

RESSALVA

Atendendo a solicitação do(a) autor(a), o texto completo desse trabalho será disponibilizado no repositório a partir de 08/12/2025.



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
"JÚLIO DE MESQUITA FILHO"
Campus de São José dos Campos
Instituto de Ciência e Tecnologia

KARINA BARBOSA SOUZA

**EFEITO DO ENVELHECIMENTO HIDROTÉRMICO NA
RESISTÊNCIA AO DESGASTE, TOPOGRAFIA SUPERFICIAL,
MICRODUREZA E TENACIDADE À FRATURA DE DIFERENTES
ZIRCÔNIAS**

2023

KARINA BARBOSA SOUZA

**EFEITO DO ENVELHECIMENTO HIDROTÉRMICO NA RESISTÊNCIA AO
DESGASTE, TOPOGRAFIA SUPERFICIAL, MICRODUREZA E TENACIDADE À
FRATURA DE DIFERENTES ZIRCÔNIAS**

Dissertação apresentada ao Instituto de Ciência e Tecnologia, Universidade Estadual Paulista (Unesp), Campus de São José dos Campos, como parte dos requisitos para obtenção do título de MESTRA, pelo Programa de Pós-Graduação em CIÊNCIAS APLICADAS À SAÚDE BUCAL.

Área: Prótese Dentária. Linha de pesquisa: Desempenho de materiais e técnicas restauradoras.

Orientador: Prof. Tit. Marco Antonio Bottino

Coorientador: Prof. Dr. Tiago Moreira Bastos Campos

São José dos Campos

2023

Instituto de Ciência e Tecnologia [internet]. Normalização de tese e dissertação [acesso em 2024]. Disponível em <http://www.ict.unesp.br/biblioteca/normalizacao>

Apresentação gráfica e normalização de acordo com as normas estabelecidas pelo Serviço de Normalização de Documentos da Seção Técnica de Referência e Atendimento ao Usuário e Documentação (STRAUD).

Souza, Karina Barbosa

Efeito do envelhecimento hidrotérmico na resistência ao desgaste, topografia superficial, microdureza e tenacidade à fratura de diferentes zircônias / Karina Barbosa Souza. - São José dos Campos : [s.n.], 2023. 63 f. : il.

Dissertação (Mestrado) - Pós-Graduação em Ciências Aplicadas à Saúde Bucal - Universidade Estadual Paulista (Unesp), Instituto de Ciência e Tecnologia, São José dos Campos, 2023.

Orientador: Marco Antonio Bottino

Coorientador: Tiago Moreira Bastos Campos

1. Cerâmica. 2. Zircônio. 3. Desgaste de restauração dentária. I. Bottino, Marco Antonio, orient. II. Campos, Tiago Moreira Bastos, coorient. III. Universidade Estadual Paulista (Unesp), Instituto de Ciência e Tecnologia, São José dos Campos. IV. Universidade Estadual Paulista 'Júlio de Mesquita Filho' - Unesp. V. Universidade Estadual Paulista (Unesp). VI. Título.

IMPACTO POTENCIAL DESTA PESQUISA

Esta pesquisa teve como objetivo avaliar o envelhecimento hidrotérmico nas características de diferentes zircônias, de modo a compreender as limitações do material, uma vez que será utilizado em um ambiente que favorece a degradação em baixa temperatura. Assim, as indicações clínicas podem ser feitas com critério e base científica, visando a qualidade e longevidade do tratamento restaurador e satisfação do paciente.

POTENTIAL IMPACT OF THIS RESEARCH

This research aimed to evaluate hydrothermal aging effect on the characteristics of different zirconias, to understand the limitations of the material, since it will be used in an environment that favors low temperature degradation. Thus, clinical indications can be made with criteria and a scientific basis, aiming at the quality and longevity of restorative treatment and patient satisfaction.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Tit. Marco Antonio Bottino (Orientador)

Universidade Estadual Paulista
Instituto de Ciência e Tecnologia
Campus de São José dos Campos

Prof^a Assoc. Renata Marques de Melo

Universidade Estadual Paulista
Instituto de Ciência e Tecnologia
Campus de São José dos Campos

Prof^a Dra. Marina Amaral

Universidade de Taubaté
Departamento de Odontologia
Campus de Taubaté

São José dos Campos, 08 de dezembro de 2023.

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho aos meus maravilhosos pais, Clenilsa Dantas Barbosa Souza e Claudenilson Xavier de Souza, por todo o amor, dedicação, apoio e por estarem presentes nos momentos de alegria e nos de incerteza, segurando minha mão e me tornando mais forte.

AGRADECIMENTOS

Diariamente somos postos frente a frente com a brevidade e finitude da vida, nos fazendo lembrar o quanto devemos ser gratos pelas oportunidades oferecidas e por aqueles que estão no nosso caminho, nos ajudando e tornando a caminhada mais feliz. Dessa forma, agradeço a Deus por tantas pessoas incríveis que fizeram e fazem parte dessa jornada.

Agradeço aos meus pais, Claudenilson Xavier de Souza e Clenilsa Dantas Barbosa Souza, por serem pais incríveis. Por todo o amor e por todos os anos de dedicação, lapidando meu caráter, me ensinando sobre a vida e como é indispensável o respeito na nossa conduta diária. Não posso expressar em palavras o quanto sou grata e tenho orgulho de ser filha de vocês! Agradeço aos meus avós Nilson Soares, Clarice Dantas, Severina Marcelino, Clidenor Xavier e aos meus tios, Clenildo Xavier, Ângela Moura e Cléia Dantas, por todo o suporte durante o período do mestrado. Agradeço à toda minha família pela ajuda e por entenderem meus momentos de ausência dedicados à vida acadêmica.

