

RESSALVA

Atendendo a solicitação do(a) autor(a), o texto completo desse trabalho será disponibilizado no repositório a partir de 07/08/2027.



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

AMANDA DE OLIVEIRA PINTO RIBEIRO

**GRADAÇÃO FUNCIONAL COM VIDRO EXPERIMENTAL EM
COROAS IMPLANTOSSUPORTADAS DE ZIRCÔNIA:
comportamento mecânico e biológico em estudo clínico controlado
randomizado e translacional**

AMANDA DE OLIVEIRA PINTO RIBEIRO

**GRADAÇÃO FUNCIONAL COM VIDRO EXPERIMENTAL EM COROAS
IMPLANTOSSUPORTADAS DE ZIRCÔNIA: comportamento mecânico e
biológico em estudo clínico controlado randomizado e translacional**

Tese apresentado 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 DOUTORA Programa de Pós-Graduação em CIÊNCIAS APLICADAS À SAÚDE BUCAL.

Área: Prótese. Linha de pesquisa: Biomateriais Cerâmicos.

Orientadora: Profa. Dra. Renata Marques de Melo Marinho

Coorientador: Prof. Dr. Tiago Moreira Bastos Campos

São José dos Campos

2025

Instituto de Ciência e Tecnologia [internet]. Normalização de tese e dissertação [acesso em 2025]. 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).

Ribeiro, Amanda de Oliveira Pinto

Gradação funcional com vidro experimental em coroas implantossuportadas de zircônia: comportamento mecânico e biológico em estudo clínico controlado randomizado e translacional. / Amanda de Oliveira Pinto Ribeiro. - São José dos Campos : [s.n.], 2025.

100 f. : il.

Tese (doutorado) - Pós-Graduação em Ciências Aplicadas à Saúde Bucal - Universidade Estadual Paulista (UNESP), Instituto de Ciência e Tecnologia, São José dos Campos, 2025.

Orientadora: Renata Marques de Melo Marinho

Coorientador: Tiago Moreira Bastos Campos

1. Zircônia monolítica. 2. Estudo clínico controlado randomizado. 3. Vidro de infiltração. 4. Fluido crevicular peri-implantar. 5. Biofilme subgingival. I. Marinho, Renata Marques de Melo, 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

A pesquisa contribui no desenvolvimento de materiais cerâmicos inovadores na odontologia com o intuito de proporcionar tratamento reabilitador qualificado para sociedade no âmbito do serviço público, permitindo seu acesso e promovendo saúde bucal com menor custo, alinhando ao cenário econômico-social do Brasil. Também estimula a produção de pesquisa clínica e formação científica.

POTENTIAL IMPACT OF THIS RESEARCH

This research contributes to the development of innovative ceramic materials in dentistry, aiming to provide qualified rehabilitative treatment within the public healthcare system, thereby enhancing access and promoting oral health at reduced costs, in alignment with Brazil's socio-economic context. Additionally, it fosters clinical research and scientific training.

BANCA EXAMINADORA

Profa Pesq. Renata Marques de Melo Marinho (Orientadora)

Universidade Estadual Paulista (UNESP)

Instituto de Ciência e Tecnologia

Campus de São José dos Campos

Prof. Assis. Dr João Maurício Ferraz da Silva

Universidade Estadual Paulista (UNESP)

Instituto de Ciência e Tecnologia

Campus de São José dos Campos

Prof. Tit. Dr. Alexandre Luiz Santos Borges

Universidade Estadual Paulista (UNESP)

Instituto de Ciência e Tecnologia

Campus de São José dos Campos

Prof. Adj. Dr. Elson Braga de Mello

Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ)

Faculdade de Odontologia

Rio de Janeiro

Prof. Adj. Dr. Jônatas Caldeira Esteves

Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ)

Faculdade de Odontologia

Rio de Janeiro

São José dos Campos, 07 de agosto de 2025.

DEDICATÓRIA

Dedico à minha mãe, **Josiane de Oliveira Pinto**.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus por ter me sustentado em toda essa caminhada – por me manter firme nos momentos em que pensei em desistir, por me proteger em cada viagem sozinha na estrada e ter mantido não só meu corpo, mas também a minha mente saudável, preservando minha fé em cada passo.

Agradeço ao Instituto de Ciências e Tecnologia – Campus de São José dos Campos, bem como ao Programa de Pós-graduação em Ciências Aplicadas à Saúde Bucal.

À Universidade Federal do Rio de Janeiro, em especial ao Departamento de Prótese e Materiais Dentários e ao Departamento de Clínica Odontológica.

À empresa S.I.N. implantes pela doação dos materiais para execução do trabalho.

À Ivoclar Brasil pela doação dos materiais para execução do trabalho.

Ao laboratório RHB, em especial ao Renan Bela e Solange Hammes, por toda ajuda, parceria e auxílio na manufatura das coroas, sem vocês e toda equipe não seria possível a conclusão desse trabalho.

À Fundação de Amparo de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo pela concessão do auxílio em pesquisa através do processo 2023/00580-9.

À minha orientadora Prof.^a Dr.^a Renata Marques de Melo Marinho por todo ensinamento, orientação e por ter confiado em mim nesse projeto desafiador.

Ao meu coorientador Dr. Tiago Moreira Bastos pelo apoio, disponibilidade e ideias inovadoras.

A Prof.^a Dr.^a Carina Maciel Silva Boghossian por ter me adotado, acreditado no projeto e me introduzido nesse mundo encantador que é a periodontia, bem como todos os alunos do LABEXO.

Agradeço também ao André Amorim e a Prof.^a Alessandra Filardy por disponibilizarem o laboratório IMPG e todo seu conhecimento e auxílio para realização dos experimentos.

A professora Ana Paula Colombo por disponibilizar o Laboratório de Microbiologia Oral.

Ao professor Marcos Fábio pelas ideias e disponibilização dos equipamentos.

Aos professores Jeter Bochnia e Osmar de Agostinho por auxílio nos atendimentos clínicos.

Aos meus amigos de pós-graduação que me apoiaram durante todo o caminho, em especial Ana Carolina da Silva, Laura Calvache, Larissa Barreto, Antonio Tôrres, Joyce Rodrigues, Juliana Ribeiro e Eduardo Chelin.

