

UNIVERSIDADE DE PASSO FUNDO
FACULDADE DE ODONTOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM
ODONTOLOGIA (PPGODONTO)

NATÁLIA PIFFER PASQUALI

CARGA DE
FRATURA E MODO DE FALHA DE
RESTAURAÇÕES MONOLÍTICAS E BICAMADAS
DE ZIRCONIA IRRADIADAS COM LASER DE
Er:YAG

Passo Fundo
2023

Natália Piffer Pasquali

**CARGA DE
FRATURA E MODO DE FALHA DE
RESTAURAÇÕES MONOLÍTICAS E BICAMADAS
DE ZIRCONIA IRRADIADAS COM LASER DE
Er:YAG**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Odontologia da Faculdade de Odontologia da UPF, para obtenção do título de Mestre em Odontologia – Área de Concentração em Clínica Odontológica, sob orientação do prof. Dr. Nome do Professor e coorientação do prof. Dr. Nome do Professor.

Passo Fundo

2023

Folha reservada para
Ata de aprovação da Banca Examinadora

Observação:

Mantenha esta página no seu arquivo, imprimindo-a.
Após, faça a substituição pela Ata de aprovação fornecida pela
Secretaria para manter a correta numeração do seu trabalho.

Folha reservada para
Ficha catalográfica

Observação:

Mantenha esta página no seu arquivo, imprimindo-a.
Após, faça a substituição pela Ficha Catalográfica fornecida pela
Secretaria para manter a correta numeração do seu trabalho.

BIOGRAFIA DO AUTOR

Natália Piffer Pasquali, nascida em 05/09/1996 na cidade de Tapejara - RS, graduou-se em Odontologia pela Universidade de Passo Fundo (UPF) em 2018, possui aperfeiçoamento em Endodontia pela Universidade de Passo Fundo (2018), Especialização em Saúde Coletiva pela Famart (2019/2020) e Especialização em Dentística pela Fasurgs (2019/2021).

Atualmente, finaliza o Mestrado em Clínica Odontológica pela Universidade de Passo Fundo (2021/atual) e atua como reabilitadora oral na Fratelli Odontologia, clínica odontológica da qual é sócia proprietária, localizada em Tapejara – RS.

OFERECIMENTOS E AGRADECIMENTOS

Dedico este trabalho a minha família, amigos e familiares, em especial:

Ao meu marido Leonardo Brusso, agradeço pelo apoio, incentivo e amor nestes quase 10 anos. Por acreditar no meu potencial e sempre me impulsionar para o meu crescimento profissional.

Aos meus pais, Daneide Piffer Pasquali e Ivair Pasquali, agradeço pelo amor e suporte incondicional, pelo incentivo para que eu me desenvolvesse, sempre me guiando para o caminho certo e me apoiando nas minhas decisões.

Ao meu irmão, Luis Fernando Piffer Pasquali, agradeço por dividir a profissão comigo, por dividir conhecimento e por confiar tanto em mim.

À minha orientadora Paula Benetti, agradeço os ensinamentos e a orientação. Seu posicionamento contribuiu grandemente para o meu crescimento profissional. Tenho a mais sincera admiração pela profissional, professora e pessoa que você é.

E por fim, agradeço a Universidade de Passo Fundo pela oportunidade de me tornar dentista e agora mestre em uma excelente faculdade, com profissionais referência nas suas áreas.

SUMÁRIO

BIOGRAFIA DO AUTOR	5
OFERECIMENTOS E AGRADECIMENTOS	6
SUMÁRIO	7
LISTA DE TABELAS	9
LISTA DE FIGURAS	10
LISTA DE ABREVIATURAS	12
RESUMO	13
1. INTRODUÇÃO	17
2. REVISÃO DE LITERATURA.....	21
ZIRCÔNIA.....	21
TRATAMENTO DE SUPERFÍCIE	34
ZIRCÔNIA TRANSLÚCIDA	52
3. PROPOSIÇÃO	59
4. MATERIAIS E MÉTODOS.....	59
4.1. DESCRIÇÃO DOS MATERIAIS	59
4.2. OBTENÇÃO DOS CORPOS DE PROVA	61
4.3. TRATAMENTOS DE SUPERFÍCIE	64
4.5. CIMENTAÇÃO	68
4.6. TESTE DE COMPRESSÃO MONOTÔNICA	70
4.7. ANÁLISE DE FALHA EM MICROSCÓPIO DE LUZ E MEV.....	71

4.8. ANÁLISE ESTATÍSTICA	72
5. RESULTADOS.....	72
6. DISCUSSÃO	76
7. CONCLUSÕES	80
REFERÊNCIAS	81

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Indicação clínica e composição dos materiais do estudo.	59
Tabela 2. Configurações utilizadas na irradiação a laser, baseadas no artigo de MORETTO et al 2021.	65
Tabela 3. Especificações do laser Er:YAG usadas no trabalho piloto.	66
Tabela 4. Carga de fratura característica (L_0) e módulo de Weibull (m), com os respectivos intervalos de confiança de 95% (95% CI) para os grupos experimentais.....	73
Tabela 5. Número de corpos de prova relacionados aos modos de falha apresentados pelos grupos experimentais..	75

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Material análogo a dentina, fresado conforme descrito acima. Fonte: Mores, R. et al 2017.....	62
Figura 2. Coroa monolítica (esquerda) e infraestrutura de zircônia (direita) após procedimento de fresagem e sinterização.....	63
Figura 3. Corpos de prova bicamadas: infraestrutura de zircônia 3Y sinterizada cobertas com cerâmica feldspática antes da sua sinterização.	64
Figura 4. Fluxograma dos grupos experimentais.	65
Figura 6. Microscopia Óptica. A. Imagem irradiada e B. Controle.....	67
Figura 7. Microscopia Eletrônica de Varredura A. Imagem irradiada e B. Controle.	67
Figura 8. Fotoativação do cimento em diferentes áreas das coroas.	69
Figura 9. Posicionamento dos CP em máquina de ensaios universal durante o teste de compressão.	71
Figura 10. Distribuição Weibull para os grupos experimentais..	74
Figura 11. Imagens representativas dos modos de falha foram obtidas em MEV. A - Delaminação coroa bicamada. B - Lascamento coroa bicamada. C - Catastrófica coroa bicamada. D - Carastrófica coroa monolítica.....	75
Figura 12. A - origem da fratura localizada na face oclusal, próxima à área de contato com o pistão. B - falha tanto na	

face oclusal na inserção da força pelo pistão, como também,
na interface entre a zircônia e a feldspática de cobertura. .. 76

LISTA DE ABREVIATURAS

Al ₂ O ₃	óxido de alumínio
Bar	medida de pressão
CPs	corpos de prova
° C	graus Celsius
CO ₂	dióxido de carbono
Er:YAG com érbio	laser de granada de alumínio e ítrio dopado
g	grama
G10	resina epóxica com fibras de vidro
GPa	gigapascal
Hz	hertz
J/cm ²	joule por centímetro cubico
K/min	kelvin por minuto
mW/cm ²	megawatt por centímetro cubico
mm/min	milímetro por minuto
mJ	milijoules
mm	milimetro
MDP	metacrilóiloxidecil di-hidrogênio fosfato
MPa	megapascal
MEV	microscópio eletrônico de varredura
N	newton.
Nd:YAG neodímio	granada de alumínio e ítrio dopada com
s	segundos
µm	micrometro
W	watt
Zr	zircônia
ZrO ₂	dióxido de zircônio
%	porcentagem
Y-TZP	zircônia parcialmente estabilizada por ítria
CAD	computer-aided design
CAM	computer-aided manufacturing

RESUMO

Objetivo: analisar a influência da irradiação com laser da superfície de cimentação na carga de fratura e modo de falha de coroas de zircônias monolíticas e bicamadas.

Métodos: Coroas de pré-molares monolíticas de zircônia ultra-translúcida (5Y-PSZ) e infraestruturas de zircônia translúcida (3Y-TZP) foram obtidas por CAD-CAM e sinterizadas (N=60). As infraestruturas foram recobertas com cerâmica feldspática formando corpos de prova (CP) bicamada. A superfície de cimentação de metade dos CPs de cada tipo de restauração (n=15) foi irradiada por laser de Er:YAG. As coroas foram cimentadas adesivamente em troquel de material análogo à dentina. Os CPs foram imersos em água a 37°C e submetidos à carga compressiva gradual (0.1 mm/min) aplicada por um pistão esférico de aço inoxidável em máquina universal de ensaios até a fratura. A carga máxima de fratura foi registrada e analisada por ANOVA e Tukey. O módulo de Weibull e carga de fratura característica foram analisados. A fratura dos CPs foi analisada em microscopia de luz e classificada em: lascamento, delaminação e catastrófica. **Resultados:** Para carga de fratura, não houve diferença estatística significativa

($P = 0,183$) entre os grupos controle e laser. Contudo, as coroas de zircônia monolíticas mostraram maior carga de fratura do que as bicamadas ($P = <0,001$). **Conclusão:** O laser Er:YAG mostrou não ter influência na capacidade de restaurações monolíticas e bicamadas em resistir à fratura. Embora fabricadas com zircônia ultra translúcida, de menor tenacidade, as coroas monolíticas apresentaram maior resistência a carga de fratura quando comparadas as restaurações bicamadas.

Palavras-chave: *Cerâmica; Testes mecânicos; Porcelana dentária; Fratura por compressão.*

ABSTRACT¹

Purpose: to analyze the influence of laser irradiation of the luting surface on the fracture load and failure mode of monolithic and bilayer zirconia crowns. **Methods:** Monolithic ultra-translucent zirconia (5Y-PSZ) premolar crowns and translucent zirconia (3Y-TZP) frameworks were obtained by CAD-CAM and sintered (N=60). The infrastructures were covered with feldspathic ceramic forming specimens (PC) bilayer. The luting surface of half of the CPs of each type of restoration (n=15) was irradiated with an Er:YAG laser. The crowns were cemented adhesively on a die made of material analogous to dentin. The CPs were immersed in water at 37°C and subjected to a gradual compressive load (0.1 mm/min) applied by a spherical stainless steel piston in a universal testing machine until fracture. Maximum fracture load was recorded and analyzed by ANOVA and Tukey. The Weibull modulus and characteristic fracture load were analyzed. PC fractures were analyzed using light microscopy and classified as: chipping,

¹ Load-bearing capacity and mode of failure of monolithic and bilayer zirconia restorations irradiated by Er:YAG laser.

delamination and catastrophic. **Results:** For fracture loading, there was no statistically significant difference ($P = 0.183$) between control and laser groups. However, monolithic zirconia crowns showed a higher fracture load than bilayers ($P = <0.001$). **Conclusion:** The Er:YAG laser showed no influence on the ability of monolithic and bilayer restorations to resist fracture. Although manufactured with ultra-translucent zirconia, of lower tenacity, the monolithic crowns presented greater resistance to fracture load when compared to bilayer restorations.

Keywords: *Ceramics; Mechanical tests; dental porcelain; Compression fracture.*

1. INTRODUÇÃO

A zircônia é um material amplamente utilizado por apresentar excelentes propriedades mecânicas combinadas à estética (Della Bona, 2009; (Zarone, Di Mauro et al. 2019, Kontonasaki, Giasimakopoulos et al. 2020). O tipo de zircônia, o tratamento de superfície, o tipo de restauração, as propriedades das cerâmicas de recobrimento, dos agentes de cimentação e a técnica utilizada influenciam no mecanismo de união, que pode ter impacto na durabilidade das restaurações cerâmicas (Atsu, Kilicarslan et al. 2006, Mosele and Borba 2014).

A cimentação das restaurações de zircônia, material policristalino, ainda representa um desafio para o cirurgião-dentista devido a sua resistência aos condicionamentos de superfície convencionais (Al-Harbi, Ayad et al. 2016). Trata-se de uma classe de cerâmicas que não apresenta sílica ou fase vítrea em sua composição, tornando-a resistente à ação de ácidos que tipicamente promovem o condicionamento superficial das cerâmicas feldspáticas e vitrocerâmicas (Atsu, Kilicarslan et al. 2006).

O tratamento de superfície mais frequentemente utilizando para as zircônias é o jateamento com partículas de alumina, revestidas ou não por sílica, seguido da aplicação de silano (Chatterjee and Ghosh 2022). Esse tratamento tem sido eficiente para zircônias de 1ª e 2ª geração (3YTZP), aumentando sua resistência adesiva e resistência à flexão (Curtis, Wright et al. 2006, Yang, Barloi et al. 2010, Amaral, Cesar et al. 2016, Basso 2021, Mosele, Oliveira et al. 2023).

Contudo, devido à sua alta opacidade em relação às cerâmicas vítreas, as zircônias de 1ª e 2ª geração são comumente utilizadas para infraestruturas de coroas e próteses dentárias fixas, recobertas por porcelana. O lascamento e fratura da cobertura de porcelana estética, associados a tensões térmicas residuais induzidas pelo processo de produção, as propriedades mecânicas da cerâmica e à geometria e dimensões da restauração são complicações técnicas relatadas na literatura. Isso levou então ao surgimento das zircônias monolíticas como uma possível solução (Della Bona and Kelly 2008, Lameira, Buarque e Silva et al. 2015, Alessandretti, Borba et al. 2017, Kolakarnprasert, Kaizer et al. 2019, Tang, Zhao et al. 2019, Alessandretti, Borba et al. 2020)

Restaurações monolíticas de zircônia apresentam vantagens consideráveis: exibem alta resistência à flexão, o preparo dentário pode ser mais conservador, minimizam o desgaste dos dentes antagonistas, requerem menos tempo de laboratório e menos consultas odontológicas, além de não terem a complicação indesejada de lascar (Zhang 2014, Tong, Tanaka et al. 2016, Kolakarnprasert, Kaizer et al. 2019, Zhang and Lawn 2019).

