

# INFLUÊNCIA DO PERCENTUAL DE ÍTRIO NAS PROPRIEDADES DA ZIRCÔNIA MONOLÍTICA: REVISÃO DE LITERATURA

## *INFLUENCE OF YTTRIO PERCENTAGE ON MONOLITHIC ZIRCONIA PROPERTIES: LITERATURE REVIEW*

Brenda Barros Magalhães Motta<sup>1</sup>, Marcio Antônio Paraizo Borges<sup>1,2</sup>,  
Ana Regina Cervantes Dias<sup>1</sup>, Mariana de Andrade Macedo<sup>1</sup>

### RESUMO

A principal desvantagem da zircônia convencional é sua alta opacidade. Dependendo de diversas condições, especialmente o conteúdo do estabilizador ítrio, é possível contornar essa questão. Em vista disso, várias gerações de zircônia estabilizada com ítrio foram desenvolvidas buscando aliar a robustez da zircônia com a estética das facetas em porcelana. O presente trabalho teve como objetivo realizar uma análise a respeito de como o aumento ou a redução do percentual de ítrio na composição das zircônias monolíticas podem influenciar em suas propriedades, sobretudo no que tange à translucidez. Este estudo foi executado através de uma revisão nas bases de dados SciELO, PubMed e Google Scholar, com artigos publicados entre 2013 e 2021. Desse modo, concluiu-se que o maior teor de Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub> tendeu a aumentar a quantidade de fase cúbica isotrópica presente e reduzir a quantidade de fase tetragonal birrefringente no ZrO<sub>2</sub>, juntamente com uma minimização da dispersão de luz por fases secundárias, levando ao aumento da translucidez e resistência ao envelhecimento. À medida que o óxido de ítrio aumenta, os tamanhos dos grãos de zircônia tendem a aumentar também. A tenacidade e a resistência à fratura podem ser consideravelmente sacrificadas.

**Palavras-Chave:** Ítrio; Zircônio; Cerâmica; Prótese dentária; Porcelana dentária; Materiais dentários.

### ABSTRACT

The main disadvantage of conventional zirconia is its high opacity. Depending on different conditions, especially the content of the yttrium stabilizer, it is possible to circumvent this issue, in view of this, several generations of yttrium stabilized zirconia were developed seeking to combine the robustness of zirconia with the aesthetics of porcelain veneers. The present work aimed to carry out an analysis on how the increase or decrease in the percentage of yttrium in the composition of monolithic zirconia can influence their properties, especially with regard to translucency. This study was carried out through a review in the Scielo, PubMed and Google Scholar databases with articles published between 2008 and 2021. In this way, it was concluded that the higher content of Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub> tended to increase the amount of isotropic cubic phase present and reduce the amount of birefringent tetragonal phase in ZrO<sub>2</sub> together with a minimization of light scattering by secondary phases, leading to increased translucency and aging resistance. As yttrium oxide increases, zirconia grain sizes tend to increase as well, and translucency may improve with increasing grain size. Toughness and fracture toughness can be sacrificed considerably.

**Keywords:** Yttrium, Zirconium, Ceramics, Dental Prosthesis, Dental Porcelain, Dental Materials.

<sup>1</sup> Pontifícia Universidade Católica Do Rio De Janeiro (PUC- RIO), Curso de Especialização em Dentística do CCE, Rio de Janeiro, Brasil

<sup>2</sup> Odontoclínica Central da Marinha, Marinha do Brasil, Rio de Janeiro, Brasil

**Como citar este artigo:** Motta BBM, Borges MAP, Dias ARC, Macedo MA. Influência do percentual de ítrio nas propriedades da zircônia monolítica: Revisão de literatura. Rev Nav Odontol. 2022; 49(2): 33-38.

Recebido em: 01/07/2022

Aceito em: 19/08/2022

## INTRODUÇÃO

Na odontologia, as técnicas restauradoras e protéticas aspiram à reabilitação da função mastigatória e o reestabelecimento da estética natural. Estas técnicas vêm evoluindo, almejando constantemente o aprimoramento dos meios e materiais empregados, especialmente em virtude da crescente exigência estética na sociedade contemporânea (1).

Um resultado clínico belo e harmônico depende da integridade marginal, caracterização da superfície e anatomia, além da compatibilidade final das cores quando comparadas aos dentes originais, a qual está intimamente relacionada a características ópticas como a translucidez. Esta última é considerada um dos mais importantes fatores determinantes da estética na odontologia (2).