As minhas alunas de iniciação científica e colegas de profissão, Joyce Haus, Maria Fernanda, Juliana Assumpção e Gabrielle Menezes por toda ajuda, momentos de descontração e apoio.

A minha família, em especial Vó Tereza, irmã Fernanda, irmão Joaquim e irmão Rodolfo, meus tios queridos Jadson e Jean. Meu marido Pedro Henrique Araújo Duarte. Meus sogros, Elaine e Duarte. Meus pais, Josiane de Oliveira Pinto Ribeiro, Sergio Augusto Ribeiro. Meu padrasto João Antônio de Souza e madrasta Cenira Ribeiro.

As minhas amigas de toda uma vida, Gabriella Doutel, Jéssica Ennes, Caroline Lauritzen e Isabel Vieira. Aos amigos da UFRJ, Nicolli Meckelburg, Yasmim Nunes e Rodrigo Azevedo. Aos amigos de farda, especialmente Ana Carolina Melgaço, Michelle Araújo, Raphaella Postorivo e Giovana Salerno.

Por fim, agradeço aos pacientes que se disponibilizaram a participar do projeto de pesquisa, sendo a parte mais importante do trabalho. Obrigada por confiarem em mim em todo o tratamento.

RESUMO

Ribeiro AOP. Gradação funcional com vidro experimental em coroas implantossuportadas de zircônia: comportamento mecânico e biológico em estudo clínico controlado randomizado e translacional [tese]. São José dos Campos (SP): Universidade Estadual Paulista (Unesp), Instituto de Ciência e Tecnologia; 2025.

A infiltração de vidro em zircônia surgiu no intuito de torná-la ainda mais resistente e iniciar um caminho para restaurações indiretas sem a necessidade de estratificação com porcelana permitindo que, com suaves transições de propriedades do material e uma camada superficial de vidro, evitem-se delaminações e fratura. Ainda, é possível incluir agentes antimicrobianos na composição do pó de vidro. Essa adição pode ser altamente vantajosa, uma vez que complicações biológicas como cáries, periodontite ou peri-implantite são descritas em estudos clínicos com coroas cerâmicas. Neste estudo, o uso da tecnologia de infiltração de um vidro experimental foi testado em restaurações cerâmicas sobre implantes. O objetivo foi avaliar como o processo de gradação de vidro em coroas implantossuportadas de zircônia ultratranslúcida (5Y-PSZ) influencia no prognóstico clínico, quando comparado a coroas implantossuportadas com glaze comercial. Através de critérios pré-estabelecidos, e após assinatura do termo de consentimento livre e esclarecido, os pacientes foram eleitos para a submissão da cirurgia de instalação de implantes osseointegrados totalizando 57 instalados. Após período de osseointegração, as etapas de reabertura, confecção de provisórias, escaneamento e instalação das coroas sobre implantes parafusados em zircônia foram realizadas. Os pacientes foram randomicamente divididos em dois grupos: Zircônia ultratranslúcida e glaze comercial (GC) e zircônia ultratranslúcida e glaze experimental (GE). Os demais grupos são referentes às provisórias (P) e os dentes controles (D). Os desgastes da coroa e do dente antagonista foram analisados através do software GOM Inspect, estabilidade de cor pelo estrofotômetro VITA Easyshade® V, análise imunológica por teste ELISA e as avaliações clínicas e análise do biofilme subgingival foram verificadas por Checkerboard dos grupos GC, GE, P e D nos tempos: fase de provisória (-T), 7 dias após instalação da coroa (T0), 3 meses (T1), 6 meses (T2), 9 meses (T3) e 12 meses (T4) após a entrega. O desgaste não apresentou diferença estatisticamente significativa entre os grupos em todos os intervalos de tempo, indicando desempenho comparável do tratamento (GE) ao glaze (GC) e ao esmalte antagonista (E). Foi observado maior concentração MMP-8 no P do que em D, já para IL-6 essa diferença não foi observada estatisticamente. Em T0 e T1 não houve diferenças significativas na expressão de MMP-8 e IL-6 para os glazes testados. Quando comparado os glazes com o dente, o GC apresentou menor concentração de MMP-8 em T0 e igualou-se ao dente ao passar do tempo (T1). Já o GE se apresentou estatisticamente semelhante ao dente tanto em T0 quanto em T1, também se assemelhando ao GC nos mesmos tempos. Para IL-6 apenas o grupo comercial apresentou aumento em sua concentração ao longo de 6 meses. Para TNF- α não foi possível detectar expressão. Ocorreram episódios de fratura na região cervical em duas coroas do grupo GE, após o T0 e entre os tempos T3 e T4 e uma fratura do componente ti-base entre T2 e T3. Em relação a análise de cor não houve

diferença estatística entre os grupos GC e GE em T0 e T1. Em T0 a porcentagem de biofilme foi semelhante entre os glazes testados e ambos significativamente menor quando comparado ao dente. Para T1 nenhuma das coroas teve presença de biofilme supragengival visível. As médias de profundidade a sondagem das coroas se assemelharam entre si, com maior valor estatístico que o dente tanto em T0 quanto em T1. Para altura de tecido queratinizado, GE e GC foram semelhantes assim com a largura da papila distal. Para o Checkerboard em T0 não houve diferença estatística para os grupos GC e GE tanto para prevalência quanto para níveis, já em T1 *S. epidermidis* apresentou frequência e nível maior em GE do que em GC, *Lactobacillus* spp apresentou maior frequência em GC do que GE, sendo D semelhante ao GE. Em T2 as cepas *Mitis streptococci*, *Milleri streptococci*, *Prevotella* spp., *P. gingivalis*, *L. buccalis* e *C. albicans* apresentou maior frequência em GE do que GC enquanto *T. denticola* e *Actinomyces* spp apresentaram maior frequência em GC do que em GE. A espécie *T. socranskii* apresentou uma diminuição em sua prevalência para o grupo GC ao longo de 6 meses. Em T2 as cepas *Mitis streptococci*, *Milleri streptococci*, *L. buccalis*, *Eubacterium* spp., *C. albicans*, *C. difficile* apresentaram maior em nível para o grupo GE quando comparado ao GC. Ao longo do tempo (T0-T2) as cepas *T. socranskii* e *Lactobacillus* spp. aumentaram estatisticamente para o GC. Dessa forma, as coroas de zircônia com infiltração de vidro experimental apresentaram desempenho clínico, biológico e estético comparável ao glaze comercial, sem diferenças significativas quanto ao desgaste, estabilidade de cor ou expressão inicial de citocinas inflamatórias. O GE se comportou semelhante ao dente em diversos parâmetros sem diferença estatística na resposta inflamatória e comportamento de desgaste, enquanto o GC exibiu aumento de IL-6 ao longo do tempo. A microbiota submucosa diferiu entre os tipos de coroas e dente, sendo o grupo experimental mais semelhante aos dentes naturais neste quesito. Houve fraturas em ambos os grupos de zircônia, mas o novo material mostrou comportamento mecânico e microbiológico interessantes, sugerindo que o revestimento e gradação funcional com vidro representam uma alternativa viável para restaurações implantossuportadas melhoradas em zircônia.