A partir disso, com o intuito de melhorar as propriedades ópticas, a cerâmica Y-TZP tem sido aprimorada (4YPSZ e 5YPSZ) e sofreram modificações na composição e microestrutura para aumento de translucidez (redução de impurezas e poros, aumento da concentração de fase cúbica e de ítria para 4 ou 5mol%) que reduziram sua resistência à flexão. Essas modificações também resultaram em diminuição da resistência da 5Y após jateamento com partículas de alumina, podendo ter originado defeitos e trincas na superfície (Tzanakakis, Tzoutzas et al. 2016, Basso 2021, Kim and Ahn 2021).

Alguns autores tem investigado tratamentos de superfície alternativos para as cerâmicas translúcidas, como jateamento de partículas de menor módulo de elasticidade

(como sílica) (Zhao, Yu et al. 2020), (Kim and Ahn 2021) e irradiação com laser associados a cimentos contendo um agente quimicamente ativo para zircônias policristalinas 10-metacriloiloxidecil dihidrogenofosfato (MDP) (Tzanakakis, Beketova et al. 2021). Contudo, não há consenso na literatura sobre o impacto da aplicação de laser na capacidade de restaurações resistirem à cargas. (McLaren, Maharishi et al. 2021).

Portanto, o objetivo do presente trabalho é analisar a influência da irradiação com laser de Er:YAG da superfície de cimentação na carga de fratura e modo de falha de coroas de zircônias monolíticas e bicamadas. O estudo testou a hipótese que o laser não diminui a carga de fratura das coroas de zircônia e hipótese de que a carga de fratura de coroas monolítica e bicamada é semelhante.

2. REVISÃO DE LITERATURA

ZIRCÔNIA

A 3Y-TZP foi introduzida na odontologia há mais de uma década, devido à sua resistência excepcional e cor semelhante ao dente. Podem ser totalmente densificadas com microestrutura de granulação fina para combinar uma alta resistência ao desgaste, tenacidade à fratura ($5-9 \text{ MPa m}^{1/2}$) e extraordinária resistência à flexão ($> 1000 \text{ MPa}$) (Zhang 2014). Devido à sua alta opacidade em relação às cerâmicas vítreas, eram utilizadas para estruturas de coroas e próteses dentárias fixas, substituindo infraestrutura metálica de próteses fixas (que são cobertas com porcelanas translúcidas) (Ottoni and Borba 2018, Zhang, Spies et al. 2019)

O lascamento e fratura da cobertura de porcelana estética, associados a tensões térmicas residuais induzidas pelo processo de produção foram as principais complicações técnicas relatadas das cerâmicas bicamadas. Isso levou então ao surgimento das zircônias monolíticas como uma possível

solução (Della Bona and Kelly 2008, Lameira, Buarque e Silva et al. 2015, Alessandretti, Borba et al. 2017, Kolakarnprasert, Kaizer et al. 2019, Tang, Zhao et al. 2019, Alessandretti, Borba et al. 2020).

Estudos como os de Lameira, Buarque e Silva et al. (2015) comparam restaurações monolíticas com bicamadas. Eles avaliaram o efeito do design e do acabamento superficial na resistência à fratura de coroas de policristal de ítria-tetragonal em zircônia (Y-TZP) em monolíticas (1,5 mm de espessura) e bicamadas (coping de zircônia de 0,8 mm e faceta de porcelana de 0,7 mm). As coroas foram cimentadas com cimento resinoso, submetidas ao envelhecimento artificial em um simulador de mastigação (2,5 milhões de ciclos/80 N/saliva artificial/37°C) e testadas quanto à resistência à fratura. ANOVA de uma via e teste de Tukey ($P = 0,05$) indicou que as coroas monolíticas de zircônia apresentaram resistência à fratura semelhante ($PM = 3476,2 \text{ N} \pm 791,7$; $GM = 3561,5 \text{ N} \pm 991,6$), que foi maior do que as coroas de duas camadas ($2060,4 \text{ N} \pm 810,6$). O acabamento superficial não afeta sua resistência à fratura.

Alessandretti, Borba et al. (2017) avaliaram a confiabilidade de estruturas cerâmicas monolíticas e

multicamadas usadas na técnica CAD-on (Ivoclar) e o modo de falha produzido em estruturas cerâmicas coladas a um material análogo à dentina (NEMA-G10). As amostras de cerâmica foram fabricadas da seguinte forma (n = 30): estrutura CAD em tricamada (IPS e.max ZirCAD/IPS e.max Crystall/Connect/IPS e.max CAD); YLD- estrutura bicamada (IPS e.max ZirCAD/IPS e.max Ceram); LDC- estrutura monolítica (IPS e.max CAD); e YZW- estrutura monolítica (Zenostar Zr Translucent). Todos os corpos de prova cerâmicos foram colados ao G10 e submetidos à carga compressiva em água destilada a 37 °C até o som da primeira trinca, monitorado acusticamente. Os valores da carga de falha (L_f) foram registrados (N) e analisados estatisticamente por meio da distribuição de Weibull, teste de Kruskal-Wallis e teste de Student-Newman-Keuls ($\alpha = 0,05$). Como resultado, os valores de L_f das estruturas CAD-on e YZW foram estatisticamente semelhantes ($p = 0,917$), mas superiores aos de YLD e LDC ($p < 0,01$). Os valores do módulo de Weibull (m) foram estatisticamente semelhantes para todos os grupos experimentais. Estruturas monolíticas (LDC e YZW) falharam por fissuras radiais. As falhas nos grupos CAD-on

e YLD apresentaram, predominantemente, trincas radiais e trincas cônicas. As estruturas monolíticas de zircônia (YZW) e CAD mostraram resistência e confiabilidade semelhantes, mas um comportamento de fratura diferente.

Hamza and Sherif (2019) compararam a resistência à fratura de restaurações monolíticas de cerâmica vítrea reforçada com restaurações à base de zircônia bicamada. Todos os espécimes foram cimentados em matrizes de epóxi com cimento resinoso autoadesivo (Relyx), submetidos a um simulador de mastigação e carregados até a fratura em uma máquina universal de ensaios. Como resultado, o estudo apresentou maior resistência à fratura nas coroas vitrocerâmicas monolíticas reforçadas (dissilicato de lítio e silicato de lítio reforçado com zircônia) do que as cerâmicas à base de zircônia bicamada.

Alessandretti, Ribeiro et al. (2019) avaliaram a carga de fratura e o modo de falha de estruturas cerâmicas CAD-on (Ivoclar Vivadent), testando as hipóteses de que carga de fratura de estruturas multicamadas é conduzido pela resistência da cerâmica de recobrimento e que o lascamento é mais frequente em multicamadas do que em estruturas

monolíticas. Os espécimes em forma de disco foram fabricados da seguinte forma: estrutura CAD em tricamada composta de Y-TZP (policristal de zircônia tetragonal estabilizada com ítria-IPS e.max ZirCAD), infraestrutura de vidro-cerâmica de fusão (IPS e.max CAD Crystall/Connect) e vitrocerâmica à base de dissilicato de lítio (IPS e.max CAD); YLD- estrutura bicamada composta por infraestrutura Y-TZP e cerâmica de estratificação de fluorapatita (IPS e.max Ceram); LDC- vitrocerâmica monolítica de dissilicato de lítio (IPS e.max CAD); e YZW- monolítico Y-TZP (Zenostar Zr Translúcido). Os espécimes foram carregados em compressão até a falha e as superfícies de fratura foram avaliadas usando princípios fractográficos. Os valores da carga de fratura foram analisados estatisticamente por meio da estatística de Weibull, Kruskal-Wallis e testes de Dunn ($\alpha = 0,05$). YZW (1329 N) e CAD-on (1085 N) apresentaram os maiores valores médios de carga de fratura, seguidos por YLD (832 N) e LDC (421 N). Todas as estruturas monolíticas (LDC e YZW) fraturaram catastróficamente e todas as estruturas YLD falharam por lascamento.

Alessandretti, Borba et al. (2020) avaliaram a resistência à fadiga de contato cíclico e o modo de falha de cerâmicas para restaurações monolíticas e multicamadas. As estruturas cerâmicas foram fabricadas da seguinte forma (n = 28): (1) estrutura CAD em tricamada composta de Y-TZP (policristal de zircônia tetragonal estabilizada com ítria-IPS e.max ZirCAD), infraestrutura de vidro de fusão – cerâmica (IPS e.max CAD Crystall/Connect) e vitrocerâmica à base de dissilicato de lítio (IPS e.max CAD); (2) ZFC- estrutura em bicamada composta por infraestrutura Y-TZP revestida por uma fluorapatitavitrocerâmica (IPS e.max Ceram); (3) LDC- vitrocerâmica monolítica de dissilicato de lítio (IPS e.max CAD); e (4) YZW- monolítico Y-TZP (Zenostar Zr Translúcido). Os espécimes foram submetidos ao ensaio de fadiga de contato cíclico em máquina cicladora pneumática com carga de 80 N e frequência de 2 Hz em água destilada a 37 °C. O teste foi interrompido após 10^4 , 10^5 , 5×10^5 e 10^6 ciclos e a presença ou ausência de falha foi registrada. E como resultado, pode-se observar que o Y-TZP monolítico (YZW) mostrou resistência à fadiga semelhante aos espécimes multicamadas CAD-on, mas com modo de falha diferente. As vitrocerâmicas monolíticas de dissilicato de

lítio (LDC) e Y-TZP convencionalmente estratificadas por vitrocerâmica (ZFC) apresentaram menor tempo de sobrevivência sob fadiga.

Restaurações monolíticas de zircônia apresentam vantagens consideráveis: exibem alta resistência à flexão, o preparo dentário pode ser mais conservador, minimizam o desgaste dos dentes antagonistas, requerem menos tempo de laboratório e menos consultas odontológicas, além de não terem a complicação indesejada de lascas (Kolakarnprasert, Kaizer et al. 2019). No entanto, tem como desvantagem (em sua forma básica 3Y-TZP) a baixa translucidez (Zhang 2014, Tong, Tanaka et al. 2016, Zhang and Lawn 2019).

A partir disso, com o intuito de melhorar as propriedades ópticas, a cerâmica Y-TZP tem sido aprimorada, resultando em três gerações de materiais: a primeira geração, também conhecida como convencional, possui na sua composição, 0,25% em peso de alumina (Al_2O_3) e grãos grandes com numerosas estruturas cristalinas muito pequenas pelas quais a luz precisa passar, deixando o material com uma característica bastante opaca (Shahmiri, Standard et al. 2018, Zhang and Lawn 2018). Elas foram criadas há mais de 15 anos e são indicadas

principalmente para infraestruturas com recobrimento de porcelana tanto para dentes anteriores quanto posteriores, confecção de infraestruturas, mascaramento de substratos escurecidos e ainda, como uma alternativa aos implantes e pilares de titânio devido ao seus altos valores de resistência à fratura (900-1000 MPa) e tenacidade à fratura (5,5-7,4 MPa.m^{1/2}) (Mosele and Borba 2014, Zhang and Lawn 2018, Guth, Stawarczyk et al. 2019).

A segunda geração é uma versão aprimorada da zircônia 3Y-TZP (0,25% em peso de Al₂O₃) e teve como principal diferença a redução no tamanho e na quantidade dos grãos de alumina. Além disso, houve a eliminação da porosidade por sinterização a uma temperatura mais alta (Stawarczyk, Keul et al. 2017, Zhang and Lawn 2018), Segundo Guth, Stawarczyk et al. (2019) e Stawarczyk, Keul et al. (2017), os grãos de alumina foram colocados próximos aos grãos de zircônia, obtendo desta forma, maiores níveis de translucidez. Embora adequadas para restaurações posteriores monolíticas, essas zircônias de segunda geração ainda eram insuficientemente estéticas para uso em dentes anteriores (Zhang and Lawn 2018).

A terceira geração e próximo estágio no desenvolvimento da zircônia monolítica veio com a inclusão da fase cúbica de até 53%, reduzindo a opacidade. Como os cristais cúbicos são maiores ($\sim 1,5 \mu\text{m}$) do que os cristais tetragonais, a luz transmitida pelas restaurações passa nos limites dos grãos e nas porosidades residuais, consequentemente, o material se torna mais translúcido. Quanto maior a quantidade de cristais cúbicos, maior a translucidez (Zhang and Lawn 2018, Guth, Stawarczyk et al. 2019). A estabilidade da fase cúbica em temperatura ambiente na composição da zircônia dental foi conseguida com o aumento da concentração de ítria para produzir zircônias parcialmente estabilizadas, 4% mol (4Y-PSZ) ou 5% mol (5Y-PSZ) (Zhang and Lawn 2018, Kontonasaki, Rigos et al. 2019). É descrito, portanto, como zircônia estabilizada com uma estrutura cúbica/tetragonal mista (Stawarczyk, Keul et al. 2017).

Um aumento na quantidade de cristais cúbicos tem, no entanto, um impacto negativo nas propriedades mecânicas, como resistência flexural e tenacidade à fratura (Kim, Yoo et al. 2021). Quando comparada a outras cerâmicas, como a vitrocerâmica de dissilicato de lítio, a

translucidez da terceira geração de zircônia é ligeiramente menor, enquanto sua resistência flexural e tenacidade à fratura são maiores (Guth, Stawarczyk et al. 2019, Kontonasaki, Rigos et al. 2019). Consequentemente, a zircônia de terceira geração pode ser considerada uma possível alternativa às cerâmicas de vidro de alta resistência e serem utilizadas na confecção de facetas e coroas monolíticas, coroas e próteses fixas anteriores, com até três elementos sendo um pântico entre duas coroas na região de pré-molar (Zhang and Lawn 2018).