Agradeço a Victor Warner por todo o incentivo para que eu fizesse o mestrado, por todo apoio e assistência durante a minha vinda para São José dos Campos. Agradeço à Telma Dantas e Wilson Reiff por me receberem e me acolherem em sua casa, dando todo o auxílio necessário para que eu pudesse me estabelecer e me adaptar à nova cidade.

Aos meus amigos, meus agradecimentos pelo companheirismo e por tantos momentos felizes compartilhados. À minha amiga Brenda Allany, que sempre esteve torcendo por mim ao longo de tantos anos de amizade, meu muito obrigada! Agradeço aos amigos que a Odontologia me trouxe, Ingrid Isley e Ítalo Gustavo, por dividirem comigo os dias de angústia e de alegria e por continuarem presentes em minha vida mesmo à distância. Aos amigos queridos que a UNESP me presenteou, Juliana Silva, Larissa Barreto, Amir Demachkia, Ana Carolina Silva, Elisa Aboucauch, Lucas Tanaka, Gabriela Santos, Caique Casarini, Antônio Torres, Stefany Couto, Laura Calvache e Jadson Mathyas, agradeço por tantos ensinamentos, por fazerem os dias de pós-graduação mais leves e por se tornarem uma família, acolhendo uns aos outros quando a saudade de casa bateu forte. Agradeço a todos os colegas de pós-

graduação por compartilharem experiências e aprendizados, contribuindo com meu crescimento pessoal e profissional.

Agradeço também aos meus professores que desempenharam um papel fundamental na minha história como estudante e no meu desenvolvimento acadêmico. Em especial ao meu orientador, professor Marco Antonio Bottino, por ser um exemplo de profissional, sempre incentivando e buscando o melhor para seus alunos. Ao meu coorientador, professor Tiago Moreira Bastos Campos, por todo apoio no desenvolvimento desta pesquisa. Ao professor Rodrigo Othávio de Assunção e Souza, por todo o aprendizado, confiança, pelas oportunidades oferecidas, por acreditar em mim e por ser um exemplo de professor. À professora Nathália Ramos, obrigada por toda a ajuda e colaboração ao longo do meu mestrado. Ao professor Julio Luz, obrigada pelos ensinamentos compartilhados, pelo incentivo, conselhos, sendo além de professor, um amigo. Às professoras Renata Marques de Melo Marinho e Marina Amaral, deixo meus agradecimentos por fazerem parte da minha banca e por contribuírem com este trabalho.

Agradeço aos funcionários do Departamento e Laboratório de Materiais Odontológicos e Prótese Dentária do ICT-UNESP, Juliane Damasceno, Thaís Paradella, Marco Alfredo e Márcio Eduardo Marques por sempre estarem disponíveis em ajudar e possibilitar o desenvolvimento das nossas pesquisas.

Agradeço à Universidade Estadual Paulista – ICT/UNESP São José dos Campos e ao Departamento Materiais Odontológicos e Prótese pelos momentos únicos que vivi nesta instituição e pela oportunidade de conhecer e aprender com grandes profissionais. À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), meus agradecimentos pela concessão de bolsa durante o primeiro semestre de mestrado. À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP) por todo o financiamento desta pesquisa por meio da minha bolsa de mestrado (processo FAPESP 2021/11320-2).

Meus sinceros agradecimentos a todos que me ajudaram a chegar até aqui e contribuíram não só para a realização deste trabalho, mas para que todo o processo fosse mais gratificante.

RESUMO

Souza KB. Efeito do envelhecimento hidrotérmico na resistência ao desgaste, topografia superficial, microdureza e tenacidade à fratura de diferentes zircônias. São José dos Campos (SP): Universidade Estadual Paulista (Unesp), Instituto de Ciência e Tecnologia; 2023.

Este estudo propôs avaliar o efeito do envelhecimento hidrotérmico no padrão de desgaste, topografia superficial, microdureza, tenacidade à fratura e composição cristalina das zircônias 3Y-TZP, 5Y-PSZ e multicamadas. Para isso, foram utilizadas as zircônias 3Y-TZP - Zpex e 5Y-TZP - Zpex Smile (Tosoh Corporation) para confecção de discos ($\varnothing = 12$ mm e 1,2 mm de espessura) e a ZirCAD Prime (Ivoclar Vivadent) para confecção de blocos (14 x 14 x 1,5 mm). Os espécimes foram divididos em 6 grupos (n=18) entre os fatores “tipo de zircônia” (3Y-TZP, 5Y-TZP e multicamadas) e “envelhecimento hidrotérmico” (com e sem). Exceto para os grupos controle, as amostras passaram por envelhecimento em reator hidrotérmico (134°C, 20 horas, 2,2 bar). As amostras (n=10) foram submetidas ao desgaste por deslizamento horizontal de 2 mm, com esferas de zircônia 3Y-TZP como antagonistas (150N, 4Hz, 600.000 ciclos). O volume do desgaste e os parâmetros de rugosidade foram quantificados em perfilômetro de contato. A altura do desgaste dos antagonistas foi determinada em estereomicroscópio óptico. Foram realizadas a análise de difração de raios-X, espectroscopia Raman e microscopia eletrônica de varredura para cada grupo experimental, bem como microdureza Vickers e tenacidade à fratura. Os dados de volume de desgaste, altura dos antagonistas e rugosidade foram analisados estatisticamente por meio do ANOVA on Ranks e teste de Dunn. Os dados de microdureza e tenacidade à fratura foram analisados estatisticamente por meio do ANOVA 2 fatores e Tukey 5%. Os dados das análises de difração de raios-X e microscopia eletrônica de varredura foram submetidos à análise qualitativa. Com os resultados obtidos, foi possível observar que o envelhecimento hidrotérmico afetou o desgaste apenas para as zircônias 3Y-TZP e multicamadas, tendo o grupo 3Y-TZP com envelhecimento o maior volume de desgaste, semelhante estatisticamente à zircônia multicamadas com envelhecimento. Para os parâmetros de rugosidade, o fator “envelhecimento” foi significativo apenas para o parâmetro Ra. O envelhecimento hidrotérmico afetou a dureza e tenacidade à fratura para a zircônia 3Y-TZP e para as diferentes camadas da zircônia multicamadas. As análises microestruturais indicaram que a fase monoclinica é mais sujeita ao desgaste e o envelhecimento hidrotérmico causou mudança de fase para 3Y-TZP. O MEV mostrou que o envelhecimento hidrotérmico causou arrancamento de grãos e desgaste em camadas para a zircônia 3Y-TZP e superfícies mais irregulares e rugosas para a zircônia 5Y-PSZ e multicamadas. Desse modo, podemos concluir que o envelhecimento hidrotérmico aumenta o desgaste para as zircônias 3Y-TZP e multicamadas e produz transformação de fase, sendo a camada monoclinica mais sujeita ao desgaste. Além disso, o envelhecimento hidrotérmico não alterou a incidência do desgaste para a zircônia 5Y-PSZ, mas produziu alterações superficiais vistas por micrografias.