Palavras-chave: zircônia monolítica; estudo clínico controlado randomizado; vidro de infiltração; fluido crevicular peri-implantar; biofilme subgengival.

ABSTRACT

Ribeiro AOP. Functional grading with experimental glass in zircônia implant-supported crowns: mechanical and biological behavior in a randomized controlled and translational clinical study [doctorate thesis]. São José dos Campos (SP): São Paulo State University (UNESP), Institute of Science and Technology; 2025.

Glass infiltration of zirconia was developed with the aim of enhancing its mechanical strength and enabling indirect restorations without the need for porcelain veneering. By promoting smooth transitions in material properties and incorporating a superficial glass layer, this approach seeks to reduce the risk of delamination and fracture. In addition, antimicrobial agents can be incorporated into the glass powder composition, which may be highly advantageous given that biological complications such as caries, periodontitis, and peri-implantitis have been reported in clinical studies involving ceramic crowns. In this study, the use of an experimental glass infiltration technology was evaluated in implant-supported ceramic restorations. The objective was to assess how the glass gradation process in ultra-translucent zirconia (5Y-PSZ) implant-supported crowns influences clinical prognosis when compared with implant-supported crowns finished with a commercial glaze. Based on predefined inclusion criteria and after obtaining informed consent, patients were selected to undergo osseointegrated implant placement, totaling 57 implants. After the osseointegration period, implant uncovering, provisional restoration fabrication, intraoral scanning, and installation of screw-retained zirconia crowns were performed. Patients were randomly allocated into two groups: ultra-translucent zirconia with commercial glaze (GC) and ultra-translucent zirconia with experimental glaze (GE). Additional groups included provisional restorations (P) and natural teeth as controls (D). Crown and antagonist tooth wear were assessed using GOM Inspect software, color stability was evaluated using a VITA Easyshade® V spectrophotometer, immunological analysis was performed by ELISA, and clinical parameters and subgingival biofilm were analyzed by Checkerboard DNA–DNA hybridization for the GC, GE, P, and D groups at the following time points: provisional phase (–T), 7 days after crown installation (T0), 3 months (T1), 6 months (T2), 9 months (T3), and 12 months (T4). No statistically significant differences in wear were observed among the groups at any time interval, indicating comparable performance of the experimental glaze (GE), commercial glaze (GC), and antagonist enamel (E). Higher concentrations of MMP-8 were observed in the provisional group compared with natural teeth, whereas no statistically significant difference was found for IL-6. At T0 and T1, no significant differences were detected in MMP-8 or IL-6 expression between the tested glazes. When compared with natural teeth, GC showed lower MMP-8 concentration at T0 and became comparable over time (T1). In contrast, GE was statistically similar to natural teeth at both T0 and T1 and also comparable to GC at these time points. For IL-6, only the commercial glaze group showed an increase in concentration over a 6-month period. TNF- α expression was not detected. Cervical fractures occurred in two GE crowns, one after T0 and another between T3 and T4, as well as one fracture of the Ti-base component between T2 and T3. No statistically significant differences in color stability were observed between GC and GE at T0 and T1. At T0, biofilm

percentage was similar between the tested glazes and significantly lower than that observed on natural teeth. At T1, no supragingival biofilm was detected on any crown. Mean probing depth values were similar between the crown groups and significantly higher than those of natural teeth at both T0 and T1. Keratinized tissue height and distal papilla width were similar between GE and GC. Checkerboard analysis at T0 showed no significant differences between GC and GE in terms of prevalence or bacterial levels. At T1, Staphylococcus epidermidis exhibited higher frequency and levels in GE than in GC, while Lactobacillus spp. showed higher frequency in GC than in GE, with natural teeth being similar to GE. At T2, Mitis streptococci, Milleri streptococci, Prevotella spp., Porphyromonas gingivalis, Lactobacillus buccalis, and Candida albicans showed higher frequency in GE than in GC, whereas Treponema denticola and Actinomyces spp. were more frequent in GC. Treponema socranskii demonstrated a reduction in prevalence in the GC group over 6 months. At T2, Mitis streptococci, Milleri streptococci, L. buccalis, Eubacterium spp., C. albicans, and Clostridioides difficile exhibited higher bacterial levels in GE compared with GC. Over time (T0–T2), T. socranskii and Lactobacillus spp. increased significantly in the GC group. Overall, zirconia crowns with experimental glass infiltration demonstrated clinical, biological, and esthetic performance comparable to that of commercial glaze, with no significant differences in wear, color stability, or early inflammatory cytokine expression. The experimental glaze behaved similarly to natural teeth across multiple parameters, without significant differences in inflammatory response or wear behavior, whereas the commercial glaze showed an increase in IL-6 over time. Submucosal microbiota differed among crown types and natural teeth, with the experimental group showing greater similarity to natural dentition. Although fractures occurred in both zirconia groups, the novel material exhibited promising mechanical and microbiological behavior, suggesting that glass coating and functional gradation represent a viable alternative for improved implant-supported zirconia restorations.