Alguns estudos, como o de Sen and Isler (2020), mostram que as propriedades microestruturais, físicas e ópticas das cerâmicas de zircônia altamente translúcidas ainda não foram completamente investigadas. Neste trabalho, foi analisado as características microestruturais (tamanho do grão, composição elementar, identificações de fase e quantificações), propriedades físicas (dureza Vickers e tenacidade à fratura) e propriedades ópticas (parâmetro de translucidez e razão de contraste) de cerâmicas monolíticas de zircônia e de vitrocerâmica de dissilicato de lítio. Como resultado, observou-se um tamanho médio do grão diferente para os 3 espécimes de zircônia com a seguinte ordem: YZ-

XT (extremamente translúcida) > YZ-ST (super translúcida) > YZ-HT (translúcida). A tenacidade à fratura de YZ-HT foi maior do que a de YZ-ST e YZ-XT ($P < 0,05$). Cerâmica de dissilicato de lítio (IPS) com 0,5 mm de espessura teve o maior parâmetro de translucidez, seguido por YZ-XT e YZ-ST. Os valores de razão de contraste estavam na faixa de 0,54 a 0,91 (YZ-HT), 0,43 a 0,61 (YZ-ST), 0,29 a 0,45 (YZ-XT) e 0,27 a 0,53 (IPS), e todos diminuíram com um aumento em espessura. Percebe-se que as propriedades microestruturais, físicas e ópticas das cerâmicas de zircônia foram afetadas pelas mudanças na composição química e nos parâmetros de sinterização.

Quando comparada a resistência à flexão, parâmetro de translucidez, resistência de união e desgaste do esmalte e do material de 5Y-PSZ (Katana UTML) com 3Y-TZP (Katana HT) e dissilicato de lítio (e.max CAD), Kwon, Lawson et al. (2018) mostraram que a 5Y-PSZ tem resistência à flexão e translucidez intermediária entre a 3Y-TZP (alta resistência e mais baixa translucidez) e dissilicato de lítio (baixa resistência e mais alta translucidez). A resistência de união de curto e longo prazo de 5Y-PSZ e 3Y-TZP mostrou ser semelhante a vitrocerâmica de dissilicato

de lítio. 5Y-PSZ não demonstrou desgaste mensurável do material e desgaste oposto do esmalte semelhante ao de todos os outros materiais testados.

Em estudos comparando a resistência à fratura de coroas fabricadas a partir de três diferentes tipos de zircônia com diferentes conteúdos de óxido de ítrio, Elsayed, Meyer et al. (2019), avaliou 3 grupos experimentais divididos de acordo com o teor de óxido de ítrio no material da coroa utilizado. Oito espécimes de cada grupo foram selecionados aleatoriamente para passar por um envelhecimento artificial por meio de carregamento dinâmico e termociclagem em simulador de mastigação (Willytec, SD-Mechatronic). Após, todos os espécimes sobreviventes do primeiro subgrupo, juntamente com todos os espécimes do segundo subgrupo, foram carregados em uma máquina universal de teste (Zwick Z010, Zwick / Roell). Como resultado eles observaram que o valor médio de resistência à fratura mais alto foi mostrado com o 3Y-TZP após o envelhecimento artificial (mediana 7.530 N), enquanto o mais baixo foi mostrado com o 5Y-TZP após o envelhecimento artificial também (mediana 3.700 N). O que explica esses resultados, provavelmente, é o aumento na quantidade de óxido de ítrio que resultou na

diminuição da resistência à fratura. Isso pode ser explicado pelo fato de que aumentar o teor de óxido de ítrio e aumentar os grãos na fase cúbica para melhorar as propriedades ópticas resulta posteriormente na redução da fase tetragonal (Kim, Yoo et al. 2021)

Zhang, Inokoshi et al. (2016) avaliaram as propriedades ópticas, mecânicas e estabilidade ao envelhecimento de zircônia estabilizada com ítria com diferentes composições. Cinco diferentes pós de zircônia Y-TZP foram sinterizados nas mesmas condições e caracterizados por difração de raios-X com análise de Rietveld e microscopia eletrônica de varredura (MEV). A translucidez (n=6/grupo) foi medida com um medidor de cores, permitindo calcular o parâmetro de translucidez (TP) e a relação de contraste (CR). As propriedades mecânicas foram avaliadas com resistência à flexão de quatro pontos (n=10), tenacidade à fratura (n=8) e dureza Vickers (n=10). A estabilidade ao envelhecimento foi avaliada medindo a transformação tetragonal para monoclinica (n=3) após envelhecimento hidrotérmico acelerado em vapor a 134 ° C. Como resultado, a redução do teor de alumina abaixo de 0,25% em peso evitou a formação de partículas de

alumina e, portanto, aumentou a translucidez das cerâmicas 3Y-TZP, mas a estabilidade ao envelhecimento hidrotérmico foi reduzida. Um teor de ítria mais alto (5% molar) introduziu cerca de 50% da fase de zircônia cúbica e deu origem às cerâmicas Y-TZP mais translúcidas e resistentes ao envelhecimento, mas a tenacidade à fratura e a resistência foram consideravelmente sacrificadas.

TRATAMENTO DE SUPERFÍCIE

Apesar de sua boa resistência mecânica, a cimentação das restaurações cerâmicas altamente cristalinas ainda representa um desafio para o cirurgião-dentista. A desvantagem da cerâmica Y-TZP é sua capacidade limitada de aderir quimicamente aos cimentos resinosos devido à sua microestrutura policristalina sem vidro (Al-Harbi, Ayad et al. 2016, Chatterjee and Ghosh 2022) .

A microestrutura e a composição das cerâmicas, além das propriedades químicas e físicas dos agentes de cimentação, influenciam significativamente na natureza do mecanismo de união e durabilidade das restaurações de cerâmicas (Mosele and Borba 2014). A técnica de cimentação, juntamente com a resistência do material, é de

suma importância para o sucesso clínico de uma restauração (Atsu, Kilicarslan et al. 2006).

As restaurações de zircônia podem ser cimentadas com fosfato de zinco ou cimentos de ionômero de vidro modificados, porém, sob condições adequadas os cimentos resinosos fornecem uma adesão mais forte para restaurações de zircônia com melhores propriedades mecânicas do que os cimentos convencionais, sendo mais adequados para fins de vedação marginal, retenção e resistência à fratura (Atsu, Kilicarslan et al. 2006, Tzanakakis, Tzoutzas et al. 2016).

O ácido fluorídrico e a aplicação de um agente de acoplamento de silano a cerâmicas à base de sílica aumentam a resistência de união entre restaurações de cerâmicas vítreas e resinas compostas. Porém, essas técnicas não melhoram a resistência de união das cerâmicas de zircônio e alumina. Isso ocorre devido ao seu alto conteúdo cristalino que as torna resistentes ao ataque ácido fluorídrico (Atsu, Kilicarslan et al. 2006, Chatterjee and Ghosh 2022).

A resistência de união da zircônia aos cimentos foi melhorada através de outras técnicas de condicionamento de superfície como: abrasão de alumina a ar, revestimento

triboquímico de sílica, irradiação a laser, corrosão química e revestimento cerâmico. Esse aumento da resistência se dá devido a rugosidades criadas na superfície e do intertravamento micromecânico (Ozcan and Vallittu 2003, Thammajaruk, Inokoshi et al. 2018).

Além disso, estudos como os de Yoshida, Yamashita et al. (2004), Tsuo, Yoshida et al. (2006), Nakayama, Koizumi et al. (2010), Cura, Ozcan et al. (2012), Inokoshi, Kameyama et al. (2013) mostram a opção de pré tratamentos químicos à superfície da zircônia utilizando primers que contenham Metacriloiloxidecil di-hidrogenofosfato (MDP), acrilato de ácido fosfônico ou anidrido, promovendo assim uma adesão química à zircônia e potencialmente criando uma resistência de união durável.

Em relação a zircônia, sem delimitação de geração, alguns estudos trazem dados e metodologias interessantes em relação a tratamento de superfície. Inokoshi, De Munck et al. (2014) em sua meta-análise, verificaram que em relação à técnica de cimentação, a combinação de pré-tratamento mecânico e químico pareceu crucial para a obtenção de uma adesão durável às cerâmicas de zircônia. Mais, até mesmo, que a escolha do cimento que não

aparentou ser determinante após as condições de envelhecimento, desde que, cimento composto fosse o utilizado.

Ozcan and Bernasconi (2015) trouxeram 169 diferentes métodos de condicionamento de superfície, principalmente combinações de protocolos de abrasão a ar e promotores de adesivos (primers ou silanos). Esta revisão destacou que a adesão dos cimentos é significativamente influenciada pelo método de condicionamento de superfície ($p = 0,044$), tipo de cimento ($p = 0,018$), método de teste ($p = 0,017$) e condição de envelhecimento ($p = 0,003$). Com base nos resultados desta revisão sistemática, pode-se esperar um aumento da adesão após o condicionamento físico-químico da zircônia. Porém, como citado pelo autor, ainda não existe consenso sobre o melhor protocolo de adesão para zircônia usado em odontologia.

Thammajaruk, Inokoshi et al. (2018) revisaram sistematicamente a literatura e analisaram estatisticamente os dados de resistência de união para identificar a influência que cimentos resinosos, tipo de metodologia de teste, pré-tratamentos químicos e mecânicos a união à zircônia convencional em três diferentes condições

de envelhecimento. Após uma busca apurada nos bancos de dados, 161 artigos com 1632 resultados de teste preencheram os critérios de inclusão. Os resultados dos testes foram divididos em 3 condições de envelhecimento: grupos sem idade, de idade intermediária e de idade. Como resultado, a meta-análise indicou que os pré-tratamentos mecânicos, e em particular a abrasão de partículas de alumina revestimento de cerâmica, combinados com os primers contendo metacriloiloxidecil di-hidrogenofosfato (MDP) produziram a maior resistência de união a longo prazo.

Papia, Larsson et al. (2014), também realizaram uma revisão sistemática com o objetivo de pontuar cada um dos métodos existentes para obter superfícies ligáveis em cerâmicas de óxido e avaliar quais métodos podem fornecer resistência de união suficiente. Após avaliarem 127 estudos, com 12 marcas diferentes para zircônia e duas para alumina, verificaram que o tratamento de superfície abrasivo e/ou tratamento de revestimento de sílica com o uso de tratamento de primer pode fornecer força de união suficiente. Entretanto, as variações são grandes, dificultando a comparação dos estudos.

Tzanakakis, Tzoutzas et al. (2016) classificaram e analisaram os métodos e materiais existentes propostos para melhorar a adesão a superfícies de zircônia através de uma revisão sistemática. Estudos de 1998 a 2014 (um total de 134 publicações) identificaram diferentes técnicas adesivas com diferentes métodos de teste. Como resultado, observaram que a abrasão por partículas transportadas pelo ar e o revestimento triboquímico de sílica são métodos de pré-tratamento de referência, e que monômeros adesivos são necessários para a união química.

Comino-Garayoa, Pelaez et al. (2021), em uma revisão publicada recentemente, avaliaram os diferentes pré-tratamentos da superfície de zircônia e do cimento resinoso, a fim de determinar um protocolo operatório válido para a cimentação adesiva. Como principal busca, em quatro bases de dados, ficou estabelecida a seguinte questão: “Qual tipo de método de condicionamento de superfície é aquele que obtém os melhores valores de adesão à zircônia ao longo do tempo com a aplicação de um cimento resinoso?”. Quarenta e cinco artigos e duzentos e sessenta metodologias foram encontradas. Um protocolo adesivo padronizado não foi estabelecido devido à falta de evidências, porém algumas

considerações foram feitas a partir desta revisão: os pré-tratamentos mecanoquímicos de superfície ofereceram os melhores resultados adesivos; o revestimento triboquímico de sílica a uma pressão de 1,8–2,8 bar demonstrou atingir um aumento significativo na adesão à zircônia; novos métodos como jateamento de cerâmica feldspática e aplicação de silano ou laser YAG combinado com silano parecem ser alternativas promissoras na adesão à zircônia.

A partir de revisões como a de Comino-Garayoa, Pelaez et al. (2021), citada acima, que começam a trazer o laser como uma alternativa promissora, Garcia-Sanz, Paredes-Gallardo et al. (2018) revisaram e analisaram quantitativamente a literatura disponível a fim de determinar quais protocolos de união e tipos de laser são os mais eficazes. As bases de dados utilizadas foram Pubmed, Embase e Scopus para artigos publicados até abril de 2017. As diretrizes PRISMA para revisão sistemática e meta-análise foram seguidas. Cinquenta e dois artigos foram incluídos na revisão. Seis tipos de laser foram identificados nos 52 artigos analisados nesta revisão: laser de CO₂, laser Er,Cr:YSGG, laser Er:YAG, laser de femtossegundo, laser Nd:YAG e laser Yb:YAG. Os lasers foram usados com

diferentes potências de saída, variando de 400mW a 10W, lasers de femtossegundos com a menor potência, em contraste com Er:YAG e CO₂, que foram ajustados nas maiores potências. A variabilidade também foi observada nas configurações médias de energia (4mJ a 500mJ); tempo de aplicação (2 segundos a 2 minutos); e distância, sendo alguns dos lasers utilizados em modo de contato, enquanto outros dispositivos foram aplicados a distâncias que variaram de 1 mm a 11 cm. Uma ampla variedade de tipos de cerâmica foi utilizada, sendo a zircônia a mais comum (36 estudos). Todos os estudos realizaram testes de resistência de união por meio de uma carga de cisalhamento a uma velocidade de 0,5 ou 1mm/min, com exceção de cinco estudos, que realizaram testes de microtração a 0,1 e 0,5mm/min. Comprovou-se que os lasers utilizados nos estudos avaliados aumentam a força de união de superfícies cerâmicas para cimentos resinosos e compósitos quando comparados com amostras de controle (p-valor <0,01), enquanto nenhuma diferença significativa foi encontrada em comparação com superfícies jateadas com óxido de alumínio ou sílica.