Neste cenário, as cerâmicas exibem-se como excepcional alternativa na reprodução e mimetização do esmalte e dentina (2). Apresentam boa biocompatibilidade, coeficiente de expansão térmica próximo ao do dente, não reativos, tem boa resistência à abrasão e à compressão e alto grau de estabilidade intraoral, características que propiciam longevidade e segurança nos trabalhos restauradores (3,4,5,2). Quanto à composição, as cerâmicas podem ser vítreas, infiltradas e policristalinas (cristalinas) (2).

A zircônia, uma cerâmica policristalina, vem se destacando no mercado atual por suas vantagens significativas, como propriedades mecânicas superiores às de outros sistemas cerâmicos, radiopacidade, baixo potencial de corrosão, inércia química, estabilidade volumétrica e valores de módulo de elasticidade comparáveis aos do aço (6,2,7). Somado a isso, a cor característica branca leitosa, a alta opacidade, a compatibilidade biológica e atributos mecânicos superiores aos das ligas metálicas, levam-nas a serem adotadas como material substituto dos metais nas infraestruturas das próteses cerâmicas, estruturas de implantes, coroas e próteses dentárias fixas (8,9,10,11).

Na ocasião do emprego em infraestruturas, ou seja, em restauração de duas camadas, constituída pelo núcleo ou estrutura em zircônia coberto por um folheado em vitrocerâmica que fornece a coloração e as características ópticas necessárias, a resistência de união laminado-núcleo é considerada baixa e pode levar à delaminação e fratura do material, se apresentando como uma desvantagem (5). Já a restauração monolítica (full-contour) é composta por somente uma peça cerâmica que pode ser corada quando necessário e é empregada geralmente em regiões posteriores e de altas cargas oclusais. O resultado estético pode ser inferior, comparado a de bicamada, todavia as propriedades mecânicas são superiores (5). A zircônia ( $ZrO_2$ ) foi sugerida como a primeira candidata para restaurações monolíticas

de contorno completo, propiciando uma preparação menos invasiva dos tecidos dentários, já que a superioridade mecânica permite a produção de peças com menor espessura e de apenas uma camada (12,7).

As estruturas de núcleo e peças monolíticas de zircônia são fabricadas através do sistema de tecnologia de projeto e fabricação assistida por computador *CAD/CAM* (*computer-assisted design/computer-assisted machining*), fresando blocos comercialmente disponíveis, geralmente pré-sinterizados (7). A zircônia é a cerâmica avançada que apresenta melhor desempenho mecânico para uso odontológico e usinagem com o sistema *CAD/CAM* (13). Desse modo, o advento desta tecnologia resultou em maior facilidade de processamento customizado e automatizado, tornando a produção mais rápida e simples e impulsionando o aumento de sua popularidade (8,14,10).

Consta-se que a quantidade de cristais na matriz vítrea influencia diretamente na translucidez da cerâmica: quanto maior o número de cristais na matriz vítrea, menor a translucência da cerâmica e quanto menos partículas infiltradas, maior a translucência (2). As zircônias monolíticas convencionais (3Y-TZP) apresentam átomos dispostos num arranjo regular essencialmente cristalino com contornos de grão e conformações cristalográficas que são centros de dispersão de luz e alteram as propriedades ópticas, tornando-as altamente opacas, ou seja, com uma translucência muito baixa (15,14).

Posto isso, é notório que a principal desvantagem da zircônia convencional é sua alta opacidade. Dependendo das condições de sinterização, alguns fatores como tamanho de grãos, densidade, aditivos e especialmente o conteúdo do estabilizador ítrio, podem contornar essa questão. Assim sendo, várias gerações de zircônias estabilizadas com ítrio foram desenvolvidas, buscando aliar a robustez da zircônia com a estética das facetadas em porcelana, além de contribuir para uma melhor eficiência na polimerização de cimentos resinosos com a maior translucidez, aumentar a aplicabilidade clínica e conservar a estrutura dental com menor exigência de espessura (16,17).