Keywords: monolithic zirconia; randomized controlled clinical trial; glass infiltration; peri-implant crevicular fluid; subgingival biofilm

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	13
2 REVISÃO DE LITERATURA.....	15
2.1 Zircônia.....	15
2.2 Infiltração de vidro e materiais com gradação funcional.....	17
2.3 Propriedades antimicrobianas	19
3 PROPOSIÇÃO	20
4 MATERIAL E MÉTODOS.....	21
4.1 População do estudo	21
4.1.1 Critérios de inclusão	21
4.1.2 Critérios de exclusão	22
4.2 Aspectos éticos da pesquisa	22
4.3 Delineamento do estudo	23
4.3.1 Planejamento	24
4.3.2 Cirurgia de implante	24
4.3.3 Confeção coroa provisória	26
4.3.4 Escaneamento intraoral	27
4.3.5 Confeção e instalação das coroas em zircônia	28
4.4 Fabricação do <i>glaze</i> experimental e sua aplicação	29
4.5 Integridade da coroa	32
4.6 Desgaste da coroa e do dente antagonista	33
4.7 Estabilidade de cor.....	34
4.8 Avaliação de marcadores inflamatórios	35
4.9 Metodologia da coleta do biofilme e análise microbiológica por <i>Checkerboard</i>	39
4.10 Avaliação e Periodontal e Peri-implantar	46
5 RESULTADO	48

5.1 Integridade da restauração (fraturas)	48
5.2 Desgaste da coroa e do dente antagonista	55
5.3 Estabilidade de cor	56
5.4 Análise imunológica	57
5.5 Análise clínicas	65
5.6 <i>Checkerboard</i>	69
6 DISCUSSÃO	80
7 CONCLUSÃO	89
REFERÊNCIAS	90
ANEXO	98

1 INTRODUÇÃO

As reabilitações implantossuportadas podem ter seu sucesso diretamente influenciado pelo material que será confeccionada a restauração (Pjetursson et al., 2018). Coroas implantossuportadas de zircônia tiveram seu advento condicionado ao desenvolvimento da manufatura digital (Pjetursson et al., 2018) e demonstram altas taxas de sucesso em reabilitações de pacientes parcialmente desdentados em regiões posteriores (Renvert et al., 2018). Tais taxas de sucesso são alcançadas devido a estética atingida com as restaurações totalmente cerâmicas, além de sua biocompatibilidade com os tecidos adjacentes e resistência a fratura (Pjetursson et al., 2021).

Apesar das altas taxas de sobrevida de coroas suportadas por implantes com estrutura de zircônia e cerâmica de cobertura (restaurações bilayers) (Pjetursson et al., 2018) a fratura das camadas de revestimento conhecida como *chipping* é uma das principais complicações técnicas desse material (Mühlemann et al., 2020). Como alternativa, a confecção de coroas implantossuportadas em zircônia monolítica sem a necessidade de aplicação de cerâmica de cobertura tornou-se usual por apresentar menor lascamento quando comparada as coroas *bilayers* (Tajti et al., 2023).

Além do *chipping*, outro desafio das zircônias de primeira geração é sua limitação estética (Kelly, Denry, 2008). Para tornar as coroas em zircônia esteticamente mais semelhante a estrutura dental, as propriedades ópticas foram desenvolvidas aumentando a translucidez do material através da redução da concentração de aditivos de alumina e aumento do teor de fase cúbica, originando as zircônias conhecidas como 4Y e 5Y-TZP (Zhang, Lawn, 2018) em detrimento da redução da resistência e tenacidade à fratura do material (Zhang et al., 2016). Tem sido demonstrado na literatura, ainda de forma *in vitro*, que essas quedas das propriedades mecânicas podem ser compensadas pela infiltração do material com vidros específicos (Sabino et al., 2024). As técnicas de maquiagem e aplicação de *glaze* fazem-se necessárias para mimetizar ainda mais a zircônia ao dente natural e podem contribuir para longevidade dessas restaurações (Barreto et al., 2023). Essa camada superficial de *glaze* responsável por conferir brilho normalmente são

capazes de modificações estruturais no laboratório com o objetivo de agregar outras propriedades ao material, através de sua gradação.

Porém, este *glaze* também está sujeito a falhas clínicas como o desgaste da superfície oposta (Belli et al., 2016) e descolamento em curto período dessa camada de revestimento (Kontonasaki et al., 2019), o que pode ser superada através do desenvolvimento dos materiais de infiltração em zircônia.

Outra dificuldade clínica encontrada é a falha biológica em próteses sobre implantes que pode ser causada por condições como mucosite ou peri-implantite em casos mais avançados, e são as principais justificativas de insucesso no tratamento reabilitador com implantes osseointegrados (Humm et al., 2023). Essa injúria irreversível dos tecidos de suporte motivada principalmente pelo acúmulo de biofilme pode ser precocemente diagnosticada através da avaliação de biomarcadores no fluido crevicular como IL-6, TNF- α e MMP-8 que atuam na cascata inflamatória (Chaparro et al., 2022, 2020; Singh et al., 2014; Zhang et al., 2018).

Pensando nas complicações apresentadas o presente grupo de pesquisa vem trabalhando com infiltração de vidro em zircônia nos últimos anos e já são inúmeros os artigos que demonstram a evolução da qualidade do vidro e dos benefícios da infiltração (Moreira Bastos Campos et al., 2021; de Oliveira Pinto Ribeiro et al., 2022; da Silva et al., 2022; Toyama et al., 2019). Apesar de promissora, ainda não há registros de ensaios clínicos que avaliem esta técnica de forma consistente. Até o momento, um único relato de caso (Trushkowsky, Zhang, 2021) apresentou a prótese fixa adesiva de um elemento, que foi preparado utilizando a infiltração de vidro na superfície de cimentação. Os autores descreveram a técnica e demonstraram bons resultados. Sendo assim foi proposto um ensaio clínico com o vidro, aplicando-o na superfície externa de coroas de zircônia 5Y-PSZ implantossuportadas, a fim de comparar sua performance à de um *glaze* comercial.

7 CONCLUSÃO

Conclui-se que, até o momento, que coroas implantossuportadas de zircônia gradadas com vidro experimental possuem comportamento clínico parecido ao do dente controle, sugerindo sucesso quanto ao comportamento clínico do novo material frente à resposta inflamatória, tendo em vista o aumento de IL-6 apenas no *glaze* comercial longitudinalmente

A fratura de algumas coroas de zircônia de ambos os grupos em momentos variados sugere que, muito provavelmente, questões relacionadas à cimentação (jateamento da coroa, baixa resistência de união ao metal do *ti-base*) ainda sejam limitantes da longevidade dessas restaurações.