O laser utilizado neste trabalho é o Er:YAG. Segundo o estudo de Tzanakakis, Skoulas et al. (2021), o laser de Er:YAG tem um comprimento de onda que coincide com a absorção máxima pela água. Ele remove os grânulos por micro-explosões e por evaporação, um processo chamado ablação.

Cavalcanti, Pilecki et al. (2009) em seu estudo, verificaram que em configurações mais altas (600 mJ), houve extensa destruição de material e aumento da rugosidade, enquanto em configurações baixas (200 ou 400 mJ) os resultados foram semelhantes aos do jateamento. Além disso, em MEV, superfícies lisas foram observadas cercadas por rachaduras superficiais de intensidade crescente, dependendo da densidade do laser. Em altas configurações (400, 600 mJ), foram observadas fusão das camadas superficiais de zircônia, perda significativa de massa e trincas profundas. Já no estudo de Akin, Ozkurt et al. (2011), em diferentes configurações (150 mJ, 1 W, LP por 20s), o Er:YAG melhorou a adesão e a resistência à microinfiltração. Demir, Subasi et al. (2012) sugere que a aplicação de Er:YAG a 400 mJ pode ser uma alternativa ao jateamento com 110 μm . Porém outros

estudos como os de Subasi and Inan (2012) encontraram menor rugosidade com a aplicação do laser Er:YAG a 400 mJ em comparação com o jateamento de Al_2O_3 de 110 μm ou revestimento de sílica de 30 μm .

Lin, Song et al. (2013) investigaram se um laser Er:YAG poderia ou não melhorar a propriedade de união da cerâmica de zircônia ao cimento resinoso. 11 grupos foram estudados: controle, abrasão a ar e laser Er:YAG - intensidades de energia (100, 200 ou 300 mJ) e tempos de irradiação (5, 10 ou 15 segundos). Após os tratamentos de superfície, as peças tiveram sua morfologia superficial observada e sua rugosidade superficial foi medida. Todos os espécimes foram colados ao cimento resinoso. A resistência ao cisalhamento foi medida depois que os espécimes colados foram armazenados em água por 24 horas e envelhecidos por termociclagem. As análises estatísticas foram realizadas usando análise de variância (ANOVA) de uma via e teste de Tukey para resistência ao cisalhamento e teste t de Dunnett para rugosidade da superfície, com $\alpha=0,05$. Como resultado, observou-se que a irradiação com laser Er:YAG alterou as características morfológicas da cerâmica de zircônia. Intensidades de energia mais altas (200, 300 mJ)

podem tornar a cerâmica áspera, mas também podem causar rachaduras na superfície. Não houve diferenças significativas na resistência de união entre o grupo controle e os grupos de laser tratados com diferentes intensidades de energia ou tempos de irradiação. A abrasão a ar com partículas de alumina induziu maior rugosidade superficial e resistência ao cisalhamento e por isso, os autores acreditam que a irradiação com laser Er:YAG não pode melhorar a propriedade de união da cerâmica de zircônia ao cimento resinoso. O aumento das intensidades de irradiação e o prolongamento do tempo de irradiação não beneficiam a união da cerâmica e podem causar defeitos no material.

Turp, Akgungor et al. (2014) avaliaram o efeito do laser Erbium: ítrio-alumínio-granada (Er:YAG) com diferentes comprimentos de pulso na rugosidade da superfície da cerâmica de zircônia e abrasão por partículas aerotransportadas. Cento e quarenta discos de zircônia foram divididos em 14 grupos (n=10): controle, abrasão com partículas de ar com partículas de Al_2O_3 , tratamento com laser (três diferentes níveis de energia de pulso - 100, 200 e 300 mJ) e para cada nível de energia em quatro diferentes comprimentos de pulso - 50, 100, 300 e 600 μs . A

rugosidade da superfície foi avaliada com um perfilômetro óptico e os espécimes foram avaliados com microscopia eletrônica de varredura (MEV). Os dados foram analisados com ANOVA de uma via e testes de comparação múltipla de Tukey ($\alpha=0,05$). Para os grupos de condicionamento a laser de 100 e 200 mJ, a duração do laser de 50 e 100 μ s resultou em rugosidade superficial significativamente maior em comparação com a abrasão por partículas de ar ($p<0,05$). A diferença entre os valores de Ra de 300 μ s, 600 μ s e grupos de abrasão por partículas de ar não foi estatisticamente significativa ($p>0,05$). Para os grupos de 300 mJ; não houve diferença estatisticamente significativa entre os valores de Ra de 50 μ s, 100 μ s, 300 μ s, 600 μ s e grupos de abrasão por partículas de ar ($p>0,05$). Os autores acreditam que o condicionamento a laser Er:YAG pode ser uma alternativa à abrasão por partículas de ar para cerâmicas de zircônia. No entanto, altos níveis de energia de pulso e comprimento de pulso mais longo podem ter um efeito adverso nas propriedades de travamento micromecânico, devido a uma diminuição na rugosidade da superfície.

Kara, Kara et al. (2015) avaliaram e compararam os efeitos de vários sistemas de laser na rugosidade da

superfície e resistência ao cisalhamento da cerâmica de zircônia. Setenta e dois discos de cerâmica (10 mm × 2 mm) obtidos a partir de duas cerâmicas de zircônia sinterizada foram divididos em dois grupos (n=36) de acordo com o desenho do CAD/CAM e depois divididos em três grupos (n=12). Cada grupo foi tratado com os seguintes lasers: (1) lasers de femtosegundo (FS), (2) Nd:YAG (NY) e (3) Er:YAG (EY). Após a irradiação do laser, uma micrografia eletrônica de varredura (MEV) foi tirada com ampliação de 500 × para exame qualitativo. Após a medição da rugosidade superficial, um cimento resinoso (Rely X U200) foi aderido às amostras de cerâmica usando tubos de Teflon (3 mm de altura, 4 mm de diâmetro). Os espécimes foram armazenados em água destilada a 37°C por 24 horas e depois termociclados por 5000 ciclos. Um teste de resistência ao cisalhamento (MPa) foi realizado e os dados foram analisados por análise de variância de duas vias (ANOVA) e teste de Tukey. A resistência ao cisalhamento e rugosidade foram significativamente afetados pelo tipo de laser ($p < 0,001$), e não houve interação significativa entre as duas cerâmicas de zircônio. O grupo irradiado com laser FS apresentou rugosidade e valores médios de MPa

significativamente maiores ($p < 0,05$) que os demais grupos. Nenhuma diferença significativa foi encontrada entre os grupos irradiados com laser NY e EY ($p > 0,05$). No MEV, as superfícies do grupo FS foram mais rugosas do que as dos grupos NY e EY. As superfícies de NY e EY eram quase lisas. Concluiu-se então que o laser FS é um tratamento de superfície eficaz para rugosidade de superfícies de cerâmica de zircônia. Além disso, revela o maior MPa.

Moretto, de Freitas et al. (2021) avaliaram o efeito do condicionamento a laser Er:YAG de uma cerâmica reforçada com zircônia à base de alumina infiltrada com vidro em sua resistência à flexão e na adesão a um cimento resinoso. Dezesseis blocos e 50 discos de In-Ceram Zirconia (ICZ) obtidos de blocos CAD-CAM foram infiltrados com vidro. Para o teste de resistência de união à microtração (μ TBS), todos os blocos foram tratados com óxido de alumínio (AOX) e divididos em 4 grupos ($n = 4$): G1 (AOX), sem tratamento de superfície combinado; G2 (ROC), revestimento de sílica triboquímica; G3 (EY200), Laser Er:YAG 200 mJ/15 Hz; e G4 (EY250), laser Er:YAG 250 mJ/10 Hz. Os blocos cerâmicos foram silanizados e

cimentados com cimento resinoso (Panavia F2.0/Kuraray) a blocos de resina composta e submetidos ao ensaio de μ TBS. Para a avaliação da resistência à flexão, os discos foram divididos em 5 grupos ($n=10$) conforme descrito acima, além de um grupo controle (G5 – CTRL, polimento espelhado sem tratamento adicional). Cada tratamento de superfície foi submetido a avaliação qualitativa em MEV. ANOVA de uma via ($\alpha=5\%$) revelou o maior valor de resistência de união para EY200 sem diferença significativa de ROC. Os grupos AOX e EY250 apresentaram valores de μ TBS semelhantes e estatisticamente menores que os de EY200. Para a resistência à flexão, o ROC foi o único grupo com valores significativamente menores quando comparado ao CTRL. A utilização do laser Er:YAG a 200 mJ/15 Hz pode ser considerada uma alternativa inovadora e eficaz para o condicionamento superficial da ZIC, uma vez que não reduziu a resistência à flexão da cerâmica e melhorou a adesão do cimento resinoso a esse substrato.

Souza-Filho, Moris et al. (2021) avaliaram as características de superfície e resistência de união de Y-TZP tratadas com laser Er:YAG em diferentes distâncias

focais. 120 blocos de Y-TZP foram divididos em cinco grupos (n=24), de acordo com o tratamento de superfície: sem tratamento (C-); jateamento com partículas de óxido de alumínio revestidas com sílica (C+); e aplicação do laser Er:YAG em distâncias focais de 1mm (Er:YAG-1), 4mm (Er:YAG-4) e 7mm (Er:YAG-7). As características da superfície foram analisadas usando microdureza Vickers, microscópio confocal a laser, microscopia eletrônica de varredura (MEV) e difratômetro de raios-X (XRD). Para o teste de resistência de união, 100 blocos de Y-TZP foram subdivididos em dois subgrupos (n=10), de acordo com o cimento resinoso utilizado: com (MDP+) ou sem 10-metacriloiloxidecil dihidrogenofosfato (MDP-). A microdureza Vickers e a rugosidade superficial foram analisadas por ANOVA one-way e a resistência de união por ANOVA two-way e teste de Tukey para ambos ($\alpha=0,05$). Não foram observadas diferenças de microdureza Vickers entre os grupos ($p>0,05$); C+ apresentou maiores valores de rugosidade superficial. Imagens MEV mostraram diferenças micromorfológicas entre os grupos. Os dados XRD detectaram cristais tetragonais para C- e, para os outros grupos, picos tetragonais e monoclinicos. Para

resistência de união, não houve diferença estatisticamente significativa entre os cimentos com ou sem MDP ($p > 0,05$), mas houve diferença significativa entre os tratamentos de superfície ($C^+ > C^- = \text{Er:YAG1} > \text{Er:YAG4} = \text{Er:YAG7}$) ($p < 0,05$).

Jauregui-Ulloa and Marocho (2022) descreveram o uso de lasers na melhora das propriedades de união a zircônia e no uso para seu descolamento. O banco de dados PubMed até julho de 2021 foi utilizado com as seguintes palavras-chave para melhora nas propriedades de união, que é o interessante para este estudo: irradiação a laser; zircônia; e força de ligação. Um total de 36 estudos foram incluídos para tratamento de superfície de zircônia. Os lasers Nd:YAG, CO₂, Er:YAG, Er,Cr:YSGG e ultracurtos foram usados para tratamento de superfície e pode-se concluir que o uso da irradiação a laser para melhorar as propriedades de união da zircônia depende do tipo de laser e dos parâmetros utilizados. Entre os tipos de laser incluídos nesta revisão, os lasers ultracurtos mostraram os resultados mais promissores; no entanto, mais estudos são necessários para provar sua superioridade sobre os outros lasers para aumentar a força de união da zircônia.

Zhu, Tao et al. (2022) avaliaram os efeitos do laser Er:YAG com diferentes frequências nas propriedades de união da cerâmica de zircônia. No total, 42 discos de Y-TZP foram divididos em 6 grupos ($n=7$): controle (C), jateamento (SB) e Er:YAG (A1–A4), cujas frequências correspondem a 5 Hz, 10 Hz, 15 Hz e 20 Hz, já a cerâmica IPS e.max Press foi B. Imagens de microscópio eletrônico de varredura (MEV) foram registradas. As cerâmicas foram coladas ao esmalte de dentes extraídos. Depois de ser armazenado constantemente a 37 °C por 24h, o teste de cisalhamento foi realizado com uma máquina de teste universal. O estereomicroscópio avaliou os modos de fratura e os dados foram analisados por um software estatístico. O MEV mostrou que a superfície de A1–A4 tornou-se áspera em comparação com C. O teste de cisalhamento mostrou que a maior resistência de ligação para B foi de $13,15 \pm 2,97$ MPa, seguida por SB de $7,78 \pm 0,97$ MPa e A2 $7,13 \pm 0,75$ MPa. No entanto, não houve diferença significativa entre SB e A2. Os modos de fratura de C foram a fratura de interface de Y-TZP e adesivo de resina; a maior parte de A1–A4 e SB também eram fraturas de interface, algumas fraturas mistas e fratura de coesão do adesivo de resina; B eram todas fraturas

mistas. Como conclusão, os autores sugerem o uso do laser Er:YAG com 10 Hz como uma alternativa ao jateamento com Al_2O_3 para modificação da superfície do Y-TZP para aumentar a força de união.

ZIRCÔNIA TRANSLÚCIDA

Quando se pensa em zircônia dental altamente translúcida, verifica-se que, em relação a zircônia convencional, há diferentes composições de fase e microestruturas. Devido a isso, alguns autores tem estudado o tratamento de superfície destas cerâmicas a fim de verificar semelhanças e diferenças na eficácia da cimentação a longo prazo (Kim and Ahn 2021).