Palavras-chave: Cerâmica; Zircônio; Desgaste de Restauração Dentária.

ABSTRACT

Souza KB. *Effect of hydrothermal aging on wear resistance, surface topography, microhardness and fracture toughness of different zirconias. São José dos Campos (SP): São Paulo State University (Unesp), Institute of Science and Technology; 2023.*

This study aimed to evaluate the effect of hydrothermal aging on the wear pattern, surface topography, microhardness, fracture toughness and crystalline composition of 3Y-TZP, 5YPSZ and multilayer zirconia. 3Y-TZP - Zpex and 5Y-TZP - Zpex Smile (Tosoh Corporation, Japão) were used to fabricate discs ($\varnothing= 12 \text{ mm} \times 1,2 \text{ mm}$) and ZirCAD Prime (Ivoclar Vivadent, Liechtenstein) to fabricate blocks ($14 \text{ mm} \times 14 \text{ mm} \times 1,5 \text{ mm}$). The specimens were divided into 6 groups ($n=18$) according to the following factors "type of zirconia" (3Y-TZP, 5Y-TZP e multilayers) and "hydrothermal aging" (with and without). Except for the control groups, the samples aged in hydrothermal reactor (134°C , 20 horas, 2,2 bar). The samples were subjected to wear through cyclic load (150N, 4Hz, 600.000 cycles) with horizontal sliding of 2 mm ($n=10$) under distilled water, using 3Y-TZP zirconia spheres ($\varnothing= 6\text{mm}$) as antagonist. The wear volume and roughness parameters were quantified using a contact profilometer. The height of the wear of the antagonists was determined by stereomicroscope. X-rays diffraction analysis, Raman spectroscopy, and scanning electron microscopy were performed for each experimental group, along with fracture toughness and Vickers microhardness measurements. The data of the wear volume and roughness were analyzed statistically by ANOVA on Ranks and Dunn test. The microhardness and fracture toughness data were statistically analyzed by two-way ANOVA and Tukey test ($\alpha=0.05$). The data of X-rays diffraction analysis and electronic microscope were subjected to the descriptive analysis. The results showed that hydrothermal aging affected the wear of only 3Y-TZP and multilayers zirconia. The 3Y-TZP group with aging had the highest wear volume; however, it was statistically similar to the wear observed in the multilayer zirconia with aging. Regarding the wear of the antagonist, there was no statistical difference between the groups. For the roughness parameters, the "aging" factor was significant only for the Ra parameter. The hydrothermal aging affected the hardness and fracture toughness for 3Y-TZP zirconia and the different layers of zirconia multilayers. The microstructure analyses indicated that the monoclinic phase is more susceptible to wear, and hydrothermal aging caused phase transformation on 3Y-TZP. The scanning electron microscope showed that hydrothermal aging caused grain detachment in 3Y-TZP, resulting in layered wear. For the 5Y-PSZ and multilayers zirconia, the aging caused more irregular and rougher surface. Thus, we can conclude that the hydrothermal aging increases wear in 3-TZP and multilayers zirconia, leading to a phase transformation and formation of a monoclinic layer that is more susceptible to wear. Furthermore, the hydrothermal aging did not alter the incidence of wear for 5Y-PSZ zirconia, but it caused surface alterations seen by micrograph.

Keywords: Ceramic; Zirconia; Wear of the dental restoration.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	12
2 REVISÃO DE LITERATURA.....	15
2.1 Zircônia: uma cerâmica odontológica	15
2.1.1 Zircônia multicamadas.....	18
2.1.2 Degradação hidrotérmica	20
2.2 Desgaste superficial.....	22
3 PROPOSIÇÃO	24
4 MATERIAL E MÉTODOS.....	25
4.1 Preparação das amostras.....	25
4.2 Envelhecimento hidrotérmico	26
4.3 Inclusão dos espécimes	27
4.4 Desgaste por deslizamento	27
4.5 Quantificação do desgaste e rugosidade superficial	29
4.6 Difração de raios-x (DRX)	30
4.7 Espectroscopia Raman	31
4.8 Espectroscopia por dispersão de energia (EDS).....	31
4.9 Microdureza Vickers.....	32
4.10 Tenacidade à fratura.....	32
4.11 Microscopia eletrônica de varredura (MEV)	33
4.12 Análise estatística	33
5 RESULTADO	34
5.1 Desgaste por deslizamento	34
5.2 Rugosidade.....	37
5.3 Difração de raios-X (DRX).....	38
5.4 Espectroscopia Raman	39
5.5 Espectroscopia por dispersão de energia (EDS).....	40
5.6 Microdureza Vickers.....	42
5.7 Tenacidade à fratura.....	44
5.8 Microscopia eletrônica de varredura (MEV)	46
6 DISCUSSÃO	56

7 CONCLUSÃO	64
REFERÊNCIAS.....	65

7 CONCLUSÃO

Com base nos resultados encontrados, podemos concluir que o envelhecimento hidrotérmico diminui a resistência ao desgaste das zircônias 3Y-TZP e multicamadas e produz transformação de fase, sendo a camada monoclinica mais sujeita ao desgaste. Além disso, o envelhecimento hidrotérmico não alterou a resistência ao desgaste da zircônia 5Y-PSZ, mas produziu alterações superficiais vistas por micrografias.