A estabilidade de cor e o desgaste das coroas de zircônia ao longo do tempo foram similares em GC e GE.

A microbiota submucosa nos sítios peri-implantares é diversa e possui diferenças entre o tipo de coroa (GE e GC) e dente, sendo a microbiota de GE mais semelhante à dos dentes naturais e com potencial inibidor para algumas cepas periodontopatogênicas como *T. denticola*, *Actinomyces spp* e *T. socranskii*.

REFERÊNCIAS

- Al-Amleh B, Lyons K, Swain M. Clinical trials in zirconia: a systematic review. *J Oral Rehabil.* 2010;37(8):641–52. doi: 10.1111/j.1365-2842.2010.02094.x.
- Alves LMM, Rodrigues C da S, Ramos N de C, Buizastrow J, Campos TMB, Bottino MA, et al. Silica infiltration on translucent zirconia restorations: Effects on the antagonist wear and survivability. *Dental Materials.* 2022;38(12):2084–95. doi: 10.1016/j.dental.2022.11.015.
- Barreto LAL, Grangeiro MTV, Prado PHCO, Bottino MA, Dal Piva AMDO, Ramos NDC, et al. Effect of Finishing Protocols on the Surface Roughness and Fatigue Strength of a High-Translucent Zirconia. *Int J Dent.* 2023;2023. doi: 10.1155/2023/8882878.
- Barthelat F, Mirkhalaf M. The quest for stiff, strong and tough hybrid materials: An exhaustive exploration. *J R Soc Interface.* 2013;10(89). doi: 10.1098/rsif.2013.0711.
- Barwacz CA, Brogden KA, Stanford CM, Dawson DV, Recker EN, Blanchette D. Comparison of pro-inflammatory cytokines and bone metabolism mediators around titanium and zirconia dental implant abutments following a minimum of 6 months of clinical function. *Clin Oral Implants Res.* 2015;26(4):e35–41. doi: 10.1111/clr.12326.
- Belli R, Petschelt A, Hofner B, Hajtő J, Scherrer SS, Lohbauer U. Fracture Rates and Lifetime Estimations of CAD/CAM All-ceramic Restorations. *J Dent Res.* 2016;95(1):67–73. doi: 10.1177/0022034515608187.
- Berglundh T, Armitage G, Araujo MG, Avila-Ortiz G, Blanco J, Camargo PM, et al. Peri-implant diseases and conditions: Consensus report of workgroup 4 of the 2017 World Workshop on the Classification of Periodontal and Peri-Implant Diseases and Conditions. *J Clin Periodontol*, vol. 45. Blackwell Munksgaard; 2018. p. S286–91. doi: 10.1111/jcpe.12957.
- Bevilacqua L, De Biasi M, Lorenzon MG, Frattini C, Angerame D. Volumetric Analysis of Gingival Crevicular Fluid and Peri-Implant Sulcus Fluid in Healthy and Diseased Sites: A Cross-Sectional Split-Mouth Pilot Study. *Open Dent J.* 2016;10(1):131–8. doi: 10.2174/1874210601610010131.
- Bhasker TV, Gowda NKS, Mondal S, Krishnamoorthy P, Pal DT, Mor A, et al. Boron influences immune and antioxidant responses by modulating hepatic superoxide dismutase activity under calcium deficit abiotic stress in Wistar rats. *Journal of Trace Elements in Medicine and Biology.* 2016;36:73–9. doi: 10.1016/j.jtemb.2016.04.007.
- Bohidar SK, Sharma R, Mishra PR. Functionally Graded Materials: A Critical Review. *International Journal of Research.* 2014;1(7):289–301.
- Bollenl CML, Lambrechts P, Quirynen M. Comparison of surface roughness of oral hard materials to the threshold surface roughness for bacterial plaque retention: A review of the literature. *Dental Materials.* 1997;13(4):258–69. doi: [https://doi.org/10.1016/S0109-5641\(97\)80038-3](https://doi.org/10.1016/S0109-5641(97)80038-3).

Brodbeck U. The zireal post: a new ceramic implant abutment. *Journal of Esthetic and Restorative Dentistry*. 2003;15(1):10–24. doi: 10.1111/j.1708-8240.2003.tb00278.x.

Campos TMB, Ramos NC, Machado JPB, Bottino MA, Souza ROA, Melo RM. A new silica-infiltrated Y-TZP obtained by the sol-gel method. *J Dent*. 2016;48:55–61. doi: 10.1016/j.jdent.2016.03.004.

Çehreli MC, Kökat AM, Akça K. Results of a Randomized Controlled Clinical. *In Situ*. 2009;17(1):49–55.

Chaparro A, Sanz A, Wolnitzky A, Realini O, Bendek MJ, Betancur D, et al. Lymphocyte b and th17 chemotactic cytokine levels in peri-implant crevicular fluid of patients with healthy, peri-mucositis, and peri-implantitis implants. *Journal of Oral Research*. 2020;2020(Special Issue 1):20–5. doi: 10.17126/JORALRES.2020.029.

Chaparro A, Beltrán V, Betancur D, Sam YH, Moaven H, Tarjomani A, et al. Molecular Biomarkers in Peri-Implant Health and Disease: A Cross-Sectional Pilot Study. *Int J Mol Sci*. 2022;23(17). doi: 10.3390/ijms23179802.

Cionca N, Hashim D, Cancela J, Giannopoulou C, Mombelli A. Pro-inflammatory cytokines at zirconia implants and teeth. A cross-sectional assessment. *Clin Oral Investig*. 2016;20(8):2285–91. doi: 10.1007/s00784-016-1729-z.