A primeira zircônia estabilizada com ítrio (Y-TZP) que foi comercializada tinha 3 mol% de composição de óxido de ítrio (3Y-TZP). Hoje, encontram-se zircônias comerciais para odontologia com percentuais de ítrio variando de 3 até 5%, como a 4Y-TZP e 5Y-TZP (mais translúcidas), evidenciando que a adição ou redução do percentual de ítrio desempenha influência significativa nas propriedades finais da peça (8,9,10,18,19).

Desse modo, o objetivo do presente estudo é realizar uma revisão de literatura a fim de analisar

como a alteração do percentual de ítrio nas zircônias monolíticas pode influenciar em suas propriedades, sobretudo no que tange à translucidez.

## REVISÃO DE LITERATURA

O presente estudo foi executado através de uma revisão integrativa nas bases de dados SciELO e PubMed inicialmente. As seguintes palavras-chave foram utilizadas em associação: (*Yttrium* ou Ítrio), (*Zirconium* ou Zircônio), (*Ceramics* ou Cerâmica), (*Dental Prosthesis* ou Prótese Dentária), (*Dental Porcelain* ou Porcelana Dentária) e (*Dental Materials* ou Materiais Dentários), nos idiomas inglês e português, para encontrar todos os artigos relacionados a este assunto. Posteriormente foi realizada uma pesquisa complementar utilizando a palavra-chave “Ítrio” no Google Scholar. Foram encontrados 42 artigos dos quais 30 foram incluídos e 12 excluídos. Os critérios de inclusão consideram artigos publicados entre 2013 e 2021, estudos *in vitro*, estudos clínicos e revisão de literatura. Artigos que antecederam 2013, além daqueles que não abordaram o objetivo do estudo, foram utilizados como critério de exclusão.

### A zircônia

A zircônia é o 18º elemento mais abundante na crosta terrestre, existindo em estado puro sob a forma amorfa (pó negro azulado) e cristalina (metal branco e dúctil) (2). As cerâmicas policristalinas à base de zircônia podem ser classificadas de acordo com a sua microestrutura em três tipos: FSZ (fully stabilized zirconia), PSZ (partially stabilized zirconia) e TZP (tetragonal zirconia polycrystals). A mais utilizada na odontologia é a TZP, e é composta predominantemente pela fase tetragonal (t), metaestável estabilizada com óxido de ítrio (3%-6% em peso), dando origem à Y-TZP (zircônia tetragonal estabilizada com ítria) (20). Esta pode assumir três fases cristalográficas conforme a temperatura: monoclinica a partir da temperatura ambiente até 1170°C, tetragonal (t) entre 1170°C e 2370°C, e cúbica (c) acima de 2370°C até o ponto de fusão (20,21). A zircônia pura é monoclinica na temperatura ambiente e esta fase é estável até 1170°C. Acima disso, na fase tetragonal, ela depende de estabilizadores, e na cúbica somente é estável em altíssimas temperaturas (22).

Quando este material estabilizado é submetido a tensões (por exemplo: mastigação, desgaste e polimento), pode ocorrer uma transformação da fase tetragonal para monoclinica, acompanhada de aumento de volume. A forma monoclinica (m) ocupa um volume de 3 a 5% maior do que os grãos tetragonais, resultando em uma geração de tensões de compressão e nucleação de microtrincas (*microcrack toughening*) ao redor do defeito, impedindo

que a trinca se propague e leve à fratura do material. Esse mecanismo conhecido como “tenacificação por transformação” é o principal responsável pelo fato da Y-TZP ser a cerâmica odontológica que apresenta as melhores propriedades mecânicas (20,1).

Um outro mecanismo de tenacificação ocorre por conta da formação de microtrincas que surgem após expansão volumétrica local na transformação da fase tetragonal para monoclinica. Nesse caso, a tensão gerada pela expansão volumétrica supera o valor suportado pelo regime elástico do material e microtrincas são geradas no entorno da região transformada. Essas microtrincas servem como defletores e ramificadores de trincas que estão propagando no material (8,23).

As cerâmicas 3Y-TZP também demonstraram ter suscetibilidade ao envelhecimento químico progressivo, denominado degradação de baixa temperatura (*low-temperature degradation* – LTD), que pode ocorrer na presença de água em temperatura ambiente. O processo envolve a penetração de água em microfissuras superficiais, induzindo uma reversão da fase t metaestável de zircônia de volta à sua fase m mais estável. Essas reversões causam tensões locais de descasamento, conduzindo ainda mais as microfissuras e transferindo tensões internas mais profundas no subsolo, grão por grão. As microfissuras coalescem e levam ao desprendimento dos grãos, com conseqüente degradação da resistência (24,25). Zircônias com maior teor de c são menos suscetíveis ao envelhecimento, pois essa fase não sofre transformação (26,27).