Ruales-Carrera, Cesar et al. (2019) avaliaram o comportamento adesivo da zircônia convencional e altamente translúcida após condicionamento de superfície e envelhecimento hidrotérmico. As amostras foram divididas em seis grupos: sem tratamento de superfície (ZrC e ZrT), abrasão de partículas com partículas de 50 μm de tamanho Al_2O_3 (ZrC- AO e ZrT-AO), e tratamento triboquímico com partículas de Al_2O_3 modificado com sílica

de 30 μm (ZrC-T e ZrT-T). Após os testes de resistência de união à microtração, observou-se que as rugosidades dos grupos ZrC-AO e ZrT-AO foram estatisticamente maiores. Valores mais altos de resistência de união foram obtidos para os grupos de zircônia convencional tratada mecanicamente quando comparada com seus equivalentes de zircônia translúcida. Entretanto, de certa forma, o tratamento mecânico da superfície melhorou significativamente a resistência de união tanto para a zircônia convencional quanto para a altamente translúcida. Isso significa que o tratamento mecânico da superfície (abrasão de partículas transportadas pelo ar ou tratamento triboquímico) associado ao uso de adesivos universais contendo MDP pode fornecer uma união durável à zircônia convencional e altamente translúcida.

Aung, Takagaki et al. (2019) verificaram como os tratamentos de superfície são clinicamente relevantes para a resistência de união de cerâmicas em diferentes graus de translucidez após armazenamento de água de longo prazo. Quatro tratamentos de superfície diferentes (não tratado, jateamento de alumina a 0,1 MPa ou 0,2 MPa ou 0,4 MPa) e dois cimentos resinosos (PANAVIA V5 e PANAVIA SA

CEMENT PLUS AUTOMIX) foram testados. As amostras já cimentadas foram armazenadas em água por 1 dia, 30 dias e 150 dias. A resistência à tração (TBS) foi medida com máquina de ensaio universal a uma velocidade de cruzeta de 2 mm/min ($n = 10$). A medição da rugosidade da superfície e a análise da morfologia da superfície não tratada e tratada com pressões de jateamento de alumina 0,1 MPa; 0,2 MPa e 0,4 MPa para três diferentes graus de zircônia foram avaliadas com Microscópio Confocal de Varredura a Laser 3D. Na zircônia translúcida percebeu-se que após 1 dia e 30 dias de armazenamento, a pressão de jateamento de alumina de 0,4 MPa forneceu força de adesão superior, no entanto, após 150 dias, 0,2 MPa deu força de união estável e confiável.

No trabalho de Le, Larsson et al. (2019) o objetivo foi avaliar a resistência de união entre o cimento adesivo e a zircônia translúcida em comparação com a zircônia convencional. Os espécimes foram divididos conforme os grupos: controle, tratamento com ácido fluorídrico ou jateamento com partículas de sílica. O envelhecimento ocorreu em 3 tempos: 24 h em água, 5.000 termociclos; 150 dias em água, incluindo 37.500 termociclos; e antes do teste

de resistência ao cisalhamento. O tratamento com jateamento com partículas de sílica aumentou significativamente a resistência de união para todas as marcas de zircônia, independentemente dos procedimentos de envelhecimento artificial, em comparação com o grupo de controle. A força de união entre o cimento adesivo e a zircônia translúcida é equivalente à da zircônia convencional. O jateamento com partículas de sílica cria uma superfície de cimentação que é mais durável do que a produzida ou tratada com ácido fluorídrico, independentemente do tipo de zircônia.

Estudos como os de Yoshida (2020) verificaram a influência de diferentes pressões de abrasão a ar e subsequente tratamento térmico na resistência à flexão, rugosidade superficial e fases cristalográficas de zircônia parcialmente estabilizada altamente translúcida (Y-PSZ) e na resistência à tração do cimento resinoso para Y-PSZ. Perceberam então que a retenção micromecânica por abrasão a ar de alumina a 0,2 MPa, em combinação com a ligação química de uma resina a Y-PSZ altamente translúcido usando um cimento de resina contendo MDP pode permitir uma adesão durável.

Zhao, Yu et al. (2020) compararam os efeitos dos protocolos de abrasão de partículas sobre: a morfologia da superfície, a transformação de fase e a resistência de união da resina de zircônia altamente translúcida e zircônia convencional. As amostras foram divididas da seguinte forma, n=12: jateamento com diferentes tamanhos de grão (50 μm ou 110 μm), tempos de tratamento (10 s ou 20 s) e pressões (0,1 MPa, 0,3 MPa ou 0,6 MPa). A morfologia da superfície foi analisada em microscopia eletrônica de varredura (MEV), a análise de fase por difração de raios X (DRX), a rugosidade superficial média (Ra) e a resistência ao cisalhamento (SBS) foram medidos e analisados estatisticamente, e o modo de ruptura foi determinado em microscópio óptico. Como resultado eles observaram que o tamanho de partícula maior e pressão mais alta resultaram em rugosidade superficial média mais alta para ambos os materiais. O tempo de detonação mais longo resultou em rugosidade superficial média mais alta para zircônia convencional, mas não zircônia translúcida. A resistência de cisalhamento aumentou com o aumento da rugosidade superficial média; a transformação monoclinica não foi encontrada em nenhum tratamento para zircônia translúcida,

mas foi encontrada na zircônia convencional. As morfologias da superfície eram fortemente dependentes das condições de tratamento.

Kim and Ahn (2021) investigaram o efeito do tamanho da partícula de jateamento com partículas de sílica na topografia da superfície e tensões compressivas de zircônia convencional (zircônia tetragonal policristal estabilizada com ítria 3% molar; 3Y-TZP) e duas zircônias altamente translúcidas (4Y-PSZ ou 5Y-PSZ). Amostras das zircônias foram jateadas com diferentes tamanhos de alumina - Al_2O_3 (25, 50, 90, 110 e 125 μm) sob 0,2 MPa por 10s/cm² a uma distância de 10 mm e um ângulo de 90°. Para avaliar a superfície, foi utilizado microscopia confocal a laser 3-D e microscópio eletrônico de varredura. O jateamento de Al_2O_3 com grão de 110 μm para 3Y-TZP, 90 μm para 4Y-PSZ e 25 μm para 5Y-PSZ foram considerados como as condições de jateamento recomendadas.

Em relação a utilização de laser em cerâmicas de zircônia altamente translúcidas, Tzanakakis, Beketova et al. (2021) avaliaram a eficácia de tratamentos de superfície alternativos na resistência ao cisalhamento de zircônia de

alta translucidez a cimento resinoso contendo 10-metacriloiloxidecil dihidrogenofosfato (MDP), com a justificativa de que os tratamentos de superfície atualmente aplicados para a adesão de zircônia podem criar microfissuras indesejadas e falhas na superfície. Eles utilizaram discos de cerâmica zircônia estabilizada com ítria comercial com 5% molar de óxido de ítrio zircônio policristal tetragonal (5Y-PSZ) que foram submetidos a abrasão com ar com partículas de alumina (50 μm - AL50 e 90 μm -AL90), pérolas de vidro (GB 10–60 μm) e ablação com laser de femtossegundo (FEMTO). Não foram encontradas diferenças estatisticamente significativas entre os grupos. Observou-se que o tratamento com laser de femtosegundo é um método alternativo promissor para a retenção mecânica de cimentos resinosos.

3. PROPOSIÇÃO

A presente pesquisa tem o objetivo de analisar a influência da irradiação com laser da superfície de cimentação na carga de fratura e modo de falha de coroas de zircônias monolíticas e bicamadas

As seguintes hipóteses foram testadas:

- A irradiação com laser não diminui a carga de fratura das coroas de zircônia;
- A carga de fratura de coroas monolítica e bicamada é semelhante.

4. MATERIAIS E MÉTODOS

4.1. DESCRIÇÃO DOS MATERIAIS

Os materiais utilizados no estudo estão descritos na Tabela 1.

Tabela 1. Indicação clínica e composição dos materiais do estudo.

Nome comercial (Fabricante)	Composição química	Descrição
Ceramill ZI (3YTZP)	$\text{ZrO}_2 + \text{HfO}_2 + \text{Y}_2\text{O}_3: \geq 99,0$	Zirconia levemente translúcida.
(AmannGirrbach)	$\text{Y}_2\text{O}_3: 4,5 - 5,6$ $\text{HfO}_2: \leq 5$	Resistência à flexão: 1200 +/- 150 MPa

	Al ₂ O ₃ : ≤ 0,5 Outros óxidos: ≤ 1	Módulo elástico (E): ≥ 200 GPa Dureza de Vickers: 1300 +/- 200 HV10 CDT 25 - 500 °C: 10.4 +/- 0.5 10–6/K Solubilidade química: < 100 µg/cm ²
Ceramill Zolid FX-White (5Y-PSZ) (AmannGirrbach)	ZrO ₂ + HfO ₂ + Y ₂ O ₃ : ≥ 99,0 Y ₂ O ₃ : 9,15 – 9,55 HfO ₂ : ≤ 5 Al ₂ O ₃ : ≤ 0,5 Outros óxidos: ≤ 1	Zircônia ultra-translúcida Resistência à flexão: 700 +/- 150 Mpa Módulo elástico (E): ≥ 200 GPa Dureza de Vickers: 1300 +/- 200 HV10 CDT 25 - 500 °C: 10.1 +/- 0.5 10–6/K Solubilidade química: < 100 µg/cm ²
Vita VM9 – Base Dentina 3M3 (Vita Zahnfabrik, Bad Sackingen, Alemanha)		Cerâmica de cobertura de feldspato natural com estrutura fina para estruturas de dióxido de zircônio
NEMA G10 (G10) (Internacional Paper)	Resina epóxi reforçada com fibra de vidro	Análogo da dentina
Panavia F 2.0 (Kuraray Noritake Dental Inc.)	PANAVIA F 2.0 Paste (A Paste / B Paste) Principais ingredientes (1) A Paste • 10-Metacrilóiloxidecil dihidrogeno fosfato (MDP) • Dimetacrilato aromático hidrófobo • Dimetacrilato alifático	Cimento resinoso dual (fotopolimerizável e/ou autopolimerável), radiopaco para restaurações de cerâmica, resina composta e metal.

hidrófobo
• Dimetacrilato alifático
hidrófilo
• Partícula de sílica
silanizada
• Sílica coloidal silanizada
• dl-Canforoquinona
• Catalisadores
• Iniciadores
(2) B Paste
• Dimetacrilato aromático
hidrófobo
• Dimetacrilato alifático
hidrófobo
• Dimetacrilato alifático
hidrófilo
• Partícula de vidro bário
silanizado
• Fluoreto de sódio de
superfície tratada
• Catalisadores
• Aceleradores
• Pigmentos

* Dados fornecidos pelo fabricante.

4.2. OBTENÇÃO DOS CORPOS DE PROVA

Barras ($\varnothing 20 \times 1200$ mm) do material análogo à dentina (G10) foram fresadas em preparos simplificados para coroas de segundos pré-molares superiores (N=60). O preparo teve chanfro cervical de 1,2 mm e ângulos arredondados entre as paredes axial e oclusal (Figura 1)

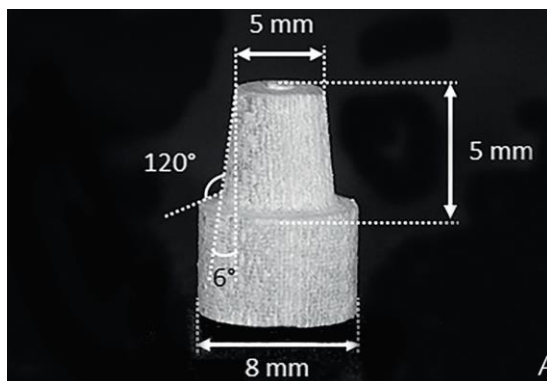


Figura 1. Material análogo a dentina, fresado conforme descrito acima.
Fonte: Mores, R. et al 2017.

Blocos de zircônia foram fresados utilizando o sistema de fabricação auxiliado por computador (CAD-CAM - computer-aided design) (InLab MCX5; Dentsply Sirona).

A zircônia ultra-translúcida (5Y) foi fresada no formato de segundo pré-molar superior (Software InLab 19; Dentsply Sirona) com uma espessura de 20 mm nas paredes axiais e 30 mm na oclusal, com sulcos e cúspides principais, de forma a constituir uma restauração monolítica (Figura 2).

A zircônia translúcida (3Y) foi fresada como infraestrutura (IE) com espessura de paredes axiais de 10 mm e oclusais de 20 mm (Figura 2). As IE foram recobertas com cerâmica feldspática pela técnica estratificada: a

mistura do pó da porcelana Vita VM9 e líquido modelador (2:1), foi inserida no molde de silicone de condensação (Zermack) bipartido obtido da moldagem da superfície externa das coroas monolíticas. Três aplicações de cerâmica feldspática foram necessárias para obtenção da forma final (Figura 3). Após a sinterização da cerâmica de cobertura seguindo as recomendações do fabricante, as coroas foram limpas em banho sônico (Ultrasound Tubes Instrument; Cristofoli Ltda), imersas em água destilada por 5 minutos para remoção de detritos.



Figura 2. Coroa monolítica (esquerda) e infraestrutura de zircônia (direita) após procedimento de fresagem e sinterização.