Conforte JJ, Sousa CA, da Silva ACR, Ribeiro AV, Duque C, Assunção WG. Effect of *Enterococcus faecalis* Biofilm on Corrosion Kinetics in Titanium Grade 4 Alloys with Different Surface Treatments. *Materials*. 2023;16(13). doi: 10.3390/ma16134532.

da Silva AC, de Oliveira Pinto Ribeiro A, Martins Alves LM, de Camargo Ribeiro F, Campos TB, Marques de Melo Marinho R. Zirconia gradation and thermal expansion compatibility between infiltration glass and antimicrobial glass. *Ceram Int*. 2022;48(14):19746–56. doi: 10.1016/j.ceramint.2022.03.242.

da Silva AC, de Freitas Gouveia Silva J, da Silva Rodrigues C, Santos EL de S, Junqueira JC, Campos TMB, et al. Unraveling the antimicrobial mechanisms and multifunctional performance of boron-doped glass coatings on dental zirconias. *Ceram Int*. 2025; doi: 10.1016/j.ceramint.2024.11.432.

da Silva Rodrigues C, da Silva AC, Sabino CF, de Melo RM, Campos TMB. Borosilicate glass as a surface finishing alternative for improving the mechanical properties of third-generation zirconia. *Dental Materials*. 2024;40(3):477–83. doi: 10.1016/j.dental.2023.12.012.

de Carvalho IHG, da Silva NR, Vila-Nova TEL, de Fatima Dantas de Almeida L, Veríssimo AH, de Melo RM, et al. Effect of finishing/polishing techniques and aging on topography, *C. albicans* adherence, and flexural strength of ultra-translucent zirconia: an in situ study. *Clin Oral Investig*. 2022;26(1):889–900. doi: 10.1007/s00784-021-04068-3.

de Oliveira Pinto Ribeiro A, Carolina da Silva A, de Camargo Ribeiro F, Sabino CF, Junqueira JC, de Paula Ramos L, et al. Biofilm formation and cell viability on

monolithic zirconia with silver-doped sodalime glass. *J Mech Behav Biomed Mater.* 2022;131. doi: 10.1016/j.jmbbm.2022.105222.

Denry I, Kelly JR. State of the art of zirconia for dental applications. *Dental Materials.* 2008;24(3):299–307. doi: 10.1016/j.dental.2007.05.007.

Esteban-Tejeda L, Malpartida F, Esteban-Cubillo A, Pecharromán C, Moya JS. The antibacterial and antifungal activity of a soda-lime glass containing silver nanoparticles. *Nanotechnology.* 2009;20(8). doi: 10.1088/0957-4484/20/8/085103.

Ghodsi S, Jafarian Z. A Review on Translucent Zirconia. *Eur J Prosthodont Restor Dent.* 2018;26(2):62–74. doi: 10.1922/EJPRD_01759Ghodsi13.

Gimenez-Gonzalez B, Setyo C, Picaza MG, Tribst JPM. Effect of defect size and tooth anatomy in the measurements of a 3D patient monitoring tool. *Heliyon.* 2022;8(12). doi: 10.1016/j.heliyon.2022.e12103.

Guazzato M, Albakry M, Ringer SP, Swain M V. Strength, fracture toughness and microstructure of a selection of all-ceramic materials. Part II. Zirconia-based dental ceramics. *Dental Materials.* 2004;20(5):449–56. doi: 10.1016/j.dental.2003.05.002.

Hannink RHJ, Kelly PM, Muddle BC. Transformation toughening in zirconia-containing ceramics. *Journal of the American Ceramic Society.* 2000;83(3):461–87. doi: 10.1111/j.1151-2916.2000.tb01221.x.

Heitz-Mayfield LJA, Salvi GE. Peri-implant mucositis. *J Clin Periodontol.* 2018;45:S237–45. doi: 10.1111/jcpe.12953.

Hench LL. The story of Bioglass®. *J Mater Sci Mater Med*, vol. 17. 2006. p. 967–78. doi: 10.1007/s10856-006-0432-z.

Herrera D, Berglundh T, Schwarz F, Chapple I, Jepsen S, Sculean A, et al. Prevention and treatment of peri-implant diseases—The EFP S3 level clinical practice guideline. *J Clin Periodontol.* 2023;50(S26):4–76. doi: 10.1111/jcpe.13823.

Humm VL, Sailer I, Thoma DS, Hämmerle CHF, Jung RE, Zembic A. 13-year follow-up of a randomized controlled study on zirconia and titanium abutments. *Clin Oral Implants Res.* 2023;34(9):911–9. doi: 10.1111/clr.14117.

Kaizer MR, Bano S, Borba M, Garg V, dos Santos MBF, Zhang Y. Wear Behavior of Graded Glass/Zirconia Crowns and Their Antagonists. *J Dent Res.* 2019;98(4):437–42. doi: 10.1177/0022034518820918.

Karasan D, Pitta J, Zarauz C, Strasding M, Liu X, Fehmer V, et al. The influence of titanium-base abutment geometry and height on mechanical stability of implant-supported single crowns. *Clin Oral Implants Res.* 2024;35(8):1033–41. doi: 10.1111/clr.14207.

Kim HK, Ahn B. Effect of Al₂O₃ sandblasting particle size on the surface topography and residual compressive stresses of three different dental zirconia grades. *Materials.* 2021;14(3):1–19. doi: 10.3390/ma14030610.

Kim HK, Yoo KW, Kim SJ, Jung CH. Phase transformations and subsurface changes in three dental zirconia grades after sandblasting with various Al_2O_3 particle sizes. *Materials*. 2021;14(18). doi: 10.3390/ma14185321.

Koenig V, Bekaert S, Dupont N, Vanheusden A, Le Goff S, Douillard T, et al. Intraoral low-temperature degradation of monolithic zirconia dental prostheses: Results of a prospective clinical study with ex vivo monitoring. *Dental Materials*. 2021;37(7):1134–49. doi: 10.1016/j.dental.2021.03.008.

Kolakarnprasert N, Kaizer MR, Kim DK, Zhang Y. New multi-layered zirconias: Composition, microstructure and translucency. *Dental Materials*. 2019;35(5):797–806. doi: 10.1016/j.dental.2019.02.017.

Kontonasaki E, Rigos AE, Ilia C, Istantos T. Monolithic zirconia: An update to current knowledge. Optical properties, wear, and clinical performance. *Dent J (Basel)*. 2019;7(3). doi: 10.3390/dj7030090.

Kumar Y, Jain V, Chauhan SS, Bharate V, Koli D, Kumar M. Influence of different forms and materials (zirconia or titanium) of abutments in peri-implant soft-tissue healing using matrix metalloproteinase-8: A randomized pilot study. *Journal of Prosthetic Dentistry*. 2017;118(4):475–80. doi: 10.1016/j.prosdent.2016.11.017.

