

RESSALVA

Atendendo a solicitação do(a) autor(a), o texto completo desse trabalho será disponibilizado no repositório a partir de 23/02/2028.



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

LUCAS TADEU PEREIRA DOS SANTOS

**ZIRCÔNIA ODONTOLÓGICA ESTABILIZADA COM 8% MOL DE
ÍTRIA: caracterização microestrutural, propriedades mecânicas e
óptica**

LUCAS TADEU PEREIRA DOS SANTOS

**ZIRCÔNIA ODONTOLÓGICA ESTABILIZADA COM 8% MOL DE ÍTRIA:
caracterização microestrutural, propriedades mecânicas e óptica**

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 MESTRE, pelo Programa de Pós-Graduação em CIÊNCIAS APLICADAS À SAÚDE BUCAL.

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

Orientadora: Profa. Assist. Dra. Nathália de Carvalho Ramos Ribeiro

Coorientador: Profa. Dra. Rossana Reim Del' Gaudio Pignataro

São José dos Campos

2026

Instituto de Ciência e Tecnologia [internet]. Normalização de tese e dissertação [acesso em 2026]. 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).

Santos, Lucas Tadeu Pereira dos

Zircônia odontológica estabilizada com 8% mol de ítria: caracterização microestrutural, propriedades mecânicas e óptica / Lucas Tadeu Pereira dos Santos. - São José dos Campos : [s.n.], 2026.

87 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, 2026.

Orientador: Nathália de Carvalho Ramos Ribeiro

Coorientador: Rossana Reim Del' Gaugio Pignataro

1. Zircônia dentária . 2. Cerâmica . 3. Propriedades mecânicas . 4. Ítrio. 5. Propriedades ópticas. I. Ribeiro, Nathália de Carvalho Ramos, orient. II. Pignataro, Rossana Reim Del' Gaugio, 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

Este estudo contribui para o conhecimento da relação entre microestrutura e propriedades ópticas e mecânicas em zircônia odontológica experimental, ao caracterizar a 8Y-FSZ e compará-la à 5Y-PSZ, auxiliando na determinação de materiais de alta translucidez com equilíbrio entre estética e resistência.

POTENTIAL IMPACT OF THIS RESEARCH

This study contributes to the understanding of the relationship between microstructure and the optical and mechanical properties of experimental dental zirconia by characterizing 8Y-FSZ and comparing it with 5Y-PSZ, assisting in the determination of highly translucent materials with a balance between esthetics and strength.

BANCA EXAMINADORA

Profa. Assist. Dra. Nathália de Carvalho Ramos Ribeiro (Orientadora)

Universidade Estadual Paulista (Unesp)

Instituto de Ciência e Tecnologia

Campus de São Jose dos Campos

Pesquisadora II Dra. Renata Marques de Melo Marinho

Universidade Estadual Paulista (Unesp)

Instituto de Ciência e Tecnologia

Campus de São Jose dos Campos

Prof. Dra. Carolina Machado Martinelli Lobo

Centro Universitário Braz Cubas

Faculdade de Odontologia

Campus de Mogi das Cruzes

São José dos Campos, 23 de Fevereiro de 2026.

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho aos meus pais, **Marizilda e Raimundo**, por nunca medirem esforços para me ajudar a chegar até aqui, ao amor transformador que demonstram diariamente, de uma forma individual, mas que mesmo eu estando longe há alguns anos, sempre estavam lá para me acolher quando eu voltava para casa. Eu não seria absolutamente nada do que sou hoje se não fosse pelo esforço, confiança, apoio, educação e amor que vocês depositaram e depositam em mim até hoje. Sou espelho de tudo o que vocês me lapidaram a ser, e espero que, onde quer que eu chegue, possa sempre ser motivo de orgulho de vocês. Esse título é nosso. Amo vocês para além da vida.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a **Deus**, por me abençoar em todos os momentos da minha vida, mas em especial, sua vontade e suas ações sempre se fizeram presentes desde antes de iniciar a graduação, a qual eu não conseguiria me formar se não através de bençãos e pessoas iluminadas enviadas pelo senhor. Tampouco, não conseguiria conquistar este título sem tua vontade. Sou instrumento de suas vontades e levarei seus ensinamentos em todo e qualquer gesto que meu corpo fizer.

Agradeço a toda minha família que são mais do que uma rede de proteção para mim. Tenho orgulho em dizer que sou obra de uma enfermeira e um motorista, que hoje se torna mestre e isso é tudo graças a vocês, minha mãe **Marizilda Santos**, que desde que me conheço por gente, sempre dedicou cada segundo da sua vida aos seus filhos, muito antes de pensar em suas próprias vontades, sempre levou nossas necessidades como prioridade, e mesmo que isso custasse muito de sua própria vida, ela sempre esteve ali para nós. Aproveito para deixar registrado aqui toda a minha admiração, amor, respeito. Faltam palavras para descrever o que sinto por essa mulher. Eu não seria capaz de fazer ou de ser metade do que ela é, então eu me dedico diariamente para ser um filho que esteja à altura de todo seu ser. Minha maior cúmplice, minha vida. Eu te amo infinitamente, e espero que cada passo que eu der, te encha de orgulho, porque isso é o que me motiva diariamente. Ao meu pai **Raimundo Santos**, que é meu herói, que batalha, luta, e me protege desde as coisas mais simples da vida, até as ameaças que eventualmente podem me atingir. Seu apoio, preocupação, empenho em me ajudar a fazer qualquer coisa, difícil ou fácil, mas sempre esteve aqui por mim. Eu te amo. Ao meu irmão **Felipe Mateus**, que me desejou muito antes de eu nascer, e que me carrega nos braços até hoje nos momentos que eu mais preciso. Com certeza uma das minhas maiores saudades desde que sai de casa e ter sua companhia diária, mesmo brigando por coisas pequenas que irmãos costumam brigar. Eu te amo muito, e sou muito grato à Deus por ter um irmão como você. A minha avó **Sinhoninha** e minha cunhada **Larissa Andrade**, que sempre me acolhem com muito amor.

