



**CESPU**

INSTITUTO UNIVERSITÁRIO  
DE CIÊNCIAS DA SAÚDE

**Adesão de facetas de Zircônia Y-TZP ao cimento resinoso:  
Uma revisão Sistemática Integrativa**

**Bruna Filipa Sousa Alves**

**Dissertação conducente ao Grau de Mestre em  
Medicina Dentária (Ciclo Integrado)**

**Gandra, 4 de junho de 2020**

**Bruna Filipa Sousa Alves**

**Dissertação conducente ao Grau de Mestre em  
Medicina Dentária (Ciclo Integrado)**

**Adesão de facetas de Zircônia Y-TZP ao cimento resinoso:  
Uma revisão Sistemática Integrativa**

**Trabalho realizado sob a Orientação de  
Prof. Doutor Mário Barbosa e Mestre Lígia Rocha**

## **Declaração de Integridade**

Eu, acima identificado, declaro ter atuado com absoluta integridade na elaboração deste trabalho, confirmo que em todo o trabalho conducente à sua elaboração não recorri a qualquer forma de falsificação de resultados ou à prática de plágio (ato pelo qual um indivíduo, mesmo por omissão, assume a autoria do trabalho intelectual pertencente a outrem, na sua totalidade ou em partes dele). Mais declaro que todas as frases que retirei de trabalhos anteriores pertencentes a outros autores foram referenciadas ou redigidas com novas palavras, tendo neste caso colocado a citação da fonte bibliográfica.

O Autor



## Declaração do Orientador

Eu, Mário Barbosa, com a categoria profissional de Professor Auxiliar do Instituto Universitário de Ciências da Saúde, tendo assumido o papel de Orientador da Dissertação intitulada ***Adesão de facetas de Zircônia Y-TZP ao cimento resinoso: Uma revisão Sistemática Integrativa*** da Aluna do Mestrado Integrado em Medicina Dentária, Bruna Filipa Sousa Alves, declaro que sou de parecer favorável para que a Dissertação possa ser depositada para análise do Arguente do Júri nomeado para o efeito para Admissão a provas públicas conducentes à obtenção do Grau de Mestre.

Gandra, \_\_\_\_\_ de 2020

\_\_\_\_\_  
O Orientador



## **Agradecimentos**

Esta dissertação encerra um capítulo de 5 anos bastante desafiantes que, felizmente, foram ultrapassados com êxito devido à presença de muitas pessoas que permitiram que este sonho se tornasse realidade.

Aos meus pais e familiares, um grande obrigado pela oportunidade que me deram de tirar este mestrado, que sempre ficaram orgulhosos das minhas conquistas e nunca me deixaram desistir. Não podia deixar também de agradecer à minha avó Conceição que me incluiu em todas as orações para que o futuro me reservasse o melhor. Agradeço também à minha estrelinha que esteve incondicionalmente ao meu lado em todas as horas de estudo e nunca será esquecida.

Às minhas amigas, Andreia, Joana e Linda, que sempre estiveram comigo nas alturas de avaliações e em todos os obstáculos que tivemos de ultrapassar ao longo deste trajeto, prevalecendo sempre a nossa amizade. Um especial obrigado às minhas colegas de casa que sempre ouviram as minhas preocupações e acreditaram em mim.

Não podia também deixar de mencionar a minha amiga Maria, que foi minha confidente ao longo de todo este percurso e que sempre torceu por mim.

Agradeço ainda ao meu orientador, Mário Barbosa, pela sua disponibilidade, orientação e por todas as vezes que me transmitiu serenidade na realização deste trabalho.