REFERÊNCIAS

Alves LMM, Contreras LPC, Bueno MG, Campos TMB, Bresciani E, Valera MC, Melo RM. The wear performance of glazed and polished full contour zirconia. *Braz Dent J*. 2019b;30:511-518. <https://doi.org/10.1590/0103-6440201902801>

Alves LMM, Contreras LPC, Campos TMB, Bottino MA, Valandro LF, Melo RM. In vitro wear of a zirconium-reinforced lithium silicate ceramic against different restorative materials. *J Mech Behav Biomed Mater*. 2019a;100:103403. <https://doi.org/10.1016/j.jmbbm.2019.103403>

Amaral M, Valandro LF, Bottino MA, Souza ROA. Low-temperature degradation of a Y-TZP ceramic after surface treatments. *J Biomed Mater Res - B Appl*. 2013;101(8):1387-1392. <https://doi.org/10.1002/jbm.b.32957>

Andrieuolo R, Gonçalves SA, Dias KRHC. A zircônia na Odontologia Restauradora. *Rev Bras Odontol*. 2011;68(1):49-53. [org/10.18363/rbo.v68n1.p.49](https://doi.org/10.18363/rbo.v68n1.p.49)

Apel E, Deubener J, Bernard A, Höland M, Müller R, Kappert H, et al. Phenomena and mechanisms of crack propagation in glass-ceramics. *J Mech Behav Biomed Mater*. 2008;1(4):313-325. doi:10.1016/j.jmbbm.2007.11.005

Araújo Júnior ENS, Bergamo ETP, Campos TMB, Benalcázar Jalkh EB, Lopes ACO, Monteiro KN, et al. Hydrothermal degradation methods affect the properties and phase transformation depth of translucent zirconia. *J Mech Behav Biomed Mater*. 2020;112:104021. <https://doi.org/10.1016/j.jmbbm.2020.104021>

Araújo Júnior ENS, Bergamo ETP, Campos TMB, Benalcázar Jalkh EB, Lopes ACO, Monteiro KN, et al. Ultra-translucent zirconia processing and aging effect on microstructural, optical, and mechanical properties. *Dent Mater*. 2022;38(4):587-600. <https://doi.org/10.1016/j.dental.2022.02.016>

Ban S, Sato H, Suehiro Y, Nakanishi H, Nawa M. Biaxial flexure strength and low temperature degradation of Ce-TZP/ Al₂O₃ nanocomposite and Y-TZP as dental restoratives. *J Biomed Mater Res. B: Appl. Biomater* 2008;87, 492–498. <https://doi.org/10.1002/jbm.b.31131>

Benalcázar Jalkh EB, Bergamo ETP, Monteiro KN, Cesar PF, Genova LA, Lopes ACO, et al. Aging resistance of an experimental zirconia-toughened alumina composite for large span dental prostheses: Optical and mechanical characterization. *J Mech Behav Biomed Mater*. 2020;104:103659. <https://doi.org/10.1016/j.jmbbm.2020.103659>

Borba M, Araújo MD, Fukushima KA, Yoshimura HN, Cesar PF, Griggs JA, Della Bona A. Effect of the microstructure on the lifetime of dental ceramics. *Dent Mater*. 2011;27(7):710-721. doi:10.1016/j.dental.2011.04.003

Borges MAP, Alves MR, Santos HES, Anjos MJ, Elias CN. Oral degradation of Y-TZP ceramics. *Ceram Int*. 2019;45(8):9955-9961. <https://doi.org/10.1016/j.ceramint.2019.02.038>

Campos TMB, Ramos NC, Matos JDM, Thim GP, Souza ROA, Bottino MA, et al. Silica infiltration in partially stabilized zirconia: effect of hydrothermal aging on mechanical properties. *J Mech Behav Biomed Mater*. 2020;109:103774. <https://doi.org/10.1016/j.jmbbm.2020.103774>

Camposilvan E, Leone R, Gremillard L, Sorrentino R, Zarone F, Ferrari M, et al. Aging resistance, mechanical properties and translucency of different yttria-stabilized zirconia ceramics for monolithic dental crown applications. *Dent Mater*. 2018;34(6):879-890, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.dental.2018.03.006>

Carrabba M, Keeling AJ, Aziz A, Vichi A, Fonzar RF, Wood D, Ferrari M. Translucent zirconia in the ceramic scenario for monolithic restorations: A flexural strength and translucency comparison test. *J Dent*. 2017;60:70-76. <https://doi.org/10.1016/j.jdent.2017.03.002>

Cavalcanti AN, Foxton RM, Watson TF, Oliveira MT, Giannini M, Marchi GM. Bond strength of resin cements to a zirconia ceramic with different surface treatments. *Oper Dent*. 2009;4(3):280-287. <https://doi.org/10.2341/08-80>

Chai H, Lee JJW, Miesleszko AJ, Chu SJ, Zhang Y. On the interfacial fracture of porcelain/zirconia and graded zirconia dental structures. *Acta Biomater*. 2014;10(8):3756-3761. <https://doi.org/10.1016/j.actbio.2014.04.016>