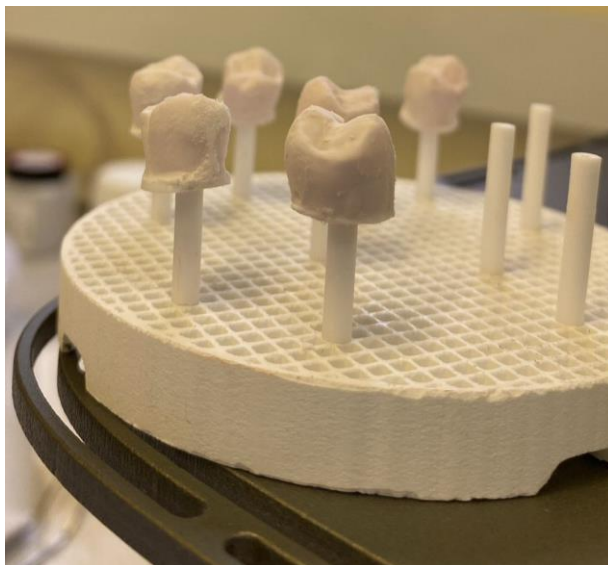
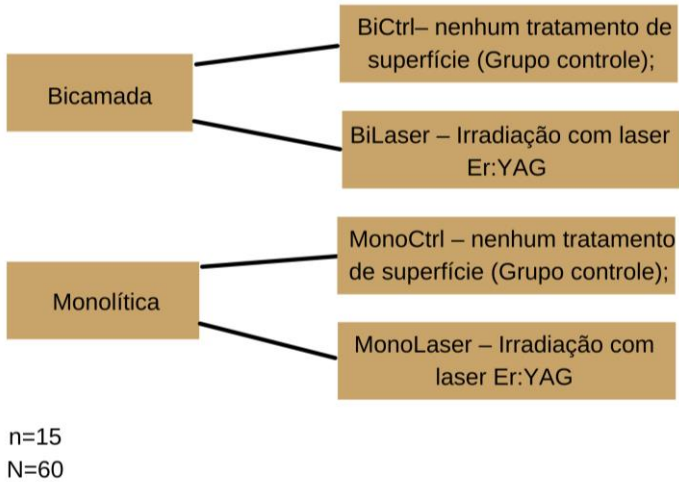


Figura 3. Corpos de prova bicamadas: infraestrutura de zircônia 3Y sinterizada cobertas com cerâmica feldspática antes da sua sinterização.

4.3. TRATAMENTOS DE SUPERFÍCIE

As coroas foram divididas em 4 grupos experimentais conforme o tratamento da superfície de cimentação (Figura 4).

Figura 4. Fluxograma dos grupos experimentais.



A irradiação por laser de Er:YAG das superfícies de cimentação das coroas dos grupos experimentais específicos seguiu as configurações descritas na Tabela 2.

Tabela 2. Configurações utilizadas na irradiação a laser, baseadas no artigo de MORETTO et al 2021.

Descrição:	Laser Er:YAG
Cristal	Safira
Área do feixe	0,0028 cm ²
Potência de saída	2.5 W ou 3.0 W
Energia por pulso	200mJ
Taxa de repetição	15 Hz
Tempo de irradiação	30 seg
Distância da irradiação	2mm da superfície
Padrão de irradiação	Varredura
Diâmetro do feixe	0.8 mm

Os parâmetros do laser apresentados na tabela 3 foram selecionados com base nos estudos de Moretto *et al.* 2021, juntamente com um estudo piloto (Tabela 3) realizado em discos de cerâmica 5Y-PSZ e 3Y-TZP irradiados com frequências e ângulos diferentes e avaliados em microscópico óptico em 75x (Figura 5), microscopia eletrônica de varredura em 1000 x (Figura 6). O estudo piloto teve o objetivo de avaliar o protocolo mais agressivo, mas que não causasse defeito visível da superfície das zircônias.

Tabela 3. Especificações do laser Er:YAG usadas no trabalho piloto.

Zircônia	3Y-TZP	3Y-TZP	5Y-PSZ	5Y-PSZ
Energia	200 mJ	250 mJ	200 mJ	250 mJ
Densidade de energia	71,42 J/cm ²	89,28 J/cm ²	71,42 J/cm ²	89,28 J/cm ²
Potência	3.0 W	2.5W	3.0 W	2.5W
Taxa de repetição	15 Hz	10 Hz	15 Hz	10 Hz
Angulação	45° e 90°	45° e 90°	45° e 90°	45° e 90°

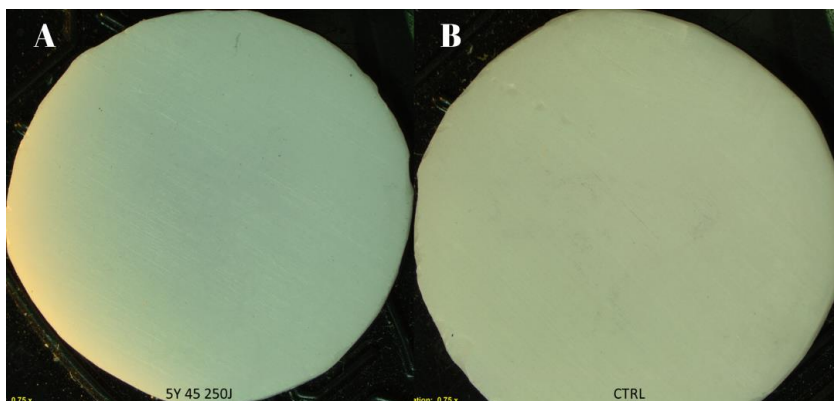


Figura 5. Microscopia Óptica. A. Imagem irradiada e B. Controle.

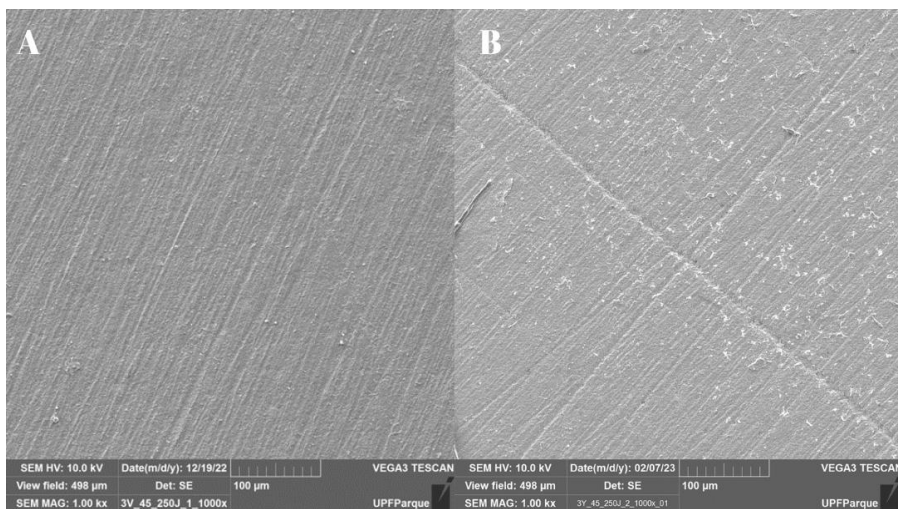


Figura 6. Microscopia Eletrônica de Varredura A. Imagem irradiada e B. Controle.

Após o condicionamento das amostras conforme os grupos descritos, a rugosidade superficial de algumas

amostras (n=2) foi analisada por meio de um perfilômetro óptico.

4.5. CIMENTAÇÃO

O condicionamento dos preparos de resina epóxica reforçada por fibras de vidro (G10) foi realizado conforme estudo de Mosele & Borba 2014 e consiste no condicionamento com ácido fluorídrico 10% (Condac, FGM, Brasil) por 1 minuto (60 segundos) seguido da aplicação de silano (Ultradent, Brasil) por 1 minuto (60 segundos). Em seguida, foi aplicado o adesivo (sistema Panavia 2.0) por 20 segundos que foi fotopolimerizado conforme o fabricante, por 10 segundos.

A cimentação das coroas foi feita conforme descrito pelo fabricante do cimento utilizado. Um cimento resinoso dual (Panavia, Kuraray, Brasil) foi o de escolha. Ele foi misturado em partes iguais do catalisador e da pasta base e dispensado na parte interna da amostra que já estava limpa e condicionada conforme os grupos da pesquisa. Esta, foi assentada sobre o troquel análogo de dentina e mantida em posição sob uma carga de 750g aplicada na superfície oclusal.

O excesso de cimento foi removido com um pincel e a cura química do material foi aguardada por 5 min. O cimento foi fotoativado por 40 segundos em cada superfície de restauração usando uma unidade de diodo emissor de luz (Figura 7 A) (VALO; Ultradent Products, Inc). A luz também foi aplicada na superfície oclusal por 40 segundos após a remoção dos espécimes do dispositivo de aplicação de carga (Figura 7 B).

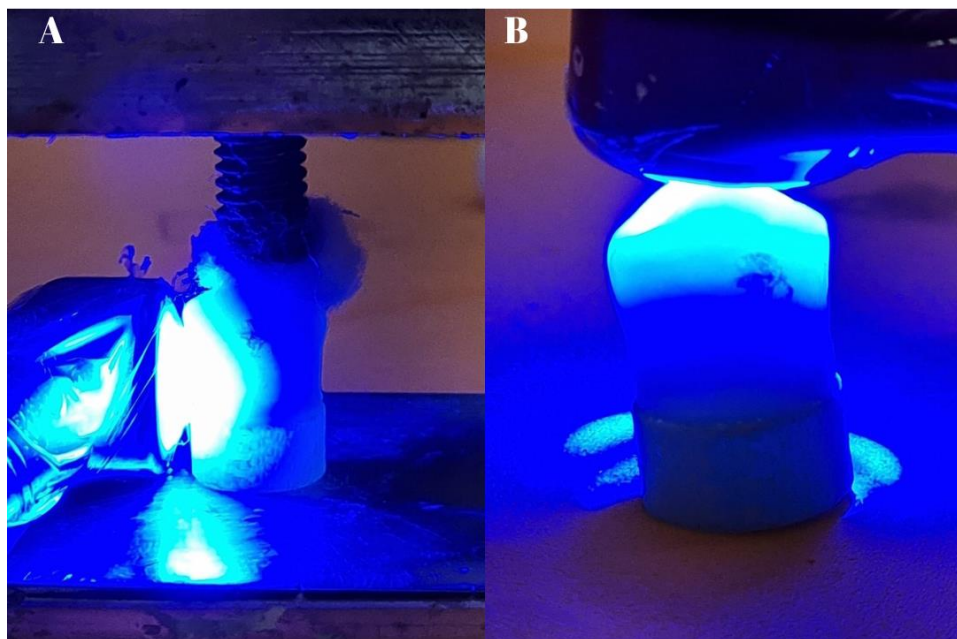


Figura 7. Fotoativação do cimento em diferentes áreas das coroas.

Após cimentação, os corpos de prova foram armazenados em água a 37°C entre 24 horas e 72 horas até o teste.

4.6. TESTE DE COMPRESSÃO MONOTÔNICA

Para o teste de compressão foi utilizado um pistão esférico de aço inoxidável, ajustado à superfície oclusal da coroa em três pontos (vertentes triturantes vestibular, palatina e crista marginal) com interposição de matriz de poliéster. A carga compressiva gradual (0,5 mm/min) foi aplicada em máquina de teste universal (DL 2000; EMIC) até a fratura. Os CPs permaneceram imersos em água destilada a 37°C durante o teste. A carga máxima de fratura foi registrada em Newtons (N) (Figura 8).



Figura 8. Posicionamento dos CP em máquina de ensaios universal durante o teste de compressão.

4.7. ANÁLISE DE FALHA EM MICROSCÓPIO DE LUZ E MEV

As superfícies de fratura foram analisadas seguindo os princípios fractográficos e usando um microscópio de luz (ZTX ZOM; Instrumentos ópticos Ningbo Wason) (ampliação original, 80×). A fratura foi classificada em lascamento (fratura da cerâmica sem exposição da infra-estrutura ou troquel), delaminação (fratura da cerâmica de cobertura com exposição da infra-estrutura, mas não do troquel) e catastrófica (fratura da coroa com exposição do troquel). Espécimes representantes de cada modo de falha

foram examinados em microscopia eletrônica de varredura para observar a localização da origem da falha.

4.8. ANÁLISE ESTATÍSTICA

Os dados obtidos foram analisados pelo teste de normalidade Shapiro-Wilk e teste de variâncias iguais, com significância de 5%. A carga de fratura foi analisada estatisticamente por ANOVA e Tukey com significância de 5% (SigmaPlot v12; Systat Software). O módulo de Weibull (m) e resistência característica (L_0) foram calculados e comparados com base nos intervalos de confiança (Weibull ++).

5. RESULTADOS

A irradiação com laser não alterou os valores de carga de fratura das restaurações de zircônia independente do número de camadas ($P = 0,183$). Contudo, as coroas de zircônia monolíticas mostraram maior carga de fratura do que as bicamadas ($P = <0,001$). Não houve interação entre os fatores irradiação com laser e número de camadas ($P = 0,150$).

Os resultados L_0 e módulo de Weibull estão descritos na Tabela 4 e apresentados na Figura 9. O módulo Weibull (m)

foi estatisticamente semelhante para todos os grupos. A L_0 das restaurações BiCtrl foi significativamente inferior às monolíticas e das BiLaser foi semelhante.

Tabela 4. Carga de fratura característica (L_0) e módulo de Weibull (m), com os respectivos intervalos de confiança de 95% (95% CI) para os grupos experimentais.

Grupos	L_0^*	$L_0 - 95\% \text{ CI}$	m^*	$m - 95\% \text{ CI}$
MonoCtrl	2624,2 A	2249,9; 3034,4	3,8 A	2,5; 5,2
MonoLaser	2563,8 A	2293,7; 2848,3	5,3 A	3,3; 7,5
BiCtrl	1645,6 B	1409,8; 1903,5	3,8 A	2,5; 5,3
BiLaser	2212,1 AB	1743,8; 2767,5	2,5 A	1,6; 3,4

*Valores seguidos por letras iguais na mesma coluna são estatisticamente semelhantes.