## **RESUMO**

Devido á elevada resistência e biocompatibilidade da zircônica, o seu uso em facetas tem sido cada vez mais ponderado. Contudo, devido á ausência de sílica na sua constituição, não pode ser condicionada com HF. No sentido de ultrapassar esta limitação foram ensaiadas várias estratégias que visam aumentar a rugosidade da superfície para alcançar retenção mecânica. A intenção foi aumentar a força de adesão com diferentes técnicas de condicionamento de superfície da zircônia ao cimento resinoso. A pesquisa bibliográfica foi realizada na base de dados MEDLINE via PubMed, com limite de 5 anos nas publicações. Os critérios de inclusão foram diferentes métodos de tratamento de superfície da zircônia, facetas de zircônia Y-TZP, adesão da zircônia ao cimento resinoso. Enquanto a abrasão cria fissuras na superfície que causam instabilidade, alguns tipos de laser conseguem alcançar a adesão sem destruição da superfície. Todos os tratamentos de superfície devem ser combinados com primer ou adesivos universais contendo MDP, e ainda cimentos com MDP, de modo a melhorar a adesão entre a zircônia e o cimento resinoso. A abrasão com partículas de  $Al_2O_3$  aumenta a rugosidade da superfície da Y-TZP, criando uma retenção micromecânica. O Laser aumenta a rugosidade da superfície, sem ocorrer transformação de fase e danos na superfície da zircônia. Independentemente de usar um primer /adesivo com MDP, cimento contendo MDP também deve ser preferível.

## **PALAVRAS-CHAVE**

Zircônia, Facetas Zircônia, Tratamento superfície, Laser, Adesão.



## **ABSTRACT**

Due to the high resistance and biocompatibility of zirconia, its use in veneers has been increasingly considered. However, due to the absence of silica in constitution, it can't be conditioned with HF. In order to overcome this limitation, several strategies were tested to increase the surface roughness to achieve mechanical retention. The objective was to evaluate the strength of adhesion with different zirconia and cement resin surface conditioning techniques. A bibliographic search was carried out in the MEDLINE database via PubMed, with a limit of 5 years in publications. A bibliographic search was carried out in the MEDLINE database via PubMed, with a limit of 5 years in publications. The inclusion criteria were different methods of surface treatment of zirconia, veneers of zirconia Y-TZP, adhesion of zirconia and cement resin. While an abrasion creates cracks on the surface that causes instability, some types of laser can achieve adhesion without destroying the surface. All surface procedures must be combined with primer or universal adhesives, including MDP, and also with MDP, in order to improve the adhesion between the zirconia and the cement resin. An abrasion with  $Al_2O_3$  particles increases the surface roughness of the Y-TZP, creating a micromechanical retention. The Laser increases the surface roughness, without phase transformation and damage to the zirconia surface. Regardless of using a primer / adhesive with MDP, cement containing MDP should also be preferred.

### **Keywords**

Zircônia, Zircônia Veneers, Surface Treatment, Laser, Adhesion.



## Índice

<b>1.Introdução.....</b>	<b>- 1 -</b>
<b>2.Objetivos.....</b>	<b>- 3 -</b>
<b>3. Materiais e métodos.....</b>	<b>- 3 -</b>
<b>4. Resultados.....</b>	<b>- 4 -</b>
<b>5.Discussão.....</b>	<b>- 15 -</b>
<b>6.Conclusão.....</b>	<b>- 29 -</b>
<b>Referências Bibliográficas.....</b>	<b>- 30 -</b>

## **Índice de abreviaturas**

Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> - Óxido de Alumínio

DRX- X-ray diffraction

Laser Nd: YVO<sub>4</sub> - Neodymium-doped yttrium orthovanadate laser

Laser Yb:YAG - Ytterbium - Doped : Yttrium Aluminium Garnet laser

Laser Nd: YAG - Neodymium-doped yttrium aluminium garnet laser

Laser Co<sub>2</sub> - Laser de dióxido de carbono

Laser Er, Cr: YSGG - Erbium, chromium-doped yttrium, scandium, gallium and garnet laser