O dopante é um óxido e atua como uma ferramenta de engenharia de contorno de grão que tem um controle sobre a composição dos contornos de grão de ZrO<sub>2</sub> (14). Os estabilizadores ou dopantes são adicionados para auxiliar na sinterização e controlar a transformabilidade, e influenciam diretamente nas propriedades do material (27). Sendo assim, vários componentes são adicionados para estabilização da fase tetragonal metaestável em temperatura ambiente, como o óxido de cálcio (CaO), óxido de magnésio (MgO), óxido de lantânio (La<sub>2</sub>O<sub>3</sub>), óxido de cério (CeO<sub>2</sub>) e especialmente o óxido de ítrio (Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) (22,1).

### O ítrio

O ítrio (Y) e seus compostos são originados do processamento químico de minérios, nos quais a presença de elementos lantanídeos é grande, conhecidos como terras raras. É um elemento químico metálico, número atômico 39, com massa atômica 88,90584u, macio, brando, prateado, sólido em temperatura ambiente e de caráter triatômico, o que contribui para a presença de várias vacâncias de oxigênio neutralizantes de carga (10,7).

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

### *Influência do ítrio*

À medida que o teor de óxido de ítrio aumenta, a quantidade de fase cúbica isotrópica – opticamente homogênea, na qual o índice de refração é constante independente da direção, ou seja, o raio de luz se propaga com a mesma velocidade em todas as direções – aumenta nos contornos de grão, o que pode levar à diminuição da birrefringência (propriedade óptica de um material que possui diferentes índices de refração para diferentes direções de propagação da luz) (18). Desse modo, segundo Zhang *et al.*, o método mais estudado para melhorar a translucidez da zircônia é aumentar o conteúdo de ítria, introduzindo mais fase cúbica isotrópica e menos fase tetragonal birrefringente, juntamente com uma minimização da dispersão de luz por fases secundárias, como partículas de alumina e porosidades (12).

Em conformidade, Zhang *et al.*, ao avaliarem as propriedades ópticas, mecânicas e a estabilidade do envelhecimento da zircônia estabilizada com ítrio com diferentes composições, concluíram que a introdução de zircônia de fase cúbica opticamente isotrópica (fase cúbica é estável e não sofre tenacificação por tensão), aumentando o teor de ítria (5mol% neste trabalho), mostrou o melhor efeito para aumentar a translucidez, bem como a resistência ao envelhecimento sobre as cerâmicas 3Y-TZP (25). A tenacidade e a resistência à fratura, no entanto, foram consideravelmente sacrificadas.

Zhang e Lawn, ao discorrem sobre a tendência do uso de um teor de ítria mais alto para produzir zircônias parcialmente estabilizadas, 4% em mol (4Y PSZ) ou 5% em mol (5Y-PSZ), com quantidades aumentadas de fase cúbica não birrefringente, deduzem que a translucidez melhorou, mas a resistência e a tenacidade foram diminuídas porque a zircônia cúbica não sofre transformação induzida por tensão (26).

Em sua revisão, Pekkan *et al.*, ao avaliarem os fatores que afetam a translucidez de cerâmicas monolíticas Y-TZP, averiguaram que o maior teor de Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub> tendeu a aumentar a quantidade de fase cúbica presente no ZrO<sub>2</sub> e concluíram que uma combinação de tamanho de grão fino e ZrO<sub>2</sub> cúbico, com um índice de refração isotrópico (que ajuda a evitar a dispersão dos contornos de grão), produz translucidez melhorada (14).

Em sua tese, Fonseca (2019) confere à quantidade superior de ítrio na zircônia a estabilização da fase cúbica na temperatura ambiente, que resulta em uma diminuição da resistência mecânica e aumento da translucidez do material devido à isotropia óptica dessa fase (8).