Kwon SJ, Lawson NC, McLaren EE, Nejat AH, Burgess JO. Comparison of the mechanical properties of translucent zirconia and lithium disilicate. *Journal of Prosthetic Dentistry*. 2018;120(1):132–7. doi: 10.1016/j.prosdent.2017.08.004.

Lavigne SE. The 2018 AAP/EFP Classification of Periodontal & Peri-implant Diseases. 2017.

Lușan SAL, Lucaciu OP, Petrescu NB, Mirică IC, Toc DA, Albu S, et al. Exploring Peri-Implantitis Risk-Factors: A Cross-Sectional Study. *Dent J (Basel)*. 2025;13(4). doi: 10.3390/dj13040148.

López-Esteban S, Bartolomé JF, Díaz LA, Esteban-Tejeda L, Prado C, López-Piriz R, et al. Mechanical performance of a biocompatible biocide soda-lime glass-ceramic. *J Mech Behav Biomed Mater*. 2014;34:302–12. doi: 10.1016/j.jmbbm.2014.02.019.

Mao L, Kaizer MR, Zhao M, Guo B, Song YF, Zhang Y. Graded Ultra-Translucent Zirconia (5Y-PSZ) for Strength and Functionalities. *J Dent Res*. 2018;97(11):1222–8. doi: 10.1177/0022034518771287.

Mariotti A, Hefti AF. Defining periodontal health. *BMC Oral Health*. 2015;15(1). doi: 10.1186/1472-6831-15-S1-S6.

Mochales C, Maerten A, Rack A, Cloetens P, Mueller WD, Zaslansky P, et al. Monoclinic phase transformations of zirconia-based dental prostheses, induced by clinically practised surface manipulations. *Acta Biomater*. 2011;7(7):2994–3002. doi: 10.1016/j.actbio.2011.04.007.

Moreira Bastos Campos T, Marques de Melo Marinho R, de Oliveira Pinto Ribeiro A, Larissa do Amaral Montanheiro T, Carolina da Silva A, Thim GP. Microstructure and

mechanical properties of fully sintered zirconia glazed with an experimental glass. *J Mech Behav Biomed Mater.* 2021;113. doi: 10.1016/j.jmbbm.2020.104093.

Moya JS, Esteban-Tejeda L, Pecharromán C, Mello-Castanho SRH, Da Silva AC, Malpartida F. Glass powders with a high content of calcium oxide: A step towards a “green” universal biocide. *Adv Eng Mater.* 2011;13(6). doi: 10.1002/adem.201080133.

Mühlemann S, Lakha T, Jung RE, Hämmerle CHF, Benic GI. Prosthetic outcomes and clinical performance of CAD-CAM monolithic zirconia versus porcelain-fused-to-metal implant crowns in the molar region: 1-year results of a RCT. *Clin Oral Implants Res.* 2020;31(9):856–64. doi: 10.1111/clr.13631.

Okkar Kyaw, Inokoshi M, Kanazawa M. Tribological aspects of enamel wear caused by zirconia and lithium disilicate: A meta-narrative review. *Japanese Dental Science Review.* 2024;60:258–70. doi: 10.1016/j.jdsr.2024.11.001.

Paravina RD, Ghinea R, Herrera LJ, Bona AD, Igiel C, Linninger M, et al. Color difference thresholds in dentistry. *Journal of Esthetic and Restorative Dentistry.* 2015;27(S1):S1–9. doi: 10.1111/jerd.12149.

Piconi C, Maccauro G. Zirconia as a ceramic biomaterial. *Biomaterials.* 1999;20(1):1–25. doi: 10.1016/S0142-9612(98)00010-6.

Pjetursson BE, Valente NA, Strasding M, Zwahlen M, Liu S, Sailer I. A systematic review of the survival and complication rates of zirconia-ceramic and metal-ceramic single crowns. *Clin Oral Implants Res.* 2018;29:199–214. doi: 10.1111/clr.13306.

Pjetursson BE, Sailer I, Latyshev A, Rabel K, Kohal RJ, Karasan D. A systematic review and meta-analysis evaluating the survival, the failure, and the complication rates of veneered and monolithic all-ceramic implant-supported single crowns. *Clin Oral Implants Res.* 2021;32(S21):254–88. doi: 10.1111/clr.13863.

Quirynen M, Vogels R, Peeters W, Van Steenberghe D, Naert I, Haffajee A. Dynamics of initial subgingival colonization of “pristine” peri-implant pockets. *Clin Oral Implants Res.* 2006;17(1):25–37. doi: 10.1111/j.1600-0501.2005.01194.x.

Ramos NC, Kaizer MR, Campos TMB, Kim J, Zhang Y, Melo RM. Silica-Based Infiltrations for Enhanced Zirconia-Resin Interface Toughness. *J Dent Res.* 2019;98(4):423–9. doi: 10.1177/0022034518819477.

Renvert S, Persson GR, Pirih FQ, Camargo PM. Peri-implant health, peri-implant mucositis, and peri-implantitis: Case definitions and diagnostic considerations. *J Clin Periodontol.* 2018;45:S278–85. doi: 10.1111/jcpe.12956.

Sabino CF, Agarwalla SV, da Silva Rodrigues C, da Silva AC, Campos TMB, Tan KS, et al. Boron-containing coating yields enhanced antimicrobial and mechanical effects on translucent zirconia. *Dental Materials.* 2024;40(1):37–43. doi: 10.1016/j.dental.2023.10.011.

Săndulescu M, Daniel Sîrbu V, Popovici IA. Review Bacterial species associated with peri-implant disease-a literature review. 2023.

Sant LJ, Stalin K, Dilbaghi N, Kumar S, Tawale J, Singh SP, et al. Antimicrobial Activity of Zirconia (ZrO_2) Nanoparticles and Zirconium Complexes. vol. 12. 2012.

Sayin Z, Ucan US, Sakmanoglu A. Antibacterial and Antibiofilm Effects of Boron on Different Bacteria. *Biol Trace Elem Res*. 2016;173(1):241–6. doi: 10.1007/s12011-016-0637-z.

Schriwer C, Skjold A, Gjerdet NR, Øilo M. Monolithic zirconia dental crowns. Internal fit, margin quality, fracture mode and load at fracture. *Dental Materials*. 2017;33(9):1012–20. doi: 10.1016/j.dental.2017.06.009.