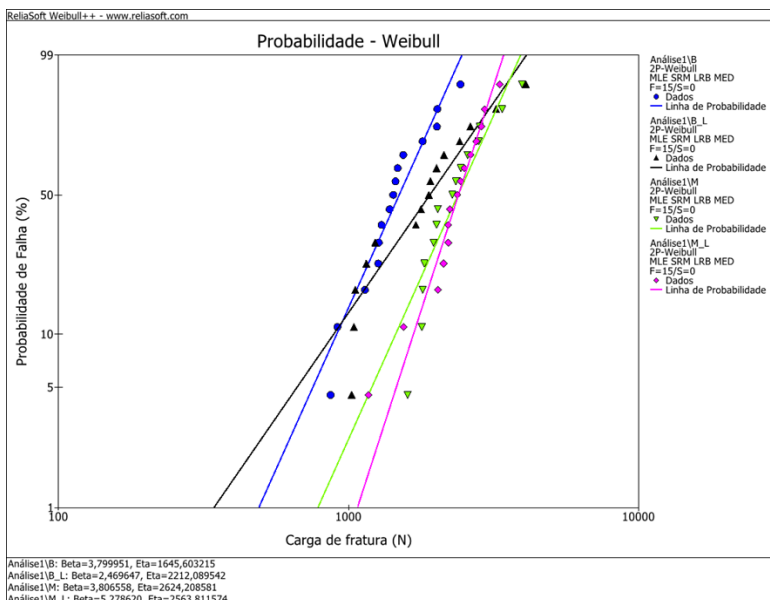


Figura 9. Distribuição Weibull para os grupos experimentais.

Resultados da análise do modo de falha estão apresentados na Tabela 6. Imagens representativas dos modos de falha foram obtidas em MEV (Figura 10). A origem das fraturas está predominantemente localizada na face oclusal, próxima à área de contato com o pistão (Figura 11A). Nas amostras bicamadas, a falha ocorreu tanto na face oclusal na inserção da força pelo pistão, como também, em algumas amostras, na interface entre a zircônia e a feldspática de cobertura (Figura 11 B).

Tabela 5. Número de corpos de prova relacionados aos modos de falha apresentados pelos grupos experimentais.

Grupos	Lascamento	Delaminação	Catastrófica
MonoCtrl	1	-	14
MonoLaser	3	-	12
BiCtrl	6	8	1
BiLaser	4	8	3

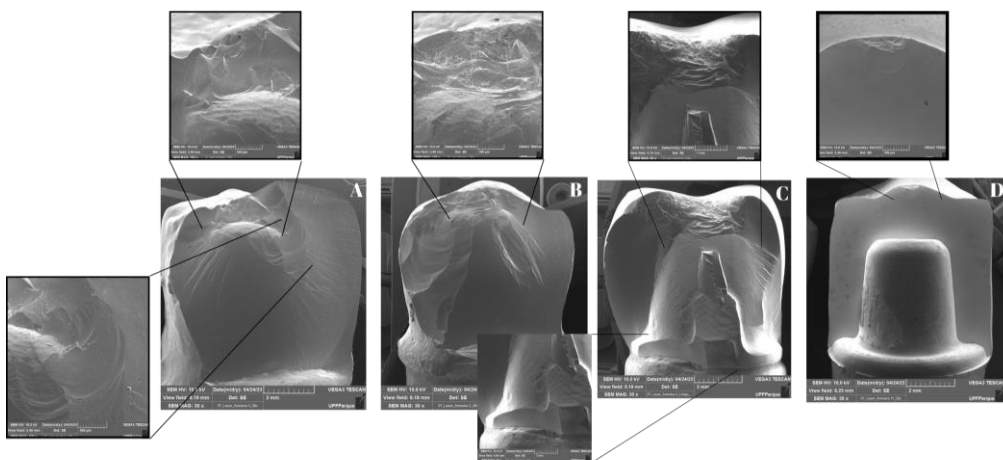


Figura 10. Imagens representativas dos modos de falha foram obtidas em MEV. A - Delaminação coroa bicamada. B - Lascamento coroa bicamada. C - Catastrófica coroa bicamada. D - Carastrófica coroa monolítica.

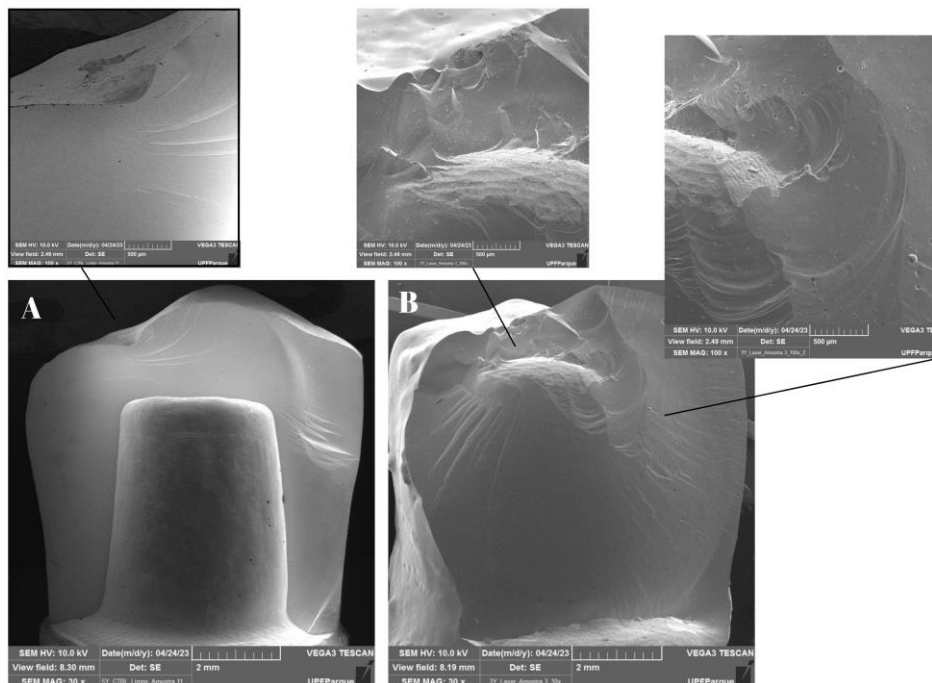


Figura 11. A - origem da fratura localizada na face oclusal, próxima à área de contato com o pistão. B - falha tanto na face oclusal na inserção da força pelo pistão, como também, na interface entre a zircônia e a feldspática de cobertura.

6. DISCUSSÃO

A irradiação com laser está sendo estudada como uma alternativa para modificar a superfícies de cimentação com o intuito de aumentar a energia de superfície e promover adesão ao cimento resinoso (Garcia-Sanz, Paredes-Gallardo et al. 2018), mas sem induzir microfissuras e falhas

indesejadas nas zircônias (Tzanakakis, Beketova et al. 2021).

Existem diferentes lasers citados na literatura, com configurações e especificações diferentes (Garcia-Sanz, Paredes-Gallardo et al. 2018). Neste estudo, utilizou-se o laser Er:YAG, o qual, possui um comprimento de onda de 2780 nanômetro, e foi utilizado seguindo um protocolo de energia de pulso de 200mJ, 15 Hz, aplicada por 30 segundos a uma distância de 2 mm, com ângulos de incidência de 45° (paredes axiais) e 90° (parede oclusal).

A primeira hipótese do estudo foi confirmada, pois a irradiação com laser não influenciou a carga de fratura das restaurações monolíticas ou bicamadas. Portanto, a irradiação com laser Er:YAG nas configurações do presente estudo, não foi capaz de gerar defeito crítico na superfície de cimentação a ponto de ser iniciador de fratura, resultando em diminuição da capacidade de resistir às cargas. Esses resultados corroboram com os encontrados no trabalho de Cavalcanti, Pilecki et al. (2009), Turp, Akgungor et al. (2014) e Lin, Song et al. (2013). Cavalcanti, Pilecki et al. (2009), utilizando o Er:YAG em zircônias Y-TZP (1ª e 2ª geração), verificaram que em configurações mais altas (600

mJ), houve fusão das camadas superficiais, perda significativa de massa e trincas profundas, enquanto em configurações baixas (200 ou 400 mJ) a rugosidade foi semelhante ao do jateamento. Turp, Akgungor et al. (2014) acreditam que o condicionamento a laser Er:YAG pode ser uma alternativa à ao jateamento com alumina para zircônias. No entanto, altos níveis de energia de pulso e comprimento de pulso mais longo podem ter um efeito adverso, podendo causar defeitos no material (Lin, Song et al. 2013). Neste trabalho, o protocolo selecionado não gerou defeitos críticos para resistência das coroas.

Os resultados desse trabalho complementam os achados de Tzanakakis, Beketova et al. (2021), que avaliaram a eficácia de tratamentos de superfície na resistência ao cisalhamento de zircônia de alta translucidez a cimento resinoso, com a justificativa de que os protocolos de jateamento podem criar microfissuras indesejadas e falhas na superfície principalmente das zircônias translúcidas. O estudo mostrou que o tratamento com laser de femtosegundo é um método alternativo promissor para a retenção mecânica de cimentos resinosos para esse tipo de zircônia.

A hipótese de que a carga de fratura de coroas monolítica e bicamada é semelhante foi rejeitada, pois as restaurações monolíticas apresentaram maior carga de fratura. Esses achados reiteram os citados por Lameira, Buarque e Silva et al. (2015), Alessandretti, Borba et al. (2017), Hamza and Sherif (2019), Alessandretti, Ribeiro et al. (2019) Alessandretti, Borba et al. (2020), os quais, indicam que todas as coroas monolíticas testadas apresentaram resistência à fratura maior do que as coroas bicamadas.

Além da diferença estatística nos valores de carga de fratura entre os grupos monolítico e bicamada, o modo de falha também foi diferente. Grande parte das falhas das coroas monolíticas ocorreram de forma catastrófica (87%), enquanto as coroas bicamadas apresentaram falhas catastrófica (13%), chipping (33%) e delaminação (53%). Isso pode estar associado a tensões térmicas residuais induzidas pelo processo de produção, as propriedades mecânicas da cerâmica e à geometria e dimensões da restauração (Della Bona and Kelly 2008, Kolakarnprasert, Kaizer et al. 2019, Tang, Zhao et al. 2019).

7. CONCLUSÕES

O laser Er:YAG mostrou não ter influência na capacidade de restaurações monolíticas e bicamadas em resistir à fratura. Embora fabricadas com zircônia ultra-translúcida, de menor tenacidade, as coroas monolíticas apresentaram maior resistência a carga de fratura quando comparadas as restaurações bicamadas.

REFERÊNCIAS

AKIN, H., Z. OZKURT, O. KIRMALI, E. KAZAZOGLU AND A. K. OZDEMIR. Shear bond strength of resin cement to zirconia ceramic after aluminum oxide sandblasting and various laser treatments. *Photomed Laser Surg*, v.29, n.12, p. 797-802, 2011.

AL-HARBI, F. A., N. M. AYAD, Z. A. KHAN, A. A. MAHROUS AND S. M. MORGANO. In vitro shear bond strength of Y-TZP ceramics to different core materials with the use of three primer/resin cement systems. *Journal of Prosthetic Dentistry*, v.115, n.1, p. 84-89, 2016.

AL-HARBI, F. A., N. M. AYAD, Z. A. KHAN, A. A. MAHROUS AND S. M. MORGANO. In vitro shear bond strength of Y-TZP ceramics to different core materials with the use of three primer/resin cement systems. *J Prosthet Dent*. v.115, n.1, p. 84-89, 2016.

ALESSANDRETTI, R., M. BORBA, P. BENETTI, P. H. CORAZZA, R. RIBEIRO AND A. DELLA BONA. Reliability and mode of failure of bonded monolithic and multilayer ceramics. *Dent Mater*, v.33, n.2, p. 191-197, 2017.

ALESSANDRETTI, R., M. BORBA AND A. DELLA BONA. Cyclic contact fatigue resistance of ceramics for monolithic and multilayer dental restorations. *Dent Mater*, v. 36,(4): 535-541.

ALESSANDRETTI, R., R. RIBEIRO, M. BORBA AND A. D. BONA . Fracture Load and Failure Mode of CAD-on

Ceramic Structures. *Braz Dent J.* v.30, n.4, p. 380-384, 2019.

AMARAL, M., P. F. CESAR, M. A. BOTTINO, U. LOHBAUER AND L. F. VALANDRO. Fatigue behavior of Y-TZP ceramic after surface treatments. *J Mech Behav Biomed Mater*, v.57, p.149-156, 2016.

ATSU, S. S., M. A. KILICARSLAN, H. C. KUCUKESMEN AND P. S. AKA. Effect of zirconium-oxide ceramic surface treatments on the bond strength to adhesive resin. *J Prosthet Dent*, v.95, n.6, p. 430-436, 2006.

AUNG, S., T. TAKAGAKI, S. K. LYANN, M. IKEDA, M. INOKOSHI, A. SADR, T. NIKAIDO AND J. TAGAMI. Effects of alumina-blasting pressure on the bonding to super/ultra-translucent zirconia. *Dent Mater*, v.35, n.5, p. 730-739.

BASSO, D. G. Efeito do jateamento e camada de cimento na resistência à fratura de zircônias com diferentes microestruturas. *Faculdade de Odontologia*. Orientadora: BENETTI, Paula. Universidade de Passo Fundo, p. 115, 2021.

CAVALCANTI, A. N., P. PILECKI, R. M. FOXTON, T. F. WATSON, M. T. OLIVEIRA, M. GIANINNI AND G. M. MARCHI. Evaluation of the surface roughness and morphologic features of Y-TZP ceramics after different surface treatments. *Photomed Laser Surg*, v.27, n.3, p.473-479, 2009.

CHATTERJEE, N. AND A. GHOSH. Current scenario on adhesion to zirconia; surface pretreatments and resin cements: A systematic review. *J Indian Prosthodont Soc*, v.22, n.1, p.13-20, 2022.

COMINO-GARAYOA, R., J. PELAEZ, C. TOBAR, V. RODRIGUEZ AND M. J. SUAREZ. Adhesion to Zirconia: A Systematic Review of Surface Pretreatments and Resin Cements. *Materials (Basel)* v.14, n.11, 2021.