No referido trabalho, Shin e Lee, ao compararem a rugosidade superficial entre zircônias dentais com diferentes composições de óxido de ítrio sob a mes-

ma condição de polimento, observaram que, à medida que a composição do óxido de ítrio aumentava, os tamanhos dos grãos de zircônia tendiam a aumentar. Logo, afirmam que a translucidez pode ser melhorada aumentando o tamanho do grão; no entanto, constatou-se que o aumento da composição do óxido de ítrio pode levar ao declínio da composição da fase tetragonal da superfície, que tem potencial de endurecimento por transformação, e como resultado as propriedades mecânicas da zircônia seriam prejudicadas (18).

Já Kontonasaki *et al.* salientam em seu estudo que a tendência geral é que, à medida que a temperatura de sinterização aumenta, a translucidez e o tamanho de grão também aumentam. Assim, em cerâmicas de núcleo de zircônia, no qual um aumento da temperatura de sinterização pode causar uma diminuição na resistência à flexão, essa diminuição é atribuída a uma provável migração de ítrio para os contornos de grão (7).

Pereira *et al.* atribuem ao maior teor de estabilizante ítrio a responsabilidade pela alta resistência ao envelhecimento e por eliminar o mecanismo de endurecimento de transformação da zircônia, sendo também responsável pelo aparecimento de uma grande quantidade de cristais cúbicos em sua microestrutura. Também estimam que a maior temperatura para sinterização e maior conteúdo de ítrio contribuem para o maior tamanho de grãos cristalinos (28).

Para Harada *et al.*, o aumento das concentrações de ítrio leva ao aumento da quantidade de fase cúbica opticamente isotrópica. Grãos cúbicos são normalmente maiores do que os grãos tetragonais, resultando em menos limites de grãos. A transmissão de luz através da cerâmica policristalina é fortemente afetada pela birrefringência na fronteira do grão; assim, a menor quantidade de divisas entre os grãos leva ao aumento da translucidez (29).

No trabalho de Pandoleon *et al.* sobre depleção de ítrio no envelhecimento da zircônia, registrou-se uma redução significativa no teor de ítrio após envelhecimento por 5 e 10h, sugerindo que o ítrio é removido e que sua depleção ocorre durante a transformação t-m com o envelhecimento em vapor de água. Além disso, uma alta luminescência foi constatada pela alta quantidade de vacâncias de oxigênio. Assim, a transformação da fase t-m após o envelhecimento com perda significativa de ítrio, resultou em uma diminuição das vacâncias de oxigênio e redução da luminescência. As vacâncias de oxigênio da superfície migraram para o interior e envolveram o oxigênio da ZrO<sub>2</sub>, formando uma fase metálica do Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub> na superfície após o envelhecimento. Posto isso, o número de vacâncias de oxigênio gerado pode atuar como defeitos pontuais

que absorvem a luz prejudicando o comportamento óptico e a translucidez do material (30).

Estudos bibliográficos abordando diretamente a correlação do percentual de ítrio na composição da zircônia e suas propriedades finais são escassos na literatura. Pesquisas laboratoriais, assim como ensaios clínicos buscando descrever o que esperar de peças protéticas com maior ou menor percentual desse componente, as vantagens e desvantagens do aumento da translucidez e o quanto e como essa alteração pode interferir nas características de abrasão, resistência mecânica e tenacidade à fratura, seriam de fundamental importância para essa linha de pesquisa.

## CONCLUSÃO

Os trabalhos analisados concorrem para a mesma direção acordando que o percentual de ítrio exerce influência significativa nas propriedades das zircônias monolíticas. Desse modo, o maior teor de Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub> tendeu a aumentar a quantidade de fase cúbica isotrópica presente e reduzir a quantidade de fase tetragonal birrefringente no ZrO<sub>2</sub>, juntamente com uma minimização da dispersão de luz por fases secundárias, levando ao aumento da translucidez e resistência ao envelhecimento. Também se averiguou que, à medida que o óxido de ítrio aumenta, os tamanhos dos grãos de zircônia tendem a aumentar também, podendo haver melhora na translucidez; no entanto, a tenacidade e a resistência à fratura podem ser consideravelmente sacrificadas.

Os autores declaram que não há conflito de interesse.