Sharma G, Wu W, Dalal EN. The CIEDE2000 Color-Difference Formula: Implementation Notes, Supplementary Test Data, and Mathematical Observations. *Col Res Appl*. 2005;30:21–30. doi: 10.1002/col.

Silva-Boghossian C, Colombo Andrea, Souto R, Colombo Ana. In vivo evaluation of the effect of essential oil-containing oral strips on salivary bacteria using the checkerboard method. *J Clin Dent*. 2005;16:38–43.

Silva-Boghossian CM, Duarte PT, Silva DG da, Lourenço TGB, Colombo APV. Colonization dynamics of subgingival microbiota in recently installed dental implants compared to healthy teeth in the same individual: a 6-month prospective observational study. *Journal of Applied Oral Science*. 2023;31. doi: 10.1590/1678-7757-2023-0134.

Singh P, Gupta ND, Bey A, Khan S. Salivary TNF-alpha: A potential marker of periodontal destruction. *J Indian Soc Periodontol*. 2014;18(3):306–10. doi: 10.4103/0972-124X.134566.

Socransky SS, Smith C, Martin L, Paster BJ, Dewhirst FE, Levin AE. "Checkerboard" DNA-DNA hybridization. *Biotechniques*. 1994;17(4):788–92.

Tajti P, Solyom E, Czumbel LM, Szabó B, Fazekas R, Németh O, et al. Monolithic zirconia as a valid alternative to metal-ceramic for implant-supported single crowns in the posterior region: A systematic review and meta-analysis of randomized controlled trials. *Journal of Prosthetic Dentistry*. 2023; doi: 10.1016/j.prosdent.2023.05.006.

Temel H, Atlan M, Türkmenoğlu B, Ertaş A, Erdönmez D, Çalışkan UK. In silico and biological activity evaluation of quercetin-boron hybrid compounds, anti-quorum sensing effect as alternative potential against microbial resistance. *Journal of Trace Elements in Medicine and Biology*. 2023;77. doi: 10.1016/j.jtemb.2023.127139.

Thompson JY, Stoner BR, Piascik JR, Smith R. Adhesion/cementation to zirconia and other non-silicate ceramics: Where are we now? *Dental Materials*. 2011;27(1):71–82. doi: 10.1016/j.dental.2010.10.022.

Tien CL, Lee CC, Chuang KP, Jaing CC. Simultaneous determination of the thermal expansion coefficient and the elastic modulus of Ta₂O₅ thin film using phase shifting interferometry. *J Mod Opt*. 2000;47(10):1681–91. doi: 10.1080/09500340008231417.

Toyama DY, Alves LMM, Ramos GF, Campos TMB, de Vasconcelos G, Borges ALS, et al. Bioinspired silica-infiltrated zirconia bilayers: Strength and interfacial bonding. *J Mech Behav Biomed Mater*. 2019;89:143–9. doi: 10.1016/j.jmbbm.2018.09.013.

Triwatana P, Nagaviroj N, Tulapornchai C. Clinical performance and failures of zirconia-based fixed partial dentures: A review literature. *Journal of Advanced Prosthodontics*. 2012;4(2):76–83. doi: 10.4047/jap.2012.4.2.76.

Trushkowsky RD, Zhang Y. Conservative Esthetic Replacement of a Missing Anterior Tooth Using a One-Wing Fixed Dental Prosthesis Made of Monolithic Zirconia With an Intaglio of Glass Infiltration HHS Public Access. vol. 42. 2021.

Vagropoulou GI, Klifopoulou GL, Vlahou SG, Hirayama H, Michalakis K. Complications and survival rates of inlays and onlays vs complete coverage restorations: A systematic review and analysis of studies. *J Oral Rehabil*. 2018;45(11):903–20. doi: 10.1111/joor.12695.

Vieira Colombo AP, Magalhães CB, Hartenbach FARR, Martins do Souto R, Maciel da Silva-Boghossian C. Periodontal-disease-associated biofilm: A reservoir for pathogens of medical importance. *Microb Pathog*. 2015;94:27–34. doi: 10.1016/j.micpath.2015.09.009.

Wang Y, Wu Y, Yang H, Xue X, Liu Z. Co-doping TiO₂ with boron and/or yttrium elements: Effects on antimicrobial activity. *Materials Science and Engineering: B*. 2016;211:149–55. doi: 10.1016/j.mseb.2016.07.003.

Xu S, Yang X, Chen X, Shao H, He Y, Zhang L, et al. Effect of borosilicate glass on the mechanical and biodegradation properties of 45S5-derived bioactive glass-ceramics. *J Non Cryst Solids*. 2014;405:91–9. doi: 10.1016/j.jnoncrysol.2014.09.002.

Yan J, Kaizer MR, Zhang Y. Load-bearing capacity of lithium disilicate and ultra-translucent zirconias. *J Mech Behav Biomed Mater*. 2018;88:170–5. doi: 10.1016/j.jmbbm.2018.08.023.

Zhang F, Inokoshi M, Batuk M, Hadermann J, Naert I, Van Meerbeek B, et al. Strength, toughness and aging stability of highly-translucent Y-TZP ceramics for dental restorations. *Dental Materials*. 2016;32(12):e327–37. doi: 10.1016/j.dental.2016.09.025.

Zhang L, Li X, Yan H, Huang L. Salivary matrix metalloproteinase (MMP)-8 as a biomarker for periodontitis. *Medicine (United States)*. 2018;97(3). doi: 10.1097/MD.00000000000009642.

Zhang Y, Kim JW. Graded structures for damage resistant and aesthetic all-ceramic restorations. *Dental Materials*. 2009;25(6):781–90. doi: 10.1016/j.dental.2009.01.002.

Zhang Y, Chai H, Lee JJW, Lawn BR. Chipping resistance of graded zirconia ceramics for dental crowns. *J Dent Res*. 2012;91(3):311–5. doi: 10.1177/0022034511434356.

Zhang Y. Making yttria-stabilized tetragonal zirconia translucent. *Dental Materials*. 2014;30(10):1195–203. doi: 10.1016/j.dental.2014.08.375.

Zhang Y, Lawn BR. Novel Zirconia Materials in Dentistry. *J Dent Res*. 2018;97(2):140–7. doi: 10.1177/0022034517737483.