LTD- Low Temperature Degradation

MDP- 10- Methacryloyloxydecyl Dihydrogenphosphate

SEM- Scanning Electron Microscopy

Y-TZP- Yttria-stabilized Tetragonal Zirconia Polycrystals



## 1.Introdução

Nas últimas décadas, os avanços em medicina dentária permitiram a criação de alternativas viáveis às próteses metal-cerâmica que apesar de elevada resistência estrutural, sendo o metal opaco, não conseguem imitar a translucidez do dente natural.(1) Assim, na tentativa de promover uma melhor distribuição da reflexão da luz surgiram os sistemas *metal-free*, alcançando resultados estéticos mais satisfatórios.(2)

O desenvolvimento estrutural das cerâmicas aconteceu quando foram incluídas na sua composição cerâmicas com percentagens de fase cristalina mais elevadas que incrementou a resistência e a capacidade de reabilitações extensas sem suporte. Das cerâmicas cristalinas mais utilizadas, os dois materiais com maior utilização são a alumina e a zircônia.

A zircônia é biocompatível com os tecidos dentários, permite a integração dos tecidos gengivais de forma natural, não induz reações de hipersensibilidade e não altera o paladar. Apresenta-se sólida, com ponto de fusão de 2.715 °C, ponto de ebulição 4.377 °C, sendo o 18º elemento mais abundante presente na crosta terrestre. Em estado puro existe de duas formas: Cristalina- metal branco e dúctil; Amorfa-pó negro-azulado. Possui aparência branco-acinzentada, dureza Mohs-5; resistência à flexão 1.200 MPa. (3,4)

A zircônia existe também sobre três formas polimórficas: monoclinica, tetragonal e cúbica. A transformação termomecânica induzida da fase tetragonal para a fase monoclinica explica o sucesso obtido desse material na Engenharia e na Medicina. Essa transformação gera um aumento de volume na ordem de 4%, gerando tensões compressivas superficiais impedindo a propagação de trincas como uma resistência adicional, mecanismo conhecido como tenacificação. Tal propriedade explica a alta resistência à fratura da zircônia, podendo ser empregada em próteses fixas posteriores e *abutments* para próteses sobre implants.(5)

Em medicina dentária, a zircônia deve ser, simultaneamente, estável à temperatura ambiente e apresentar-se na fase tetragonal. No entanto, isto só é possível se a zircônia for estabilizada com outros óxidos. Assim, surgiu a zircônia tetragonal parcialmente estabilizados por ítrio (Y-TZP), usada para a fabricação de estruturas de coroas e próteses fixas, devido à sua alta tenacidade à fratura, alta resistência à flexão e excelente biocompatibilidade. (6)

Contudo, quando se fala em reabilitar o setor anterior com facetas a zircônia, este material não tem considerado como uma opção pela fraca retenção mecânica a principal aos cimentos resinosos, uma vez que a zircônia policristalina é quimicamente inerte e não pode ser condicionada com ácido fluorídrico.(7) No sentido de ultrapassar esta limitação foram ensaiadas várias estratégias que visam aumentar a rugosidade da superfície para alcançar retenção mecânica. Assim, optou-se por métodos mecânicos, como abrasão de ar com  $Al_2O_3$  e irradiação com laser, agentes de adesão química como MDP e silano, e revestimento de sílica como SIE e pulverização catódica. Desta forma, aumenta a área de adesão, assim como a retenção mecânica causada pela penetração do cimento resinoso nas microrretenções.

Outro inconveniente na utilização deste material em facetas foi a sua diminuída translucidez. Os fabricantes na tentativa de melhorar as características óticas da zirconia, desenvolveram uma segunda geração de zircônia (3Y-TZP) em que o número e tamanho dos grãos de óxido de alumínio foram reduzidos, tornando-a mais translúcida. Apesar desta evolução, a zircônia ainda apresentava índices de translucidez menores que as vitrocerâmicas. Insatisfeitos, criaram uma terceira geração de zircônia (5Y-TZP), que tem uma percentagem de fase cúbica superior (53%), e como estes cristais têm mais volume que os tetragonais, a luz espalha-se menos entre os grãos e o material torna-se mais translúcido. Esta terceira geração apresenta menor resistência que as gerações anteriores, mas ainda assim, uma resistência mais elevada que os outros materiais cerâmicos. (3)

## **2. Objetivos**

Esta revisão sistemática integrativa tem como objetivo avaliar diferentes técnicas de condicionamento de superfície da zircônia na força de adesão ao cimento resinoso. A hipótese nula foi que a irradiação com laser seria o método mais eficaz para aumentar a resistência ao cisalhamento da zircônia.