Aos meus amigos de São José dos Campos, os quais faço questão de agradecer individualmente, por serem mais do que amigos de pós-graduação. **Clarisse Maria**, minha dupla de todos as horas, que compartilho todos os momentos, felizes ou tristes. **Pollyanna Vieira**, a amizade mais sincera e leve que eu encontrei e definitivamente cultivarei por toda vida, e seu marido **Raimundo Nonato**, que me acolheu maravilhosamente bem e me sinto protegido todos os dias por ter este casal ao meu lado como amigos. **Leonardo Sobral**, meu amigo de república, mas que se tornou muito além disso, um irmão de consideração que a Unesp me presenteou, e sua namorada **Thays Marques**, o ser de luz mais puro e amoroso que existe. **Luisa Passarelli e Larissa Haddad**, nossa conexão, cumplicidade, amizade, carinho, são inexplicáveis. Vocês duas são inigualáveis. Eu amo todos vocês, a importância de vocês para mim é inexplicável. E meus amigos de pós-graduação, **Nathália Gonçalves, Paula Miranda, Samir Leite, Carolina Gonzales, Karina Barbosa, Amir Demachkia, Antonio Tôrres, Larissa Barreto, Talita Queiroz, Luisa Battistelli, Livia Dorta, Luis Augusto, Juliana Loop.**

Ao meu melhor amigo **Matheus Assis**, o qual leva a autoria da epígrafe deste trabalho, que sempre esteve comigo, um dos maiores incentivadores para eu fazer esse mestrado, o maior presente que Deus me deu durante a minha vida. Nós costumamos dizer que nossa amizade foi um encontro de almas. E isso é concretizado diariamente. Minha maior saudade desde que me mudei de Bragança Paulista para São José. Você é uma inspiração de profissional, de filho, de ser humano. Todas as pessoas conheceram e conhecerão o Matheus Assis antes de conhecer o Lucas Tadeu. Eu te amo por toda minha vida e muito além dela. E aos meus amigos de Bragança, **Joice Losano, Gustavo Silva, Thiago Dantas, Ariel**, que possuem a capacidade de recarregar minhas energias todas as vezes que nos reencontramos, e é incrível como, independentemente do tempo que passar, nossa amizade permanece a mesma. Amo vocês. E minhas eternas companheiras de graduação **Thaís Lira, Alice Furlaneto e Edilaine Barbosa**, a amizade de vocês significa muito.

Agradeço a minha orientadora **Nathália Ramos**. Primeiramente, eu não tenho palavras para expressar minha gratidão por você. Você foi minha guia, minha professora, conselheira, amiga, desde o primeiro ano de graduação, e ter você hoje como orientadora no mestrado é algo extremamente simbólico. Que fique registrado minha mais profunda admiração por essa mulher, sua força, resiliência, inteligência. Você é extraordinária. Obrigado por tornar esse momento possível, tudo isso também é graças a você.

A minha coorientadora **Rossana Pignataro**, que me ensinou e me apresentou um lado da pesquisa científica que eu não conhecia. Você foi muito importante para meu amadurecimento.

Agradeço a todos os **Professores da Faculdade de Odontologia da Unesp de São José dos Campos** e do Programa de Pós-graduação em Ciências Aplicadas à Saúde Bucal. Em especial, agradeço ao nosso coordenador, Professor **Alexandre Borges**, que me acolheu em seu grupo de pesquisa e possibilitou estar envolvido em projetos incríveis, me ensinou e incentivou a coorientar minhas primeiras alunas de Iniciação Científica. **Marco Antônio Bottino**, que sempre me acolheu e me tratou de uma forma extremamente doce e afetuosa. **João Maurício**, que possui uma didática clínica como nenhum outro e faz com que os alunos evoluam junto com ele. **Cláudio Talge**, que mesmo sendo de outro departamento, me confiou a oportunidade de me envolver em uma dissertação e coorientar uma aluna de TCC, **Natália Botelho**, a qual tenho um carinho enorme. E aos técnicos de laboratório e funcionários do departamento de materiais odontológicos e prótese, **Fernando Fontes**, **Jualiane Damasceno**, **Lilian Vilela**, **Marco Alfredo**, que tornam nossos dias melhores nessa trajetória de pós-graduação. Sou extremamente grato a vocês.

Obrigado as Professoras que compuseram a banca examinadora desta defesa, que disponibilizaram tempos valiosos de suas vidas para engrandecer neste trabalho. Prof.^a **Renata Melo**, que esteve comigo desde o primeiro dia de pós-graduação, e que diariamente me ensinou muito, principalmente sobre o mundo das cerâmicas. Que honra e privilégio é poder aprender com uma professora como a senhora. E a Prof.^a **Jéssica**

Dias Santos, a qual sou suspeito em dizer que, além de uma excelente professora, é um ser humano lindo. Me ensinou basicamente tudo o que sei de Prótese dentária, além de me proporcionar acompanhá-la em contraturnos durante a graduação, para ficar mais próximo da área que escolhi, mas também aprender a como ser um docente empático, doce e responsável. Seus nomes não foram considerados em vão, saibam que levo vocês duas como inspiração.

Agradeço a **Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”**, e ao **Instituto de Ciência e Tecnologia de São José dos Campos**, por abrirem portas que eu jamais imaginaria atravessar. Sou muito grato por todas as oportunidades que me foram confiadas.

A **Universidade São Francisco**, a qual sou fruto de graduação, e que por muito tempo, foi meu lar e que me apresentou todas as melhores e principais pessoas que fazem parte da minha vida hoje, a maioria citada neste agradecimento.

Agradeço à **Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES)** pela bolsa de demanda social recebida no final desta etapa, e pela manutenção de nosso programa de pós-graduação. E agradeço a **Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo** pelo auxílio **FAPESP #2024/21481-8**.

“Posso ser estampado como o que chora, mas nunca como o que finge. Como o que fala, mas nunca o que omite. Apesar de poder se expressar e de se lançar nas paixões, chorar de emoção, viver em explosão, todas essas coisas dependem do arbítrio de se permitir viver intensamente, no meu caso, não pouco, não miúdo, não calado, não contentado, mas muito profundo, imenso, adentro”. **Matheus Assis**.

RESUMO

Santos LTP. Zircônia odontológica estabilizada com 8% mol de ítria: caracterização microestrutural, propriedades mecânicas e óptica [dissertação]. São José dos Campos (SP): Universidade Estadual Paulista (UNESP), Instituto de Ciência e Tecnologia; 2026.