Chain MC, Arcari GM, Lopes GC. Restaurações cerâmicas estéticas e próteses livres de metal. *RGO* 2000 abr/jun; 48:67-70. ID: lil-296858

Chevalier J, Deville S, Munch E, Jullian R, Lair F. Critical effect of cubic phase on aging in 3mol% yttria-stabilized zirconia ceramics for hip replacement prosthesis. *Biomater*. 2004;25:5539-5545. <https://doi.org/10.1016/j.biomaterials.2004.01.002>

Chevalier J, Gremillard L. The tetragonal-monoclinic transformation in Zirconia: lessons learned and future trends. *J Am Ceram Soc*. 2009;92(9):1901-1920. <https://doi.org/10.1111/j.1551-2916.2009.03278.x>

Corado HPR, Silveira PHPM, Ortega VL, Ramos GG, Elias CN. Flexural Strength of Vitreous Ceramics Based on Lithium Disilicate and Lithium Silicate Reinforced with Zirconia for CAD/CAM. 2022. *Int J Biomater*. 2022;2022. <https://doi.org/10.1155/2022/5896511>

D'Arcangelo C, Vanini L, Rondoni GD, De Angelis F. Wear properties of dental ceramics and porcelains compared with human enamel. *J Prosthet Dent*. 2016;115(3):350-355. <https://doi.org/10.1016/j.prosdent.2015.09.010>

Denry I, Dawson DV, Holloway JA. Crystalline phase evolution and thermal behavior of zirconia-lanthanum aluminate ceramics produced by surface modification. *J Biomed Mater Res B Appl Biometer*. 2021;109(3):328-337. <https://doi.org/10.1002/jbm.b.34702>

Denry I, Holloway JA. Ceramics for dental applications: a review. *Mater*. 2010;3(1):351–368. <https://doi.org/10.3390/ma3010351>

Denry I, Kelly JR. Emerging ceramic-based materials for dentistry. *J Dent Res*. 2014; 93(12):1235-1242. <https://doi.org/10.1177/0022034514553627>

Denry I, Kelly JR. State of the art of zirconia for dental applications. *Dent Mater* 2008;24:299-307. <https://doi.org/10.1016/j.dental.2007.05.007>

Egilmez F, Ergun G, Cekic-Nagas I, Vallittu PK, Özcan M, Lassila LVJ. Effect of surface modification on the bond strength between zirconia and resin cement. *J Prosthodont* 2013;22:529-536. <https://doi.org/10.1111/jopr.12030>

Elsaka SE, Elnaghy AM. Mechanical properties of zirconia reinforced lithium silicate glass-ceramic. *Dent Mater*. 2016;32(7): 908-914, 2016. <http://dx.doi.org/10.1016/j.dental.2016.03.013>

Elsaka SE. Influence of surface treatments on the surface properties of different zirconia cores and adhesion of zirconia-veneering ceramic systems. *Dent Mater*. 2013;29(10):e239-e251. <https://doi.org/10.1016/j.dental.2013.07.003>

Fadavi F, Mohammadi-Bassir M, Sarabi N, Rezvani MB, Jafari-Semnani S, et al. Effect of Low-Temperature Degradation, Ph-Cycling and Simulated Tooth Brushing on Surface Roughness, Topography, and Polish Retention of Yttrium-Stabilized Tetragonal Zirconia. *J Dent Shiraz Univ Med Sci*. 2023;24(3):293-304. <https://doi.org/10.30476/dentjods.2022.93896.1744>

Faria ACL, Oliveira AA, Gomes EA, Rodrigues RCS, Ribeiro RF. Wear resistance of a pressable low-fusing ceramic opposed by dental alloys. *J Mech Behav Biomed Mater*. 2014;32:46-51. <https://doi.org/10.1016/j.jmbbm.2013.12.018>

Ghods S, Jafarian ZA Review on Translucent Zirconia. *Eur J Prosthodont Restor Dent*. 2018;26(2):62-74. DOI: 10.1922/ejprd_01759ghods13

Guazzato M, Albakry M, Ringer SP, Swain MV. Strength, fracture toughness and microstructure of a selection of all-ceramic materials. Part II. Zirconia-based dental ceramics. *Dent Mater*. 2004;20(5):449-456. <https://doi.org/10.1016/j.dental.2003.05.002>

Guess PC, Kulis A, Witkowski S, Wolkewitz M, Zhang Y, Strub JR. Shear bond strengths between different zirconia cores and veneering ceramics and their

susceptibility to thermocycling. *Dent Mater.* 2008;24(11):1556-1567.
<https://doi.org/10.1016/j.dental.2008.03.028>

Guilardi LF, Soares P, Werner A, Jager N, Pereira GKR, Kleverlaan CJ, et al. Fatigue performance of distinct CAD/CAM dental ceramics. *J Mech Behav Biomed Mater.* 2020;103:103540. <https://doi.org/10.1016/j.jmbbm.2019.103540>

Harada K, Raigrodski AJ, Chung KH, Flinn BD, Dogan S, Mancl LA. A comparative evaluation of the translucency of zirconias and lithium disilicate for monolithic restorations. *J Prosthet Dent.* 2016;116(2):257-263.
<https://doi.org/10.1016/j.prosdent.2015.11.019>

Hatanaka GR, Polli GS, Adabo GL. The mechanical behavior of high-translucent monolithic zirconia after adjustment and finishing procedures and artificial aging. *J Prosthet Dent.* 2020;123(2):330-337. <https://doi.org/10.1016/j.prosdent.2018.12.013>

Jung YS, Lee JW, Choi YJ, Ahn JS, Shin SW, Huh JB. A study on the in-vitro wear of the natural tooth structure by opposing zirconia or dental porcelain. *J Adv Prosthodont.* 2010;2(3):111-115. <https://doi.org/10.4047/jap.2010.2.3.111>