## **3. Materiais e métodos**

Esta revisão sistemática integrativa foi baseada nos itens de relatório preferencial para revisões sistemáticas e Meta-análise (Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses-PRISMA).

A população, problema, intervenção, comparação/controle e outcome (PICO) foi usado para desenvolver uma estratégia de pesquisa. A população estudada (P) é representada por zircônia T-ZP. A Intervenção(I) foi caracterizada por metodologias de tratamento de superfície que visam criar rugosidade na superfície da zircônia e estabelecer ligações químicas, como por exemplo o laser. Apenas foram selecionados os estudos que testam os diferentes tratamentos de superfície no contexto de adesão (C). O *outcome* (O) de interesse foi a resistência ao cisalhamento entre zircônia e cimento resinoso.

A pesquisa bibliográfica foi realizada na base de dados MEDLINE via PubMed (US National Library of Medicine National Institutes of Health), identificando os artigos mais relevantes em 23 dezembro a 27 dezembro de 2019, com limite de 5 anos nas publicações. As palavras chave usadas foram: ((zircônica veneers) AND adhesion) ;( (Zirconia)AND Zircônia Veneers); ((Zircônia) AND surface treatment); ((Laser) AND zircônia).

#### 4. Resultados

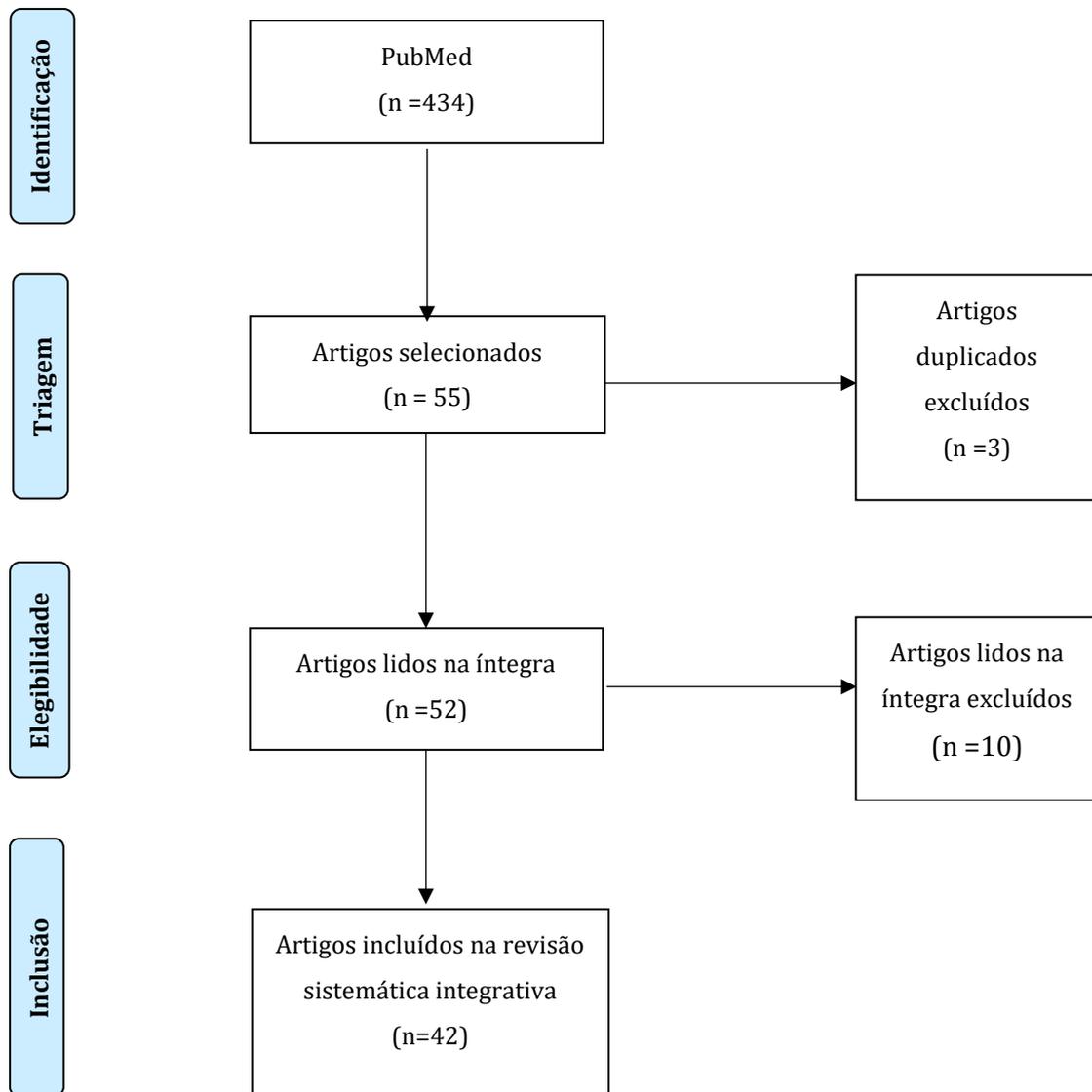


Figura 1. Seleção do estudo de acordo com a lista de verificação do PRISMA. PRISMA, *Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses*.

A *figura 1* resume a seleção de artigos. Primeiramente, os títulos e os abstratos dos 434 artigos foram analisados e, 55 artigos foram selecionados para ler na íntegra, de acordo com os seguintes critérios de inclusão: diferentes métodos de tratamento de superfície da zircônia, facetas de zircônia Y-TZP, adesão da zircônia ao cimento resinoso. Os artigos que se referiam ao tratamento de superfície da zircônia para