Este estudo teve por objetivo caracterizar a microestrutura e avaliar as propriedades mecânicas e a translucidez de uma zircônia odontológica estabilizada com 8% mol de ítria (8Y-FSZ), em comparação com a zircônia 5Y-PSZ. Discos cerâmicos ($\varnothing 12 \times 1,2$ mm) foram confeccionados ($n=40$) por prensagem e sinterizados conforme as recomendações do fabricante (Tosoh, Japão). A caracterização microestrutural foi realizada por microscopia eletrônica de varredura (MEV), espectroscopia por dispersão de energia (EDS) e difração de raios-X (DRX). As propriedades mecânicas avaliadas incluíram dureza Vickers ($n=3$), tenacidade à fratura por indentação ($n=3$), resistência à flexão biaxial ($n=30$), módulo elástico, que foi determinado pelo método da excitação por impulso e incluiu coeficiente de Poisson e módulo de rigidez transversal ($n=3$), além da densidade. A translucidez foi determinada pelos parâmetros TP_{00} . A difração de raios-x indicou estabilização total da zircônia 8Y e estrutura bifásica (T-C) para zircônia 5Y. Além disso, a microscopia eletrônica de varredura da zircônia 8Y-FSZ apresentou maiores valores médios de tamanho do grão ($4,23 \pm 1,210 \mu\text{m}$) em relação à 5Y-PSZ ($0,96 \pm 0,061$). Não houve diferença significativa na dureza entre os grupos ($p=0,077$), enquanto a tenacidade à fratura e a resistência à flexão biaxial foram significativamente maiores para a zircônia 5Y-PSZ ($4,65 \pm 0,912 \text{ MPa}\cdot\text{m}^{1/2}$, $504 \pm 126,4 \text{ MPa}$, respectivamente) do que para a 8Y-FSZ ($1,63 \pm 0,467 \text{ MPa}\cdot\text{m}^{1/2}$, $296 \pm 93,5 \text{ MPa}$, respectivamente), que também apresentou maior confiabilidade estrutural segundo a análise de Weibull. Diferenças estatísticas foram observadas para o módulo elástico e o coeficiente de Poisson ($p=0,037$ e $p=0,002$, respectivamente), sem variação significativa no módulo de rigidez transversal ($p=0,806$) e na densidade ($p=0,360$). A análise fractográfica indicou predominância de defeitos superficiais associados a origem das fraturas para todos os grupos. Em relação às propriedades ópticas, a zircônia 5Y-PSZ apresentou maior translucidez ($TP_{00}=10,15$) em comparação à 8Y-FSZ ($TP_{00}=3,0$). Assim, é possível concluir que zircônias totalmente estabilizadas em fase cúbica apresentaram microestrutura compatível com cerâmicas densificadas após sinterização convencional, com fases cristalinas, morfologia e distribuição de grãos características de cerâmicas policristalinas. De modo geral, a zircônia 5Y-PSZ apresentou desempenho superior, especialmente quanto às propriedades mecânicas, enquanto a zircônia 8Y-FSZ, embora adequadamente densificada, apresentou limitações mecânicas e ópticas.

Palavras-chave: zircônia dentária; cerâmica; propriedades mecânicas; ítrio; propriedades ópticas.

ABSTRACT

Santos LTP. Dental zirconia stabilized with 8% mol of yttria: microstructural characterization, mechanical and optical properties [dissertation]. São José dos Campos (SP): São Paulo State University (UNESP), Institute of Science and Technology; 2026.

This study aimed to characterize the microstructure and evaluate the mechanical properties and translucency of an 8 mol% yttria-stabilized dental zirconia (8Y-FSZ), in comparison with 5Y-PSZ zirconia. Ceramic discs ($\text{Ø}12 \times 1.2 \text{ mm}$) were fabricated ($n=40$) by pressing and sintered according to the manufacturer's recommendations (Tosoh, Japan). Microstructural characterization was performed using scanning electron microscopy (SEM), energy-dispersive spectroscopy (EDS), and X-ray diffraction (XRD). The mechanical properties evaluated included Vickers hardness ($n=3$), indentation fracture toughness ($n=3$), biaxial flexural strength ($n=30$), and elastic modulus, which was determined by the impulse excitation technique and included Poisson's ratio and shear modulus ($n=3$), in addition to density. Translucency was determined using the TP00 parameter. X-ray diffraction indicated full stabilization of 8Y zirconia and a biphasic structure (T-C) for 5Y zirconia. Furthermore, SEM analysis of 8Y-FSZ zirconia revealed higher mean grain size values ($4.23 \pm 1.210 \mu\text{m}$) compared with 5Y-PSZ ($0.96 \pm 0.061 \mu\text{m}$). No significant difference in hardness was observed between the groups ($p=0.077$), whereas fracture toughness and biaxial flexural strength were significantly higher for 5Y-PSZ zirconia ($4.65 \pm 0.912 \text{ MPa}\cdot\text{m}^{1/2}$ and $504 \pm 126.4 \text{ MPa}$, respectively) than for 8Y-FSZ ($1.63 \pm 0.467 \text{ MPa}\cdot\text{m}^{1/2}$ and $296 \pm 93.5 \text{ MPa}$, respectively), which also exhibited higher structural reliability according to Weibull analysis. Statistically significant differences were observed for elastic modulus and Poisson's ratio ($p=0.037$ and $p=0.002$, respectively), with no significant variation in shear modulus ($p=0.806$) or density ($p=0.360$). Fractographic analysis indicated a predominance of surface defects associated with fracture origin for all groups. Regarding optical properties, 5Y-PSZ zirconia showed higher translucency ($\text{TP00}=10.15$) compared with 8Y-FSZ ($\text{TP00}=3.0$). Thus, it can be concluded that fully cubic-stabilized zirconias exhibited a microstructure compatible with densified ceramics after conventional sintering, with crystalline phases, morphology, and grain distribution characteristics of polycrystalline ceramics. Overall, 5Y-PSZ zirconia demonstrated superior performance, especially in mechanical properties, whereas 8Y-FSZ zirconia, although adequately densified, presented mechanical and optical limitations.