Kaizer MR, Kolakarnprasert N, Rodrigues C, Chai H, Zhang Y. Probing the interfacial strength of novel multi-layer zirconias. *Dent Mater.* 2019;36(1):60-67.
<https://doi.org/10.1016/j.dental.2019.10.008>

Kim HT, Han JS, Yang JH, Lee JB, Kim SH. The effect of low temperature aging on the mechanical property and phase stability of Y-TZP ceramics. *J Adv Prosthodont.* 2009;1(3):113-117. <https://doi.org/10.4047/jap.2009.1.3.113>

Kim JW, Covell NS, Guess PC, Rekow ED, Zhang Y. Concerns of hydrothermal degradation in CAD/CAM zirconia. *J Dent Res.* 2010;89(1):91-95.
<https://doi.org/10.1177/0022034509354193>

Koenig V, Bekaert S, Dupont N, Vanheusden A, Le Goff S, Douillard T, et al. Intraoral low-temperature degradation of monolithic zirconia dental protheses: results of a prospective clinical study with *ex vivo* monitoring. *Dent Mater.* 2021; 37(7):1134-1149. <https://doi.org/10.1016/j.dental.2021.03.008>

Kolakarnprasert N, Kaizer MR, Kim K, Zhang Y, New multi-layered zirconias: Composition, microstructure and translucency. *Dent Mater.* 2019;35(5):797-806.
<https://doi.org/10.1016/j.dental.2019.02.017>

Kwon SJ, Lawson NC, McLaren EE, Nejat AH, Burgess JO. Comparison of the mechanical properties of translucent zirconia and lithium disilicate. *J Prosthet Dent.* 2018;120(1):132-137. <https://doi.org/10.1016/j.prosdent.2017.08.004>

Lan TH, Liu PH, Chou MMC, Lee HE. Fracture resistance of monolithic zirconia crowns with different occlusal thicknesses in implant prostheses. *J Prosthet Dent.* 2016;115(1):76-83. <https://doi.org/10.1016/j.prosdent.2015.06.021>

Le M, Larsson C, Papia E. Bond strength between MDP-based cement and translucent zirconia. *Dent Mater.* 2019;38(3):480-489. <https://doi.org/10.4012/dmj.2018-194>

Lee A, He LH, Lyons K, Swain MV. Tooth wear and wear investigations in dentistry. *J Oral Rehabil.* 2012;39(3):217-225. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2842.2011.02257.x>

Li RWK, Chow TW, Mantinlinna JP. Ceramic dental biomaterials and CAD/CAM technology: state of the art. *J Prosthodont Res.* 2014;58(4):208-216. <https://doi.org/10.1016/j.jpor.2014.07.003>

Liu C, Eser A, Albrecht T, Stournari V, Felder M, Heintze S, Broeckmann C. Strength characterization and lifetime prediction of dental ceramic materials. *Dent Mater.* 2021;37:94-105. <https://doi.org/10.1016/j.dental.2020.10.015>

Lobo CMM, Socorague SCMC, Silva NR, Costa AKF, Alves LMM, Bottino MA, et al. Effect of glazing application side and mechanical cycling on the biaxial flexural strength and Weibull characteristics of a Y-TZP ceramic. *J Appl Oral Sci.* 2020;28. <https://doi.org/10.1590/1678-7757-2020-0438>

Lopes ACO, Coelho PG, Witek L, Benalcázar Jalkh EB, Gênova LA, Monteiro KN, et al. Microstructural, mechanical, and optical characterization of an experimental aging-resistant zirconia-toughened alumina (ZTA) composite. *Dent Mater.* 2020;36(12):365-e374. <https://doi.org/10.1016/j.dental.2020.08.010>

Lughi V, Sergo V. Low temperature degradation aging of zirconia: a critical review of the relevant aspects in dentistry. *Dent Mater.* 2010;26:807–820. <https://doi.org/10.1016/j.dental.2010.04.006>

Macedo CV, Anami LC, Melo RM, Bottino MA, Valandro LF. Effect of the layering technique on bond strength and cohesive resistance of a porcelain-zirconia system. *J Adhes Dent.* 2014;16(1):57-62. doi: 10.3290/j.jad.a30540

Manicone PF, Iommetti PR, Raffaelli L. An overview of zirconia ceramics: basic properties and clinical applications. *J Dent.* 2007;35(11):819-826, 2007. <https://doi.org/10.1016/j.jdent.2007.07.008>

Mao L, Kaizer MR, Zhao M, Guo B, Zhang Y. Graded ultra-translucent zirconia (5Y-PSZ) for strength and functionalities. *J Dent Res.* 2018;97(11):1222-1228. <https://doi.org/10.1177/0022034518771287>

Marocho SMS, Studart AR, Bottino MA, Della Bona A. Mechanical strength and survival crack growth under wet cyclic loading of glass-infiltrated dental ceramics. *Den Mater*. 2010;26:483-490. doi:10.1016/j.dental.2010.01.007

Michailova M, Elsayed A, Fabel G, Edelhoff D, Zylla IM, Stawarczyk B. Comparison between novel strength-gradient and color-gradient multilayered zirconia using conventional and high-speed sintering. *J Mech Behav Biomed Mater*. 2020;111:103977. <https://doi.org/10.1016/j.jmbbm.2020.103977>

Miragaya LM, Guimarães RB, Souza ROA, Botelho GS, Guimarães JGA, Silva EM. Effect of intra-oral aging on t→m phase transformation, microstructure, and mechanical properties of Y-TZP dental ceramics. *J Mech Behav Biomed Mater*. 2017;72:4-21. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jmbbm.2017.04.014>