adesão ao revestimento cerâmico, próteses dentárias fixas em zircônia, restaurações em zircônia ou implantes em zircônia foram excluídos. Além disso, foram excluídos também 3 artigos que se encontravam duplicados.

Os 52 artigos restantes foram selecionados para análise do texto completo, dos quais 10 artigos foram excluídos por não se enquadrarem nos critérios de inclusão. Assim, 42 estudos preencheram todos os critérios de elegibilidade e foram incluídos nesta revisão sistemática integrativa.

Os 42 estudos apresentaram um risco incerto de viés. Os riscos mais comuns de viés foram a falta de padronização dos tratamentos de superfície e a análise por um único operador.

Os resultados dos artigos selecionados encontram-se sistematizados na *Tabela 1*, sendo os principais resultados os seguintes:

- Tratamentos combinados são mais eficazes para aumentar a rugosidade. Abrasão combinado com laser levou a valores mais altos de resistência ao cisalhamento na zircônia comparativamente a grupos não combinados.(8)
- Condicionamento com HF deve ser evitado a fim de não comprometer a adesão, porque não causa alterações morfológicas na estrutura ou rugosidade.(1,9)
- O laser aumenta a rugosidade, molhabilidade e força de adesão aos monómeros de fosfato do cimento resinoso, sendo uma boa alternativa á adesão de zircônia.(10) Imagens SEM revelam aumento da rugosidade, sem padrões de fissuras ou transformação de fase cristalina com laser, não sendo destrutivo.(11) Em relação ao ângulo de incidência do feixe, á medida que o angulo diminui de 90° para 45°, a profundidade de ablação diminui, o orifício produzido aumenta e o valor de SBS aumenta. (12)
- Comparando a adesão de grupos laser Nd: YAG e laser CO<sub>2</sub>, o laser Nd: YAG foi superior, mas a diferença não é estaticamente relevante. Por outro lado, nas imagens SEM o laser Nd: YAG causou bolhas na superfície, sem destruição, e o laser CO<sub>2</sub> microfissuras. (13)
- Um primer com MDP deve ser associado a um pré-tratamento, porque produzindo ligações hidrotermicamente estáveis garante uma melhor