Keywords: dental zirconia; ceramics; mechanical properties; yttrium; optical properties.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Representação das formas alotrópicas de zircônia.....	26
Figura 2 - Pesagem do pó de zircônia em uma balança de precisão	34
Figura 3 - Sequência de prensagem do pó de zircônia	35
Figura 4 - Esquema de sinterização dos discos de zircônia 5Y-PSZ	36
Figura 5 - Esquema de sinterização dos discos de zircônia 8Y-FSZ.....	37
Figura 6 - Processo de sinterização das amostras de zircônia.....	37
Figura 7 - Aspecto da amostra de zircônia 8Y-FSZ após o polimento.....	38
Figura 8 - Amostras envolvidas com fita adesiva livre de óleo	42
Figura 9 - Posicionamento das amostras para o teste de flexão biaxial.....	42
Figura 10 - Pesagem do pó de zircônia para prensagem das barras	43
Figura 11 - Processo de prensagem das barras.....	44
Figura 12 - Processo de sinterização e mensuração das dimensões das barras de zircônia	45
Figura 13 - Posicionamento das amostras sobre o aparelho Sonelastic	45
Figura 14 - Etapas de funcionamento do aparelho	46
Figura 15 - Mensuração das dimensões das amostras	47
Figura 16 - Pesagem das amostras em balança de precisão.....	47
Figura 17 - Sequência de leitura das amostras pelo espectrofotômetro.....	49
Figura 18 - Gráfico demonstrativo dos difratogramas das zircônias.....	52
Figura 19 - Microscopia eletrônica de varredura da zircônia 5Y-PSZ.....	53
Figura 20 - Microscopia eletrônica de varredura da zircônia 8Y-FSZ.....	53
Figura 21 - Imagem de MEV com as linhas traçadas e identificação da interligação dos grãos na superfície da amostra de Zircônia 5Y-PSZ	54
Figura 22 - Imagem de MEV com as linhas traçadas e identificação da interligação dos grãos na superfície da amostra de Zircônia 8Y-FSZ	55
Figura 23 - Espectro correspondente dos elementos constituintes da zircônia 5Y...	56
Figura 24 - Espectro correspondente dos elementos constituintes da zircônia 8Y...	57
Figura 25 - Aspecto da indentação sobre a superfície da zircônia Zpex Smile (5Y-PSZ) sobre uma carga de 9,8N	58

Figura 26 - Aspecto da indentação sobre a superfície da zircônia 8Y-FSZ sobre uma carga de 4,9N	59
Figura 27 - Gráfico representativo dos valores médios e respectivos desvios-padrão de resistência de cada grupo.....	61
Figura 28 - Gráfico da Análise de Weibull	62
Figura 29 - Micrografias das superfícies de fratura da zircônia 5Y-PSZ.....	65
Figura 30 - Micrografias das superfícies de fratura da zircônia 8Y-FSZ.....	66
Figura 31 - Imagem de estereomicroscopia de fraturas atípicas da zircônia 8Y-FS..	67

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Média e desvio-padrão dos valores relacionados ao tamanho do grão das zircônias	55
Tabela 2 - Quantificação elementar dos constituintes da zircônia 5Y	56
Tabela 3 - Quantificação elementar dos constituintes da zircônia 8Y	56
Tabela 4 - Média e desvio-padrão dos valores de Dureza Vickers.....	59
Tabela 5 - Análise descritiva dos valores de tenacidade à fratura.....	60
Tabela 6 - Estatística teste t para amostras independentes	60
Tabela 7 - Análise descritiva dos valores de resistência à flexão biaxial.....	60
Tabela 8 - Valores dos módulos de Weibull, resistência característica e respectivos intervalos de confiança	62
Tabela 9 - Valores médios e desvio-padrão de módulo elástico, módulo de rigidez transversal e Poisson das zircônias	63
Tabela 10 - Estatística U de Mann-Whitney para amostras independentes	63
Tabela 11 - Valores médios e desvio-padrão da densidade das zircônias	64
Tabela 12 - Valores médios e desvios-padrão dos Parâmetros de translucidez	68
Tabela 13 - Estatística referente aos Parâmetros de translucidez - U de Mann-Whitney para amostras independentes	68

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

μm	Micrometro
σ_c	Resistência característica
Al_2O_3	Óxido de alumínio
$^{\circ}\text{C}$	Graus celsius
c	Cúbica
D	Média das diagonais
DRX	Difração de Raios-x
EDS	<i>Energy dispersive spectroscopy</i> (Espectroscopia por dispersão de energia)
H_2O	Água
HV	<i>Hardness Vickers</i> (Dureza Vickers)
IC	Índice de correlação
ICSD	Estrutura cristalina inorgânica
JCSD	Comitê conjunto sobre padrões de difração de pó
LTD	Degradação em baixa temperatura
M	Monoclínica
m	Metros
MEV	Microscopia eletrônica de varredura
Min	Minutos
mm	Milímetros
MPa	Megapascal
N	Newton
P	Carga
SiO_2	Sílica
t	Tetragonal
TP	<i>Translucency Parameter</i> ou <i>Parameter of Translucency</i> - Parâmetros de translucidez
Y_2O_3	Óxido de ítria
Y-FSZ	<i>Fully stabilized zirconia</i> (Zirconia totalmente estabilizada por ítria)
Y-TZP	Zircônia tetragonal parcialmente estabilizada por ítria

Y-PSZ	Zircônia parcialmente estabilizada por ítria
ZrO ₂	Óxido de zircônio
ZrSiO ₄	Zircão ou Silicato de zircônio

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	18
2 REVISÃO DE LITERATURA.....	21
2.1 Histórico e classificação das cerâmicas	21
2.1.1 Cerâmicas odontológicas	21
2.1.1.1 Classificação das cerâmicas odontológicas.....	22
2.2 Zircônia.....	24
2.2.1 Fases cristalinas.....	25
2.3 Propriedades mecânicas	29
3 PROPOSIÇÃO	32
3.1 Objetivos específicos.....	32
4 MATERIAL E MÉTODOS.....	33
4.1 Confeção das amostras	33
4.1.1 Sinterização das amostras	35
4.2 Parte A - Caracterização microestrutural	38
4.2.1 Análise de difração de raios-X (DRX).....	38
4.2.2 Microscopia eletrônica de varredura e EDS.....	39
4.3 Parte B - Propriedades mecânicas e óptica	39
4.3.1 Dureza Vickers	40
4.3.2 Tenacidade à fratura.....	40
4.3.3 Ensaio de resistência à flexão biaxial.....	41
4.3.4 Módulo elástico	43
4.3.5 Densidade	47
4.3.6 Análise fractográfica	48
4.3.7 Propriedade óptica - Translucidez	48
5 RESULTADO	50