Moura DM, Januário ABN, Araújo AMM, Dal Piva AMO, Özcan M, Bottino MA, et al. Effect of primer-cement systems with different functional phosphate monomers on the adhesion of zirconia to dentin. *J Mech Behav Biomed Mater*. 2018; 88:69-77. <https://doi.org/10.1016/j.jmbbm.2018.08.003>

Muhammed FK, Pollington S, Sun X, et al. Novel coatings on zirconia for improved bonding with veneer ceramics. *Coated*. 2018;8(10):363. <https://doi.org/10.3390/coatings8100363>

Mundhe K, Jain V, Pruthi G, Shah N. Clinical study to evaluate the wear of natural enamel antagonist to zirconia and metal ceramic crowns. *J Prosthet Dent* 2015;114:358-63. <https://doi.org/10.1016/j.prosdent.2015.03.001>

Nakamura K, Harada A, Kanno T, Inagaki R, Niwano Y, Milleding P, Örtengren U. The influence of low-temperature degradation and cyclic loading on the fracture resistance of monolithic zirconia molar crowns. *J Mech Behav Biomed Mater*. 2015;47:49-56. <https://doi.org/10.1016/j.jmbbm.2015.03.007>

Nakamura K, Tarkeshi A, Niklasson A, Shishido S, Svanborg P, Barkarmo S, et al. Influence of crystalline phase transformation induced by airborne-particle abrasion and low-temperature degradation on mechanical properties of dental zirconia ceramics stabilized with over 5 mol% yttria. *J Mech Behav Biomed Mater*. 2022;125:104890. <https://doi.org/10.1016/j.jmbbm.2021.104890>

Oh WS, DeLong R, Anusavice KJ. Factors affecting enamel and ceramic wear: a literature review. *J Prosthet Dent*. 2002 Apr;87(4):451-9. doi:10.1067/mpr.2002.123851.

Pagani C, Miranda CB, Bottino MC. Avaliação da tenacidade à fratura de diferentes sistemas cerâmicos. *J App Oral Sci*. 2003;11:69-75. <https://doi.org/10.1590/S1678-77572003000100012>

Park MG. Effect of low-temperature degradation treatment on hardness, color, and translucency of single layers of multilayered zirconia. *J Prosthet Dent.* 2023;18. <https://doi.org/10.1016/j.prosdent.2023.01.023>

Passos SP, Torrealba Y, Major P, Linke B, Flores-Mir C, Nychka JA. In vitro wear behavior of zirconia opposing enamel: a systematic review. *J Prosthodont.* 2014;23,(8):593-601. <https://doi.org/10.1111/jopr.12167>

Paulillo LAMS, Serra MC, Francischone CE. Cerâmica em dentes posteriores. *ROBRAC.*1997; 6:37-9. ID: lil-235788

Pereira GKR, Guilardi LF, Dapieve KS, Kleverlaan CJ, Rippe MP, Valandro LF. Mechanical reliability, fatigue strength and survival analysis of new polycrystalline translucent zirconia ceramics for monolithic restorations. *J Mech Behav Biomed Mater.* 2018;85:57-65. <https://doi.org/10.1016/j.jmbbm.2018.05.029>

Pereira GKR, Muller C, Wandscher VF, Rippe MP, Kleverlaan CJ, Valandro LF. Comparison of different low-temperature aging protocols: its effects on the mechanical behavior of Y-TZP ceramics. *J Mech Behav Biomed Mater.* 2016;60:324-330. <https://doi.org/10.1016/j.jmbbm.2016.02.017>

Pereira GKR, Venturini AB, Silvestri T, Dapieve KS, Montagner AF, Soares FZM, et al. Low-temperature degradation of Y-TZP ceramics: A systematic review and meta-analysis. *J Mech Behav Biomed Mater* 2015;55:151-163

Pereira GKR, Venturini AB, Silvestri T, Dapieve KS, Montagner AF, Soares FZM, et al. Low-temperature degradation of Y-TZP ceramics: A systematic review and meta-analysis. *J Mech Behav Biomed Mater.* 2015;55:151-163. <https://doi.org/10.1016/j.jmbbm.2015.10.017>

Pereira RM, Campos TMB, Bonfante EA, Thim GP. A comparative study of mechanical properties of yttria stabilized zirconia monolithic and bilayer configuration for dental application. *J Mech Behav Biomed Mater.* 2023;148:106160. <https://doi.org/10.1016/j.jmbbm.2023.106160>

Prado PHCO, Dapieve KS, Campos TMB, Valandro LF, Melo RM. Effect of hydrothermal and mechanical aging on the fatigue performance of high-translucency zirconias. *Dent Mater.* 2022;38(6):1060-1071. <https://doi.org/10.1016/j.dental.2022.04.021>

Prado PHCO, Monteiro JB, Campos TMB, Thim GP, Melo RM. Degradation kinetics of high-translucency dental zirconias: Mechanical properties and in-depth analysis of phase transformation. *J Mech Behav Biomed Mater.* 2020;102:103482. <https://doi.org/10.1016/j.jmbbm.2019.103482>

Prado RD, Pereira GKR, Bottino MA, Melo RM, Valandro LF. Effect of ceramic thickness, grinding, and aging on the mechanical behavior of a polycrystalline

zirconia. *Braz Oral Res.* 2017; 31. <https://doi.org/10.1590/1807-3107BOR-2017.vol31.0082>

Quinn JB, Quinn GD, Sundar V. Fracture toughness of veneering ceramics for fused to metal (PFM) and zirconia dental restorative Materials. *J Res Natl Inst Stand Technol.* 2010;115(5):343-52. doi: 10.6028/jres.115.024

Rabel K, Lamott U, Polydorou O, Flügge T, Spies BC. Prosthodontic Rehabilitation with Fixed Monolithic Translucent Zirconia Restorations: A Case History Report. *Int J Prosthodont.* 2019;32(6):544-548. Doi: 10.11607/ijp.6194