resistência de adesão, independentemente de o cimento também conter MDP. (4,13–15) Contudo, há estudos em que valores de adesão com primer não foram estatisticamente diferentes dos grupos sem primer.(16)

- O uso de primers produziram filmes fortemente adsorvidos em Y-TZP, com evidências de formação de sais de carboxilato e fosfato. Embora uma condição de ligação seja estabelecida entre esses primers e as superfícies Y-TZP, a sensibilidade hidrolítica dos sais de carboxilato formados pode afetar a estabilidade da interface. (17)
- Adesivos universais contendo MDP e cimentos autoadesivos apresentam melhor SBS, mesmo após envelhecimento. Foi detectado fosforo em ambos os grupos de cimento com MDP após 24 h, e no primer MDP após 1-2 semanas.(18)
- Para 3 tipos de cerâmica de zircônia, não houve diferenças significativas entre grupo adesivo universal (SBU) e grupo revestimento de sílica+ SBU, revelando que a aplicação de primer não aumentou a resistência de adesão da silicatização.(6)
- O Método sol-gel aumentou resistência adesão imediata ao cimento e a longo prazo, após  $6 \times 10^3$  ciclos térmicos. A resistência de adesão só aumentou significativamente após adicionando condicionamento com HF e uso de primer.(16)
- Aplicação de plasma não térmico para tratamento de superfície da zircônia não mostrou diferença significativamente na resistência de união comparada à abrasão com partículas de alumina, não alterando a rugosidade da superfície e tendo ângulos de contato reduzidos.(19,20) Bombardeio com ião de argônio ou plasma gasoso não tem muito efeito na transformação de fase, rugosidade ou topografia da superfície. (7)
- Infiltração seletiva por vidro (SIE) pretende criar intertravamento nano mecânico. (1,4) Alguns autores defendem que o SIE alcança o seu objetivo ao aumentar a área disponível para adesão(1,4), mas outros concluem que o método não aumenta a rugosidade da superfície, uma vez que as imagens SEM mostram superfície similar á de grupos controle sem tratamento.(21)

- A abrasão com partículas de 50 µm de Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> provocou um maior aumento da resistência de união da superfície(22), comparativamente ao revestimento triboquímico de sílica, mas num outro estudo este último apresenta uma rugosidade de superfície mais uniforme e mais estabilidade a longo prazo.(3,23) No entanto, num estudo comparando a rugosidade criada por jateamento com partículas de 110 µm e 50 µm , Laser e SIE, o grupo jateado com 50µm não aumentou a rugosidade. (4)
- O método de abrasão pode ser mais eficaz quando realizado com partículas de pó de cerâmica feldspática (24)ou mesmo de partículas de zircônia, em vez de Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>.(19,20)
- Independente do tipo e do diâmetro das partículas, o jateamento produziu transformação  $t \rightarrow m$ , aumentou a rugosidade e alterou a composição elementar das cerâmicas avaliadas.(5) Mas, apesar de criarem retenção mecânica, tanto o jateamento como o revestimento triboquímico de sílica não criam uma ligação suficientemente eficiente. (23,25)
- Amostras tratados com EDM apresentam mais resistência ao cisalhamento que nos grupos tratados com laser, revestimento triboquímico de sílica e abrasão. Os estudos são escassos.(26)
- Num *Case Report*, facetas ultrafinas de zirconia foram tratadas com revestimento triboquímico de sílica associado á aplicação de silano e sistema adesivo, e ao fim de 1 ano ainda apresentavam adesão eficaz.(27)

Tabela1.Síntese dos principais resultados de todos os artigos seleccionados.