### **Autora de Correspondência:**

Brenda Barros Magalhães Motta  
Rua Lauro Muller, nº 26, apartamento:501, Botafogo, Rio de Janeiro, Brasil  
Email: bre.barros@outlook.com

## REFERÊNCIAS

1. Oliveira ALN, Influência da Degradação nas Propriedades de Zircônias Convencionais e Translúcidas [dissertation]. Rio de Janeiro: Ministério Da Defesa Exército Brasileiro Departamento de Ciência e Tecnologia Instituto Militar De Engenharia; 2019. 113p.
2. Silva Neto JMA, Furtado KRS, Baumberger MCA, Duarte IKF, Trujillo AM, Alves EVR, *et al.* Cerâmicas odontológicas: Uma revisão de literatura. *Revista Eletrônica Acervo Saúde.* 2020; 15 (40): e2416. <https://doi.org/10.25248/reas.e2416.2020>
3. Jansen JU, Lümekemann N, Letz I, Pfefferle R, Sener B, Stawarczyk B. Impact of high-speed sintering on translucency, phase content, grain sizes, and flexural strength of 3Y-TZP and 4Y-TZP zirconia materials. *J Prosthet Dent.* 2019; 122: 396–403, <http://dx.doi.org/10.1016/j.prosdent.2019.02.005>.
4. Liu C, Eser A, Albrecht T, Stournari V, Felder M, Heintze S, *et al.* Strength characterization and lifetime prediction of dental ceramic materials. *Dental Mater.* 2021; 37(1):94–105, <https://doi.org/10.1016/j.dental.2020.10.015>.
5. Warreth A, Elkareimi Y. All-ceramic restorations: a review of literature. *Saudi Dent J.* 2020; 32(8): 365-372, <https://doi.org/10.1016/j.sdentj.2020.05.004>.
6. Bucevac D, Kosmac T, Kocjan A. The influence of yttrium-segregation-dependent phase partitioning and residual stresses on the aging and fracture behaviour of 3Y-TZP ceramics. *Acta Biomater.* 2017; 62: 306–16, <http://dx.doi.org/10.1016/j.actbio.2017.08.014>.
7. Kontonasaki E, Giasimakopoulos P, Rigos AE. Strength and aging resistance of monolithic zirconia: an update to current knowledge. *Jpn Dent Sci Rev.* 2020; 56(1):1–23, <https://doi.org/10.1016/j.jdsr.2019.09.002>.
8. Fonseca, YR. Modelagem Não Paramétrica Das Propriedades Da Zircônia [dissertation]. Rio de Janeiro: Ministério Da Defesa Exército Brasileiro Departamento De Ciência E Tecnologia Instituto Militar De Engenharia. 2019. 86p.
9. Grambow J, Wille S, Kern M. Impact of changes in sintering temperatures on characteristics of 4YSZ and 5YSZ. *J Mech Behav Biomed Mater.* 2021;120:104586, <https://doi.org/10.1016/j.jmbbm.2021.104586>.
10. Borges MAP, Alves MR, dos Santos HES, dos Anjos MJ, Elias CN. Oral degradation of Y-TZP ceramics. *Ceram Int.* 2019; 45(8):9955–61. <https://doi.org/10.1016/j.ceramint.2019.02.038>.
11. Jerman E, Wiedenmann F, Eichberger M, Reichert A, Stawarczyk B. Effect of high-speed sintering on the flexural strength of hydrothermal and thermo-mechanically aged-zirconia materials. *Dent Mater.* 2020; 36:1144–50, <http://dx.doi.org/10.1016/j.dental.2020.05.013>
12. Zhang F, Spies BC, Vleugels J, Reveron H, Wesemann, C, Müller W-D, Van meerbeek B, Chevalier J. High-translucent yttria-stabilized zirconia ceramics are wear-resistant and antagonist-friendly. *Dent Mater.* 2019; 35(12):1776–1790. <https://doi.org/10.1016/j.dental.2019.10.009>
13. Melo ASM. Caracterização Microestrutural da Zircônia Micro e Nanoparticulada e Análise das Propriedades Mecânicas de Próteses Usinadas em CAD/CAM [dissertation]. Rio de Janeiro: Ministério da Defesa Exército Brasileiro Departamento de Ciência e Tecnologia Instituto Militar de Engenharia. 2019. 90p.
14. Pekkan G, Pekkan K, Bayindir BÇ, Özcan M, Karasu B. Factors affecting the translucency of monolithic zirconia ceramics: A review from materials science perspective. *Dent Mater J.* 2019; 39(1): 1-8. <https://doi.org/10.4012/dmj.2019-098>
15. Gracis S, Thompson V, Ferencz J, Silva N, Bonfante E. A New Classification System for All-Ceramic and Ceramic-like Restorative Materials. *Int J Prosthodont.* 2016;28(3):227–35, <https://doi.org/10.11607/ijp.4244>.
16. Zhang F, Van Meerbeek B, Vleugels J. Importance of tetragonal phase in high-translucent partially stabilized zirconia for dental restorations. *Dent Mater.* 2020;36(4):491–500, <https://doi.org/10.1016/j.dental.2020.01.017>.