5.1 Parte A - Caracterização microestrutural	51
5.1.1 Análise de difração de raios-X (DRX).....	51
5.1.2 Microscopia eletrônica de varredura e EDS.....	52
5.2 Parte B - Propriedades mecânicas e óptica	58
5.2.1 Dureza Vickers	58
5.2.2 Tenacidade à fratura.....	59
5.2.3 Ensaio de resistência à flexão biaxial.....	60
5.2.4 Módulo elástico	62
5.2.5 Densidade	63
5.2.6 Análise fractográfica	64
5.2.7 Propriedade óptica – Translucidez	67
6 DISCUSSÃO	69
7 CONCLUSÃO	79
REFERÊNCIAS.....	80

1 INTRODUÇÃO

Restaurações indiretas livres de metal passaram a ser a principal escolha clínica reabilitadora após o surgimento das primeiras cerâmicas odontológicas (Shi et al., 2022; Warreth; Elkareimi, 2020). Gradualmente, o grande desafio passou a ser a seleção de um material que associe propriedades mecânicas adequadas para suportar as exigências funcionais do ambiente bucal e, ao mesmo tempo, que possua estética semelhante ao elemento dental natural (Ghodsi; Jafarian, 2018).

Dentre as opções desenvolvidas, a zircônia (ZrO_2) destacou-se como uma cerâmica policristalina com ampla aplicação odontológica. Sua relevância clínica decorre de sua alta resistência e tenacidade à fratura, e seu comportamento polimórfico, que permitem sua utilização na confecção de próteses fixas, coroas unitárias, pilares protéticos e implantes (Luz et al., 2021). Contudo, as primeiras aplicações clínicas da zircônia monolítica apresentaram limitações estéticas significativas devido à opacidade intrínseca do material, restringindo inicialmente seu uso como infraestrutura recoberta por cerâmica vítrea (Zhang, 2014).

A zircônia em seu estado puro é caracterizada por ser um material polimorfo, possuindo 3 fases principais: monoclinica (m), tetragonal (t) e cúbica (c), alcançados, inicialmente, pela elevação de temperatura, conferindo ao material propriedades únicas para cada uma dessas fases (Cesar et al., 2024). Uma outra solução para que esses estágios e atributos sejam estabilizados individualmente, mesmo após as mudanças de temperatura necessárias, são os estabilizadores, como os dopantes. Ao adicionar essas substâncias, como o óxido de ítrio (Y_2O_3), ao material base, suas características se tornam presentes mesmo em temperatura ambiente (Wendler et al., 2018).

A introdução da zircônia na odontologia ocorreu com a formulação 3Y-TZP (Zircônia tetragonal parcialmente estabilizada), neste caso com 3% mol de ítria, o que manteve a fase tetragonal de forma parcial. Essa configuração conferiu ao material elevada resistência e tenacidade à fratura, em razão do mecanismo de transformação de fase acionado por estímulos termomecânicos. Tal processo, conhecido como tenacificação por transformação, permite que a zircônia suporte condições clínicas adversas, como as cargas oclusais. Apesar das vantagens mecânicas, a translucidez

limitada dessa primeira geração restringia sua utilização como alternativa às cerâmicas vítreas (Jia-Mahasap et al., 2022).

Com o aumento da concentração de estabilizantes, novas formulações foram desenvolvidas. O acréscimo de ítria reduziu o tamanho de grão e favoreceu a passagem de luz, resultando em materiais mais translúcidos e com melhor desempenho estético. Nesse grupo, destacam-se as zircônias 4Y e 5Y-PSZ, conhecidas como extra e ultra translúcidas, que compõem a terceira geração. Essas versões apresentam maior proporção de fase cúbica, cujas características estruturais diminuem a dispersão da luz, aumentando a translucidez em comparação às formulações anteriores, dominadas pela fase tetragonal (Zhang; Lawn, 2018).

Muito embora as gerações mais recentes de zircônias apresentem essa vantagem estética em relação a outras cerâmicas policristalinas, o dissilicato de lítio também é amplamente reconhecido por suas propriedades ópticas favoráveis, incluindo elevada translucidez e capacidade de mimetizar a aparência natural do dente, características que o tornam especialmente adequado em regiões estéticas da arcada onde a associação visual é prioritária. Por outro lado, as zircônias apresentam valores médios de resistência à fratura substancialmente maiores. Assim, enquanto as zircônias são preferidas em contextos clínicos que exigem maior resistência estrutural, o dissilicato de lítio continua sendo uma opção valiosa quando a estética dental é um fator determinante na seleção do material restaurador (Al-Obaidi & Gholam, 2025).

Ainda no contexto relacionado sobre as propriedades estéticas, a zircônia 5Y-PSZ trouxe um ganho expressivo de translucidez em relação às gerações iniciais, mas em contrapartida houve redução da resistência, consequência direta da diminuição do mecanismo de tenacificação em relação a geração pioneira. A busca por materiais capazes de conciliar estética e desempenho mecânico estimulou o estudo de formulações com teores ainda mais elevados de dopante. Entre elas, a possibilidade de utilização da 8Y-FSZ (Liu; Chen, 2005; Chen et al., 2022), que apresenta cerca de 8% mol de ítria, o que resulta em uma estrutura quase totalmente cúbica e com alta translucidez, característica que amplia seu potencial de aplicação em restaurações monolíticas altamente estéticas, especialmente em regiões anteriores, onde a demanda por mimetização óptica é mais crítica. Embora a maior fração cúbica esteja associada à diminuição da resistência, esse material mostra vantagem por apresentar

menor susceptibilidade à degradação em baixa temperatura (LTD), fenômeno que compromete a longevidade clínica da zircônia (Cesar et al., 2024; Jum'ah et al., 2020). Nesse contexto, o estudo desse material também se torna relevante para ampliar a compreensão da relação entre composição, microestrutura e propriedades ópticas e mecânicas em zircônias de alta translucidez.

Diante desse contexto, é necessário que se alcance níveis adequados de translucidez sem comprometer de forma significativa a resistência mecânica do material. Desta forma, o objetivo deste trabalho foi obter, sinterizar e caracterizar uma zircônia experimental estabilizada com 8% mol de ítria (8Y-FSZ), avaliando sua microestrutura, características superficiais, propriedades mecânicas e óptica.

