for both solid and liquid $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$ in the range 550-2400 K. **International Journal of Thermophysics**, 7, 4, 1986, p.811-819.

ZHOU Y.; PAN G., SHI, X.; et al. AFM and XPS studies on material removal mechanism of sapphire wafer during chemical mechanical polishing (CMP). **Journal of Material Science: Materials in Electronics**, 26, 12, 2015, p. 9921–9928.

ZHU, H.L.; NIESZ,D.E.; GREEHUT, V.A., et al. The effect of abrasive hardness on the chemical-assisted polishing (0001) plane sapphire. **Journal of Material Research**, 20, 2, 2005, p. 504-521.