17. Santos HES, Propriedades Ópticas e Mecânicas da Zircônia (Y-Tzp) de Translucidez Melhorada com e sem a Adição de Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> [dissertation]. Rio de Janeiro: Ministério da Defesa Exército Brasileiro Departamento de Ciência e Tecnologia Instituto Militar de Engenharia. 2017. 222p.
18. Shin H-S, Lee J-S. Comparison of surface topography and roughness in different yttrium oxide compositions of dental zirconia after grinding and polishing. *J Adv Prosthodont.* 2021;13(4):258. <https://doi.org/10.4047%2F-jap.2021.13.4.258>
19. Vila-Nova TEL, Gurgel de Carvalho IH, Moura DMD, Batista AUD, Zhang Y, Paskocimas CA, Bottino MA, de Assunção E Souza RO. Effect of finishing/polishing techniques and low temperature degradation on the surface topography, phase transformation and flexural strength of ultra-translucent ZrO<sub>2</sub> ceramic. *Dent Mater.* 2020;36:e126-39. <https://doi.org/10.1016/j.dental.2020.01.004>
20. Belo YD, Sonza QN, Borba M, Bona AD. Zircônia tetragonal estabilizada por ítria: comportamento mecânico, adesão e longevidade clínica. *Cerâmica.* 2013; 59 (352): 633-9 <https://doi.org/10.1590/S0366-69132013000400021>.
21. Stawarczyk B, Ozcan M, Hallmann L, Ender A, Mehl A, Hämmerlet CH. The effect of zirconia sintering temperature on flexural strength, grain size, and contrast ratio. *Clin Oral Investig.* 2013; 17: 269-74 <https://doi.org/10.1007/s00784-012-0692-6>
22. Bispo LB. Cerâmicas odontológicas: vantagens e limitações da zircônia. *Rev Bras Odontol.* 2015; 72 (1/2):24-9.
23. Miragaya LM, Guimarães RB, Souza ROA e, Santos Botelho G dos, Antunes Guimarães JG, da 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; 72:14–21, <https://doi.org/10.1016/j.jmbbm.2017.04.014>.
24. Keuper M, Berthold C, Nickel KG. Long-time aging in 3 mol.%yttria-stabilized tetragonal zirconia polycrystals at humanbody temperature. *Acta Biomater* 2014;10:951–9,<http://dx.doi.org/10.1016/j.actbio.2013.09.033>
25. Zhang Y, Lawn BR. Novel Zirconia Materials in Dentistry. *J dent Res.* 2018; 97(2):140–7, <https://doi.org/10.1177/0022034517737483>.
26. 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. *Dent Mater.* 2016; 32(12):e327–337, <https://doi.org/10.1016/j.dental.2016.09.025>.
27. Cotic J, Kocjan A, Panchevska S, Kosmac T, Jevnikar P. In vivo ageing of zirconia dental ceramics — Part II: highly-translucent and rapid-sintered 3y-tzp. *Dent Mater.* 2021; 37(3):454–463. <https://doi.org/10.1016/j.dental.2020.11.019>.
28. 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>
29. Harada A, Shishido S, Barkarmo S, Inagaki R, Kanno T, Örtengren U, *et al.* Mechanical and microstructural properties of ultra-translucent dental zirconia ceramic stabilized with 5 mol% yttria. *J Mech Behav Biomed Mater.* 2020; 111:103974, <http://dx.doi.org/10.1016/j.jmbbm.2020.103974>.
30. Pandoleon P, Kontonasaki E, Kantiranis N, Pliatsikas N, Patsalas P, Papadopoulou L, *et al.* Aging of 3Y-TZP dental zirconia and yttrium depletion. *Dent Mater.* 2017; 33(11):385–392, <https://doi.org/10.1016/j.dental.2017.07.011>.