Ramos NC, Augusto MG, Alves LMM, Kleverlaan CJ, Dal Piva AMO. Wear of dental ceramics. *Braz Dent Sci.* 2023;26(1):e3638. <https://doi.org/10.4322/bds.2023.e3638>

Ricco P, Ramos NC, Campos TMB, Soares VO, Villas Boas MOC, MELO RM. The roles of microstructure and surface energy on subcritical crack growth in glass-ceramics. *Ceram Int.* 2021;41(5):6827-6833. <https://doi.org/10.1016/j.ceramint.2020.11.025>

Rodrigues VA, Paradella TC, Coelho AVP, Souza KB, Bottino MA, Melo RM, et al. Does the glaze application on Y-TZP surface improve the bond strength to pressed veneering ceramic? *J Adhes Sci Technol.* 2020; 35(13):1459-1471. <https://doi.org/10.1080/01694243.2020.1846898>

Rondoni D. Zirconia: Some practical aspects from the technologist's point of view. *Int J Esthet Dent.* 2016;11(2):270-274. PMID: 27092353

Rosentritt M, Preis V, Behr M, Strasser T. Fatigue and wear behaviour of zirconia materials. *J Mech Behav Biomed Mater.* 2020;110:103970. <https://doi.org/10.1016/j.jmbbm.2020.103970>

Sadan A, Blatz MB, Lang B. Clinical considerations for densely sintered alumina and zirconia restorations: part 1. *Int J Periodontics Restorative Dent.* 2005;25(3):213-219. PMID: 16001733

Schönhoff LM, Lümke N, Buser R, Hampe R, Stawarczyk B. Fatigue resistance of monolithic strength-gradient zirconia materials. *J Mech Behav Biomed Mater.* 2021;119:104504. <https://doi.org/10.1016/j.jmbbm.2021.104504>

Shahmiri R, Standart OC, Hart JN, Sorrel CC. Optical properties of zirconia ceramics for esthetic dental restorations: A systematic review. *J Prosthet Dent.* 2018;119(1):36-46. <https://doi.org/10.1016/j.prosdent.2017.07.009>

Shenoy A, Shenoy N. Dental ceramics: An update. *J Conserv Dent.* 2010;13(4):195. doi: 10.4103/0972-0707.73379

Skorulska A, Piszko P, Rybak Z, Szymonowics M, Dobrzynski M. Review on Polymer, ceramic and composite materials for CAD/CAM indirect restorations in

dentistry – application, mechanical characteristics and comparison. *Mater.* 2021;14(7):1592. <https://doi.org/10.3390/ma14071592>

Souza ROA, Barbosa F, Araújo G, Miyashita E, Bottino MA, Melo R, et al. Ultrathin monolithic zirconia veneers: reality or future? Report of a clinical case and one-year follow-up. *Oper Dent.* 2018;43(1):3-11. <https://doi.org/10.2341/16-350-T>

Stawarczyk B, Keul C, Eichberger M, Figge D, Edelhoff D, Lümke N. Three generations of zirconia: From veneered to monolithic. Part I. *Quintessence Int.* 2017;48(5). DOI: 10.3290/j.qi.a38057

Sulaiman TA, Abdulmajeed AA, Donovan TE, Vallittu PK, Närhi TO, et al. The effect of staining and vacuum sintering on optical and mechanical properties of partially and fully stabilized monolithic zirconia. *Dent Mater J.* 2015;34(5):605-610. <https://doi.org/10.4012/dmj.2015-054>

Ting J, Shuhui H, Hongqiang Y, Lu J. CAD/CAM Ceramic Overlays to Restore Reduced Vertical Dimension of Occlusion Resulting from Worn Dentitions: A Case History Report. *Int J Prosthodont.* 2017;30(3):238-241. DOI: 10.11607/ijp.5146

Vardhaman S, Borba M, Kaizer MR, Kim D, Zhang Y. Wear behavior and microstructural characterization of translucent multilayer zirconia. *Dent Mater.* 2020;36(11):1407-1417. <https://doi.org/10.1016/j.dental.2020.08.015>

Vila-Nova TEL, Carvalho IHG, Moura DMD, Batista AUD, Zhang Y, Paskocimas CA, et al. Effect of finishing/polishing techniques and low temperature degradation on the surface topography, phase transformation and flexural strength of ultra-translucent ZrO₂ ceramic. *Dent Mater.* 2020;36(4):e126-e139. <https://doi.org/10.1016/j.dental.2020.01.004>

Wendler M, Belli R, Petschelt A, Mevec D, Harrer W, Lube T, et al. Chairside CAD/CAM materials. Part 2: flexural strength testing, *Dent Mater.* 2016;33(1):99-109. <http://dx.doi.org/10.1016/j.dental.2016.10.008>

Yang H, Xu YL, Hong G, Yu H. Effects of low-temperature degradation on the surface roughness of yttria-stabilized tetragonal zirconia polycrystal ceramics: A systematic review and meta-analysis. *J Prosthet Dent.* 2021;125(2):222-230. doi: 10.1016/j.prosdent.2020.01.005

Zhang F, Reveron H, Spies BC, Meerbeek BV, Chevalier J. Trade-off between fracture resistance and translucency of zirconia and lithium-disilicate glass ceramics for monolithic restorations. *Acta Biomater.* 2019;91:24-34. <https://doi.org/10.1016/j.actbio.2019.04.043>

Zhang Y, Keely JR. Dental Ceramics for Restoration and Metal Veneering. *Dent Clin N Am.* 2017;61(4):797-819. <https://doi.org/10.1016/j.cden.2017.06.005>

Zhang Y, Lawn BR. Novel zirconia materials in dentistry. *J Dent Res.* 2018;97(2):140-147. <https://doi.org/10.1177/0022034517737483>