CURA, C., M. OZCAN, G. ISIK AND A. SARACOGLU. Comparison of alternative adhesive cementation concepts for zirconia ceramic: glaze layer vs zirconia primer. *J Adhes Dent.* v.14, n.1, p. 75-82, 2012.

CURTIS, A. R., A. J. WRIGHT AND G. J. FLEMING. The influence of surface modification techniques on the performance of a Y-TZP dental ceramic. *J Dent.* v.34, n.3, p. 195-206, 2006.

DELLA BONA, A. *Adesão Às Cerâmicas: evidências científicas para o uso clínico*. São Paulo: Artes Médicas, 2009.

DELLA BONA, A. AND J. R. KELLY (2008). "The clinical success of all-ceramic restorations." *J Am Dent Assoc.* v.139 p.8S-13S, 2008.

DEMIR, N., M. G. SUBASI AND A. N. OZTURK . Surface roughness and morphologic changes of zirconia following different surface treatments. *Photomed Laser Surg.* v.30, n.6, p. 339-345, 2012.

ELSAYED, A., G. MEYER, S. WILLE AND M. KERN. Influence of the yttrium content on the fracture strength of monolithic zirconia crowns after artificial aging. *Quintessence Int,* v.50, n.5, p. 344-348, 2019.

GARCIA-SANZ, V., V. PAREDES-GALLARDO, O. MENDOZA-YERO, M. CARBONELL-LEAL, A. ALBALADEJO, J. M. MONTIEL-COMPANY AND C. BELLOT-ARCIS. The effects of lasers on bond strength to

ceramic materials: A systematic review and meta-analysis. *PLoS One*, v.13, n.1, 2018.

GUTH, J. F., B. STAWARCZYK, D. EDELHOFF AND A. LIEBERMANN. Zirconia and its novel compositions: What do clinicians need to know?, *Quintessence Int*, v.50, n.7, p.512-520, 2019.

Hamza, T. A. and R. M. Sherif (2019). "Fracture Resistance of Monolithic Glass-Ceramics Versus Bilayered Zirconia-Based Restorations." *J Prosthodont* **28**(1): e259-e264.

INOKOSHI, M., J. DE MUNCK, S. MINAKUCHI AND B. VAN MEERBEEK. Meta-analysis of bonding effectiveness to zirconia ceramics. *J Dent Res*. v.93, n. 4, p. 329-334, 2014.

INOKOSHI, M., A. KAMEYAMA, J. DE MUNCK, S. MINAKUCHI AND B. VAN MEERBEEK. Durable bonding to mechanically and/or chemically pre-treated dental zirconia. *J Dent*, v.41, n.2, p. 170-179, 2013.

JAUREGUI-ULLOA, J. AND S. S. MAROCHO. Bonding and Debonding of Zirconia Using Laser Approaches. *Int J Prosthodont*, v.35, n.4, p.530-544, 2022.

KARA, O., H. B. KARA, E. S. TOBI, A. N. OZTURK AND H. S. KILIC. Effect of various lasers on the bond strength of two zirconia ceramics. *Photomed Laser Surg*, v.33, n.2, p. 69-76, 2015.

KIM, H. K. AND B. AHN. Effect of Al₂O₃ Sandblasting Particle Size on the Surface Topography and Residual Compressive Stresses of Three Different Dental Zirconia Grades. *Materials (Basel)* v.14, n.3, 2021.

KIM, H. K., K. W. YOO, S. J. KIM AND C. H. JUNG. Phase Transformations and Subsurface Changes in Three

- Dental Zirconia Grades after Sandblasting with Various Al₂O₃ Particle Sizes. *Materials (Basel)*, v.14, n.18, 2021.
- KOLAKARNPRASERT, N., M. R. KAIZER, D. K. KIM AND Y. ZHANG. New multi-layered zirconias: Composition, microstructure and translucency. *Dent Mater* v.35, n.5, p.797-806, 2019.
- KONTONASAKI, E., P. GIASIMAKOPOULOS AND A. E. RIGOS. Strength and aging resistance of monolithic zirconia: an update to current knowledge. *Jpn Dent Sci Rev.* v.56, n.1, p. 1-23, 2020.
- KONTONASAKI, E., A. E. RIGOS, C. ILIA AND T. INSTANTSOS. Monolithic Zirconia: An Update to Current Knowledge. Optical Properties, Wear, and Clinical Performance. *Dent J (Basel)* v.7, n.3, 2019.
- KWON, S. J., N. C. LAWSON, E. E. MCLAREN, A. H. NEJAT AND J. O. BURGESS. Comparison of the mechanical properties of translucent zirconia and lithium disilicate. *J Prosthet Dent*, v.120, n.1, p. 132-137, 2018.
- LAMEIRA, D. P., W. A. BUARQUE E SILVA, F. ANDRADE E SILVA AND G. M. DE SOUZA, Fracture Strength of Aged Monolithic and Bilayer Zirconia-Based Crowns. *Biomed Res Int*, **2015**.
- LE, M., C. LARSSON AND E. PAPIA. Bond strength between MDP-based cement and translucent zirconia. *Dent Mater J*, v.38, n.3, p.480-489, 2019.
- LIN, Y., X. SONG, Y. CHEN, Q. ZHU AND W. ZHANG; Effect of Er:YAG laser irradiation on bonding property of zirconia ceramics to resin cement. *Photomed Laser Surg* v.31, n.12, p. 619-625, 2013.

- MCLAREN, E. A., A. MAHARISHI AND S. N. WHITE. Influence of yttria content and surface treatment on the strength of translucent zirconia materials. *J Prosthet Dent*, 2021.
- MORETTO, S. G., P. M. DE FREITAS, H. E. C. INCA, P. F. CESAR, M. S. BELLO-SILVA AND C. DE PAULA EDUARDO. Influence of Er:YAG laser surface treatment on flexural and bond strengths to glass-infiltrated zirconia-reinforced ceramic. *Lasers Med Sci*, v.36, n.7, p. 1487-1495, 2021.
- MOSELE, J. C. AND M. BORBA. Efeito do jateamento de partículas na resistência de união e comportamento mecânico de cerâmicas à base de zircônia - Revisão. *Cerâmica*, v.60, p. 179 - 186, 2014.
- MOSELE, J. C., A. R. OLIVEIRA, G. PIZZOLATTO, P. BENETTI AND M. BORBA. Failure behavior of zirconia crowns subjected to air abrasion with different particle sizes. *Braz Dent J*. v.34, n.1, p. 71-79, 2023.
- NAKAYAMA, D., H. KOIZUMI, F. KOMINE, M. B. BLATZ, N. TANOUE AND H. MATSUMURA. Adhesive bonding of zirconia with single-liquid acidic primers and a tri-n-butylborane initiated acrylic resin. *J Adhes Dent*. v.12, n.4, p. 305-310, 2010.
- OTTONI, R. AND M. BORBA. Comportamento mecânico e clínico de próteses monolíticas à base de zircônia: revisão de literatura. *Cerâmica*. v.64, n.372, p. 547-552, 2018.
- OZCAN, M. AND M. BERNASCONI. Adhesion to zirconia used for dental restorations: a systematic review and meta-analysis. *J Adhes Dent*. v. 17, n.1, p. 7-26, 2015.

OZCAN, M. AND P. K. VALLITTU, Effect of surface conditioning methods on the bond strength of luting cement to ceramics. *Dent Mater*, v.19, n.8, p.725-731. 2003.

PAPIA, E., C. LARSSON, M. DU TOIT AND P. VULT VON STEYERN. Bonding between oxide ceramics and adhesive cement systems: a systematic review. *J Biomed Mater Res B Appl Biomater*. v.102, n.2, p. 395-413, 2014.

RUALES-CARRERA, E., P. F. CESAR, B. HENRIQUES, M. C. FREDEL, M. OZCAN AND C. A. M. VOLPATO. Adhesion behavior of conventional and high-translucent zirconia: Effect of surface conditioning methods and aging using an experimental methodology. *J Esthet Restor Dent* v. 31, n.4, p.388-397, 2019.

SEN, N. AND S. ISLER; Microstructural, physical, and optical characterization of high-translucency zirconia ceramics. *J Prosthet Dent*, v.123, n.5, p. 761-768, 2020.

SHAHMIRI, R., O. C. STANDARD, J. N. HART AND C. C. SORRELL; Optical properties of zirconia ceramics for esthetic dental restorations: A systematic review. *Journal of Prosthetic Dentistry*, v.119, n.1, p. 36-46, 2018.

SOUZA-FILHO, C. B., I. C. M. MORIS, V. COLUCCI, A. C. L. FARIA AND E. A. GOMES. Is the Er:YAG laser affect the surface characteristics and bond strength of Y-TZP?. *Braz Dent J*. v.32, n.6, p. 83-92, 2021.

STAWARCZYK, B., C. KEUL, M. EICHBERGER, D. FIGGE, D. EDELHOFF AND N. LUMKEMANN. Three generations of zirconia: From veneered to monolithic. Part I. *Quintessence Int*. v.48, n.5, p. 369-380, 2017.

SUBASI, M. G. AND O. INAN. Evaluation of the topographical surface changes and roughness of zirconia

after different surface treatments. *Lasers Med Sci*, v.27, n.4, p. 735-742, 2012.

TANG, Z. Y., X. Y. ZHAO, H. WANG AND B. LIU. Clinical evaluation of monolithic zirconia crowns for posterior teeth restorations. *Medicine*, v.98, n.40, 2019.

THAMMAJARUK, P., M. INOKOSHI, S. CHONG AND M. GUAZZATO. Bonding of composite cements to zirconia: A systematic review and meta-analysis of in vitro studies. *J Mech Behav Biomed Mater*. v. 80, p. 258-268, 2018.

TONG, H., C. B. TANAKA, M. R. KAIZER AND Y. ZHANG. Characterization of three commercial Y-TZP ceramics produced for their high-translucency, high-strength and high-surface area. *Ceram Int*. v.42, p. 1077-1085, 2016.

TSUO, Y., K. YOSHIDA AND M. ATSUTA. Effects of alumina-blasting and adhesive primers on bonding between resin luting agent and zirconia ceramics. *Dent Mater J*, v. 25, n.4, p. 669-674, 2006.

TURP, V., G. AKGUNGOR, D. SEN AND B. TUNCELLI . Evaluation of surface topography of zirconia ceramic after Er:YAG laser etching. *Photomed Laser Surg*, v.32, n.10, p.533-539, 2014.

TZANAKAKIS, E. C., E. SKOULAS, E. PEPELASSI, P. KOIDIS AND I. G. TZOUTZAS. The Use of Lasers in Dental Materials: A Review. *Materials (Basel)*, v.14, n. 12, 2021.

TZANAKAKIS, E. G., I. G. TZOUTZAS AND P. T. KOIDIS. Is there a potential for durable adhesion to zirconia restorations? A systematic review. *J Prosthet Dent*, v.115, n. 1, p. 9-19, 2016.

- TZANAKAKIS, E. G. C., A. BEKETOVA, L. PAPADOPOULOU, E. KONTONASAKI AND I. G. TZOUTZAS. Novel Femto Laser Patterning of High Translucent Zirconia as an Alternative to Conventional Particle Abrasion. *Dentistry Journal*, v. 9, n.2, 2021.
- YANG, B., A. BARLOI AND M. KERN. Influence of air-abrasion on zirconia ceramic bonding using an adhesive composite resin. *Dent Mater*, v.26, n.1, p. 44-50, 2010.
- YOSHIDA, K. Influence of alumina air-abrasion for highly translucent partially stabilized zirconia on flexural strength, surface properties, and bond strength of resin cement. *J Appl Oral Sci*. v.28, 2020.
- YOSHIDA, K., M. YAMASHITA AND M. ATSUTA. Zirconate coupling agent for bonding resin luting cement to pure zirconium. *Am J Dent*, v.17, n.4, p. 249-252, 2004.
- ZARONE, F., M. I. DI MAURO, P. AUSIELLO, G. RUGGIERO AND R. SORRENTINO. Current status on lithium disilicate and zirconia: a narrative review. *BMC Oral Health*, v.19, n.1, p.134, 2019.
- ZHANG, F., M. INOKOSHI, M. BATUK, J. HADERMANN, I. NAERT, B. VAN MEERBEEK AND J. VLEUGELS. Strength, toughness and aging stability of highly-translucent Y-TZP ceramics for dental restorations. *Dent Mater*, v. 32, n.12, p. 327-337, 2016.
- ZHANG, F., B. C. SPIES, J. VLEUGELS, H. REVERON, C. WESEMANN, W. D. MULLER, B. VAN MEERBEEK AND J. CHEVALIER. High-translucent yttria-stabilized zirconia ceramics are wear-resistant and antagonist-friendly. *Dent Mater*. v.35, n.12, p.1776-1790, 2019.

- ZHANG, Y. Making yttria-stabilized tetragonal zirconia translucent. *Dent Mater*, v. 30, n.10, p. 1195-1203, 2014.
- ZHANG, Y. AND B. R. LAWN. Novel Zirconia Materials in Dentistry. *J Dent Res*, v.97, n.2, p. 140-147, 2018.
- ZHANG, Y. AND B. R. LAWN. Evaluating dental zirconia. *Dental Materials*, v.35, n. 1, p. 15-23, 2019.
- ZHAO, P., P. YU, Y. XIONG, L. YUE, D. AROLA AND S. GAO. Does the bond strength of highly translucent zirconia show a different dependence on the airborne-particle abrasion parameters in comparison to conventional zirconia?, *J Prosthodont Res*, v.64, n.1, p. 60-70, 2020.
- ZHU, H., H. H. TAO, M. WEI, P. LIU, L. YUAN, Y. N. ZHANG, B. WANG AND J. F. CHEN. Effects of different frequencies of Er:YAG laser on the bonding properties of zirconia ceramic. *Lasers Med Sci*, v.38, n.1, p. 4, 2022.