7 CONCLUSÃO

De acordo com os achados deste estudo e considerando suas limitações, é possível concluir que:

- a) zircônias totalmente estabilizadas em fase cúbica são passíveis de possuir microestruturas compatíveis com cerâmicas densificadas, além de apresentar fases cristalinas, morfologia e distribuição de grãos, esperadas de uma cerâmica policristalina, a partir de uma sinterização convencional;
- b) a zircônia experimental 8Y-FSZ apresentou propriedades mecânicas inferiores às do grupo controle, além de não apresentar vantagem em termos de translucidez. Assim, nas condições avaliadas, o aumento do teor de fase cúbica na 8Y-FSZ não refletiu em melhora da propriedade óptica e esteve associado à redução do desempenho mecânico do material.

REFERÊNCIAS

Anusavice KJ. Phillips materiais dentários. Rio de Janeiro: Elsevier, 2013. 592 p.12. ed. ISBN 978-85-352-6818-8.

Abdulmajeed A, Sulaiman TA, Abdulmajeed AA, Närhi TO. Strength and phase transformation of different zirconia types after chairside adjustment. *J Prosthet Dent*. 2024 Aug;132(2):455-463. doi: 10.1016/j.prosdent.2022.06.015. Epub 2022 Aug 5. PMID: 35934577.

Alves LMM, Rodrigues CDS, Ramos NC, Buizastrow J, Campos TMB, Bottino MA, et al. Silica infiltration on translucent zirconia restorations: Effects on the antagonist wear and survivability. *Dent Mater*. 2022 Dec;38(12):2084-2095. doi: 10.1016/j.dental.2022.11.015. Epub 2022 Nov 26. PMID: 36446649; PMCID: PMC9928576.

Alves MFRP, Dos Santos C, Elias CN, Amarante JEV, Ribeiro S. Comparison between different fracture toughness techniques in zirconia dental ceramics. *J Biomed Mater Res B Appl Biomater*. 2023 Jan;111(1):103-116. doi: 10.1002/jbm.b.35137. Epub 2022 Jul 18. PMID: 35849489.

Anstis GR. Indentation and fracture toughness I. Transformation. 1981;46(September):533–8.

Arcila LVC, Ramos NC, Campos TMB, Dapieve KS, Valandro LF, de Melo RM, et al. Mechanical behavior and microstructural characterization of different zirconia polycrystals in different thicknesses. *J Adv Prosthodont*. 2021 Dec;13(6):385-395. doi: 10.4047/jap.2021.13.6.385. Epub 2021 Dec 22. PMID: 35003554; PMCID: PMC8712112.

Arellano Moncayo AM, Peñate L, Arregui M, Giner-Tarrida L, Cedeño R. State of the Art of Different Zirconia Materials and Their Indications According to Evidence-Based Clinical Performance: A Narrative Review. *Dent J (Basel)*. 2023 Jan 4;11(1):18. doi: 10.3390/dj11010018. PMID: 36661555; PMCID: PMC9857458.

Belli R, Wendler M, de Ligny D, Cicconi MR, Petschelt A, Peterlik H, Lohbauer U. Chairside CAD/CAM materials. Part 1: Measurement of elastic constants and microstructural characterization. *Dent Mater*. 2017 Jan;33(1):84-98. doi: 10.1016/j.dental.2016.10.009. Epub 2016 Nov 24. PMID: 27890354.

Benalcázar-Jalkh EB, Bergamo ETP, Campos TMB, Coelho PG, Sailer I, Yamaguchi S, Alves LMM, Witek L, Tebcherani SM, Bonfante EA. A Narrative Review on Polycrystalline Ceramics for Dental Applications and Proposed Update of a Classification System. *Materials (Basel)*. 2023 Dec 7;16(24):7541. doi: 10.3390/ma16247541. PMID: 38138684; PMCID: PMC10744432.

Cesar PF, Miranda RBP, Santos KF, Scherrer SS, Zhang Y. Recent advances in dental zirconia: 15 years of material and processing evolution. *Dent Mater*. 2024

May;40(5):824-836. doi: 10.1016/j.dental.2024.02.026. Epub 2024 Mar 23. PMID: 38521694; PMCID: PMC11098698.

Chen P, Li X, Tian F, Liu Z, Hu D, Xie T, et al. Fabrication, microstructure, and properties of 8 mol% yttria-stabilized zirconia (8YSZ) transparent ceramics. *Journal of Advanced Ceramics*. 2022 Jul;11(7):1153–62. doi:10.1007/s40145-022-0602-6.

de Araújo-Júnior ENS, Bergamo ETP, Bastos TMC, Benalcázar Jalkh EB, Lopes ACO, Monteiro KN, Cesar PF, Tognolo FC, Migliati R, Tanaka R, Bonfante EA. Ultra-translucent zirconia processing and aging effect on microstructural, optical, and mechanical properties. *Dent Mater*. 2022 Apr;38(4):587-600. doi: 10.1016/j.dental.2022.02.016. Epub 2022 Mar 7. PMID: 35272865.

Denry I, Kelly JR. State of the art of zirconia for dental applications. *Dent Mater*. 2008 Mar;24(3):299-307. doi: 10.1016/j.dental.2007.05.007. Epub 2007 Jul 19. PMID: 17659331.

Ersoy NM, Aydoğdu HM, Değirmenci BÜ, Çökük N, Sevimay M. The effects of sintering temperature and duration on the flexural strength and grain size of zirconia. *Acta Biomater Odontol Scand*. 2015 Aug 3;1(2-4):43-50. doi: 10.3109/23337931.2015.1068126. PMID: 28642900; PMCID: PMC5433200.

Fathy H, Hamama HH, El-Wassefy N, Mahmoud SH. Clinical performance of resin-matrix ceramic partial coverage restorations: a systematic review. *Clin Oral Investig*. 2022 May;26(5):3807-3822. doi: 10.1007/s00784-022-04449-2. Epub 2022 Mar 23. PMID: 35320383; PMCID: PMC9072524.

Ghodsi S, Jafarian Z. A Review on Translucent Zirconia. *Eur J Prosthodont Restor Dent*. 2018 May 30;26(2):62-74. doi: 10.1922/EJPRD_01759Ghodsi13. PMID: 29797847.

Gracis S, Thompson VP, Ferencz JL, Silva NR, Bonfante EA. A new classification system for all-ceramic and ceramic-like restorative materials. *Int J Prosthodont*. 2015 May-Jun;28(3):227-35. doi: 10.11607/ijp.4244. PMID: 25965634.

Hajjaj MS, Alamoudi RAA, Babeer WA, Rizg WY, Basalah AA, Alzahrani SJ, et al. Flexural strength, flexural modulus and microhardness of milled vs. fused deposition modeling printed Zirconia; effect of conventional vs. speed sintering. *BMC Oral Health*. 2024 Jan 7;24(1):38. doi: 10.1186/s12903-023-03829-8. PMID: 38185744; PMCID: PMC10771678.

Hannink RHJ, Kelly PM, Muddle BC. Transformation Toughening in Zirconia-Containing Ceramics. *Journal of the American Ceramic Society*, v. 83, n. 3, p. 461–487, 21 dez. 2004. doi: 10.1111/j.1151-2916.2000.tb01221.x.

Jerman E, Lümekemann N, Eichberger M, Zoller C, Nothelfer S, Kienle A, Stawarczyk B. Evaluation of translucency, Marten's hardness, biaxial flexural strength and fracture toughness of 3Y-TZP, 4Y-TZP and 5Y-TZP materials. *Dent Mater*. 2021

Feb;37(2):212-222. doi: 10.1016/j.dental.2020.11.007. Epub 2020 Nov 29. PMID: 33267975.

Jia-Mahasap W, Jitwirachot K, Holloway JA, Rangsri W, Rungsiyakull P. Wear of various restorative materials against 5Y-ZP zirconia. *J Prosthet Dent.* 2022 Oct;128(4):814.e1-814.e10. doi: 10.1016/j.prosdent.2022.07.009. Epub 2022 Sep 9. PMID: 36089544.

Jum'ah AA, Brunton PA, Li KC, Waddell JN. Simulated clinical adjustment and intra-oral polishing of two translucent, monolithic zirconia dental ceramics: An in vitro investigation of surface roughness. *J Dent.* 2020 Oct;101:103447. doi: 10.1016/j.jdent.2020.103447. Epub 2020 Aug 5. PMID: 32763368.

Juntavee N, Juntavee A, Phattharasophachai T. Fracture toughness of different monolithic zirconia upon post-sintering processes. *J Clin Exp Dent.* 2021 Oct 1;13(10):e1006-e1014. doi: 10.4317/jced.58717. PMID: 34667496; PMCID: PMC8501869.

Kaizer MR, Gierthmuehlen PC, Dos Santos MB, Cava SS, Zhang Y. Speed sintering translucent zirconia for chairside one-visit dental restorations: Optical, mechanical, and wear characteristics. *Ceram Int.* 2017 Oct 1;43(14):10999-11005. doi: 10.1016/j.ceramint.2017.05.141. Epub 2017 May 19. PMID: 29097830; PMCID: PMC5662116.

Kim BK, Yun JH, Jung WK, Lim CH, Zhang Y, Kim DK. Mitigating grain growth in fully stabilized zirconia via a two-step sintering strategy for esthetic dental restorations. *Int J Appl Ceram Technol.* 2023 Mar-Apr;20(2):856-868. doi: 10.1111/ijac.14216. Epub 2022 Sep 11. PMID: 39149536; PMCID: PMC11326489.

Klimke J, Trunec M, Krell A. Transparent Tetragonal Yttria-Stabilized Zirconia Ceramics: Influence of Scattering Caused by Birefringence. *Journal of the American Ceramic Society*, v. 94, n. 6, p. 1850–1858, 7 fev. 2011. 94: 1850-1858. doi: 10.1111/j.1551-2916.2010.04322.x

Liu XQ, Chen XM. Toughening of 8Y-FSZ Ceramics by Neodymium Titanate Secondary Phase. *Journal of the American Ceramic Society*, v. 88, n. 2, p. 456–458, 1 fev. 2005. doi: 10.1111/J.1551-2916.2005.00065.X

Lim CH, Vardhaman S, Reddy N, Zhang Y. Composition, processing, and properties of biphasic zirconia bioceramics: relationship to competing strength and optical properties. *Ceram Int.* 2022 Jun 15;48(12):17095-17103. doi: 10.1016/j.ceramint.2022.02.265. Epub 2022 Feb 25. PMID: 37701057; PMCID: PMC10497227.

Luz JN, Kaizer MDR, Ramos NC, Anami LC, Thompson VP, Saavedra GSFA, Zhang Y. Novel speed sintered zirconia by microwave technology. *Dent Mater.* 2021 May;37(5):875-881. doi: 10.1016/j.dental.2021.02.026. Epub 2021 Mar 11. PMID: 33715863; PMCID: PMC11283878.

Mayinger F, Ender A, Strickstroch M, Elsayed A, Nassary Zadeh P, Zimmermann M, Stawarczyk B. Impact of the sintering parameters on the grain size, crystal phases, translucency, biaxial flexural strength, and fracture load of zirconia materials. *J Mech Behav Biomed Mater*. 2024 Jul;155:106580. doi: 10.1016/j.jmbbm.2024.106580. Epub 2024 May 14. PMID: 38759588.

Mesmar S, Ruse ND. Interfacial Fracture Toughness of Adhesive Resin Cement-Lithium-Disilicate/Resin-Composite Blocks. *J Prosthodont*. 2019 Jan;28(1):e243-e251. doi: 10.1111/jopr.12672. Epub 2017 Sep 15. PMID: 28913890.

Miyazaki T, Nakamura T, Matsumura H, Ban S, Kobayashi T. Current status of zirconia restoration. *J Prosthodont Res*. 2013 Oct;57(4):236-61. doi: 10.1016/j.jpor.2013.09.001. Epub 2013 Oct 18. PMID: 24140561.

Nakai H, Inokoshi M, Liu H, Uo M, Kanazawa M. Evaluation of Extra-High Translucent Dental Zirconia: Translucency, Crystalline Phase, Mechanical Properties, and Microstructures. *J Funct Biomater*. 2025 Jan 3;16(1):13. doi: 10.3390/jfb16010013. PMID: 39852569; PMCID: PMC11765858.

Nemli SK, Yilmaz H, Aydin C, Bal BT, Tıraş T. Effect of fatigue on fracture toughness and phase transformation of Y-TZP ceramics by X-ray diffraction and Raman spectroscopy. *J Biomed Mater Res B Appl Biomater*. 2012 Feb;100(2):416-24. doi: 10.1002/jbm.b.31964. Epub 2011 Nov 21. PMID: 22102326.

Osuchukwu OA, Salihi A, Ibrahim A, Audu AA, Makoyo M, Mohammed SA, Lawal MY, Etinosa PO, Isaac IO, Oni PG, Oginni OG, Obada DO. Weibull analysis of ceramics and related materials: A review. *Heliyon*. 2024 Jun 6;10(12):e32495. doi: 10.1016/j.heliyon.2024.e32495. PMID: 39021991; PMCID: PMC11252889.

Parreira GG, Medeiros L. *Cerâmicas odontológicas: Conceitos e técnicas*. 1 ed. São Paulo: Livraria Santos Editora Ltda; 2005. 238p.

Rietveld HM. A profile refinement method for nuclear and magnetic structures. *J Appl Crystallogr*. 1969;2(2):65–71. doi: 10.1107/s0021889869006558.

Silva EA, Simionato AA, Faria ACL, Bonfante EA, Rodrigues RCS, Ribeiro RF. Mechanical Properties, Wear Resistance, and Reliability of Two CAD-CAM Resin Matrix Ceramics. *Medicina (Kaunas)*. 2023 Jan 9;59(1):128. doi: 10.3390/medicina59010128. PMID: 36676752; PMCID: PMC9863314.

Shi HY, Pang R, Yang J, Fan D, Cai H, Jiang HB, Han J, Lee ES, Sun Y. Overview of Several Typical Ceramic Materials for Restorative Dentistry. *Biomed Res Int*. 2022 Jul 18;2022:8451445. doi: 10.1155/2022/8451445. PMID: 35898679; PMCID: PMC9314004.

Tango RN, Todorović A, Stamenković D, Karasan DN, Sailer I, Paravina RD. Effect of Staining and Aging on Translucency Parameter of CAD-CAM Materials. *Acta Stomatol Croat*. 2021 Mar;55(1):2-9. doi: 10.15644/asc55/1/1. PMID: 33867532; PMCID: PMC8033622.

- Vagkopoulou T, Koutayas SO, Koidis P, Strub JR. Zirconia in dentistry: Part 1. Discovering the nature of an upcoming bioceramic. *Eur J Esthet Dent*. 2009 Summer;4(2):130-51. PMID: 19655651.
- Wang JS, Suo Z. Experimental determination of interfacial toughness curves using Brazil-nut-sandwiches. *Acta Metall Mater*. 1990;38(7):1279–90. ISSN 0956-7151. doi: 10.1016/0956 7151(90)90200-Z.
- Wang L, Wang K, Sheng Y, Hao Z, Tang W, Dou R. The effect of phase contents on the properties of yttria stabilized zirconia dental materials fabricated by stereolithography-based additive manufacturing. *J Mech Behav Biomed Mater*. 2024 Feb;150:106313. doi: 10.1016/j.jmbbm.2023.106313. Epub 2023 Dec 12. PMID: 38109815.
- Wang L, Wang K, Hao Z, Dou R, Zhu F, Gao Y. Fracture toughness and subcritical crack growth analysis of high-translucent zirconia prepared by stereolithography-based additive manufacturing. *J Mech Behav Biomed Mater*. 2025 Apr;164:106917. doi: 10.1016/j.jmbbm.2025.106917. Epub 2025 Jan 24. PMID: 39893806.
- Warreth A, Elkareimi Y. All-ceramic restorations: A review of the literature. *Saudi Dent J*. 2020 Dec;32(8):365-372. doi: 10.1016/j.sdentj.2020.05.004. Epub 2020 May 29. PMID: 34588757; PMCID: PMC8461086.
- Wendler M, Belli R, Valladares D, Petschelt A, Lohbauer U. Chairside CAD/CAM materials. Part 3: Cyclic fatigue parameters and lifetime predictions. *Dent Mater*. 2018 Jun;34(6):910-921. doi: 10.1016/j.dental.2018.03.024. Epub 2018 Apr 17. PMID: 29678328.
- Zhang F, Inokoshi M, Batuk M, Hadermann J, Naert I, Van Meerbeek B, Vleugels J. Strength, toughness and aging stability of highly-translucent Y-TZP ceramics for dental restorations. *Dent Mater*. 2016 Dec;32(12):e327-e337. doi: 10.1016/j.dental.2016.09.025. Epub 2016 Sep 30. PMID: 27697332.
- Zhang F, Van Meerbeek B, Vleugels J. Importance of tetragonal phase in high-translucent partially stabilized zirconia for dental restorations. *Dent Mater*. 2020 Apr;36(4):491-500. doi: 10.1016/j.dental.2020.01.017. Epub 2020 Feb 13. PMID: 32061441.
- Zhang H, Li Z, Kim BN, Morita K, Yoshida H, Hiraga K, et al. Effect of Alumina Dopant on Transparency of Tetragonal Zirconia. *Journal of Nanomaterials*, v. 2012, n. 1, jan. 2012. doi: 10.1155/2012/269064
- Zhang Y. Making yttria-stabilized tetragonal zirconia translucent. *Dent Mater*. 2014 Oct;30(10):1195-203. doi: 10.1016/j.dental.2014.08.375. Epub 2014 Sep 2. PMID: 25193781; PMCID: PMC4167579.

Zhang Y, Lawn BR. Novel Zirconia Materials in Dentistry. *J Dent Res*. 2018 Feb;97(2):140-147. doi: 10.1177/0022034517737483. Epub 2017 Oct 16. PMID: 29035694; PMCID: PMC5784474.

Zhang Y. Making yttria-stabilized tetragonal zirconia translucent. *Dent Mater*. 2014 Oct;30(10):1195-203. doi: 10.1016/j.dental.2014.08.375. Epub 2014 Sep 2. PMID: 25193781; PMCID: PMC4167579.

Zhang Y, Kelly JR. Dental Ceramics for Restoration and Metal Veneering. *Dent Clin North Am*. 2017 Oct;61(4):797-819. doi: 10.1016/j.cden.2017.06.005. PMID: 28886769; PMCID: PMC5657342.

Zhou J, Huang M, Sagnang F, Soboyejo WO. Interfacial failure of a dental cement composite bonded to glass substrates. *Dent Mater*. 2006 Jun;22(6):585-91. doi: 10.1016/j.dental.2005.06.007. Epub 2005 Oct 17. PMID: 16229885.