Artigo	Técnicas testadas	Resultados
Abu Ruja <i>et al.</i> ,2019	Comparação de diferentes tratamentos de superfície na adesão da zircônia (jateamento de óxido de alumínio (ALB), revestimento triboquímico de sílica (SIL), Laser Nd: YVO4 com padrão de pontos com pulsos múltiplos (LSD); ou Laser Nd: YVO4 com padrão de linhas, apenas um pulso (LSL). As amostras de Y-TZP foram ainda tratadas com adesivo contendo silano e adesivo contendo MDP e cimentadas com cimento resinoso (Rely X Ultimate).	Imagens SEM revelam aumento da rugosidade, sem padrões de fissuras ou transformação de fase cristalina com laser, apresentando valores mais altos de resistência de união. LSD forneceu maior resistência de união. Tratamentos ALB e SIL aumentaram a fase monoclinica.

Ahn <i>et al.</i> , 2015	Combinação de abrasão a ar com Metal / Zirconia Primer e Z-PRIME Plus. Usaram um cimento resinoso autoadesivo (Clearfil SA Luting, Kuraray, Kurashiki, Okayama, Japan).	Boa adesão para abrasão + Primer MDP. Cimento autoadesivo sem pré-tratamento não garante boa adesão. Independentemente de o cimento conter MDP, um primer MDP deve ser aplicado para melhorar resistência de união.
Akpınar <i>et al.</i> , 2015	Avaliou o efeito de diferentes ângulos de feixe (90°,75°,60°,45°) de laser FS na resistência ao cisalhamento (SBS) do cimento resinoso á Y-TZP. Cimento resinoso autoadesivo Rely X U100.	À medida que o ângulo diminui, a profundidade de ablação diminui, o orifício produzido aumenta e o valor de SBS aumenta. Ângulo de 45° resulta num SBS significativamente maior.
Arai <i>et al.</i> 2017	As amostras foram tratadas com um dos seguintes monômeros: MDP (MD), GPDM (GP) e Fenil-P (PP). Após a aplicação do primer e a secagem ao ar, metade das amostras tratadas foram limpas por ultrassom em etanol por 2 min (MD-e, GP-e e PP-e).	Todas as amostras, exceto MD e MD-e, exibiram falha adesiva. Grupos submetidos as ultrassons tiveram menor ângulo contacto, independentemente do monómero utilizado. Primer contendo MDP obtiveram melhor resistência de adesão.
Araújo <i>et al.</i> ,2018	Compara a eficácia de adesão de um adesivo universal (SBU) (com/sem foto ativação), revestimento de sílica (SIL), aplicação de silano (SI), em três marcas diferentes de zircônia.	Para os 3 tipos de cerâmica, o revestimento de sílica promoveu valores significativamente mais altos de resistência de união, mas nos grupos de SBU não houve diferenças significativas entre grupo SBU e grupo SIL+SBU, revelando que aplicação de primer não aumentou a resistência de adesão. A foto polimerização não interferiu nos resultados de adesão. Aplicação de SIL+SI promoveu a maior resistência de adesão.
Campos <i>et al.</i> ,2016	Efeito da infiltração de sílica pelo “Método Sol-Gel” na resistência de adesão do cimento resinoso á zircônia. Foi utilizada um primer MDP (Monobond Plus ou Monobond S -) e cimento resinoso Variolink II.	Método sol-gel aumentou resistência adesão imediata ao cimento e a longo prazo, após 6x10 <sup>3</sup> ciclos térmicos. Valores de adesão com primer não foram estatisticamente diferentes dos grupos sem primer. Resistência adesão aumentou significativamente após infiltração,

		condicionamento HF e uso de primer.
Carrera <i>et al.</i> , 2019	Comparação entre abrasão com partículas de 50 µm de Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , tratamento triboquímico com partículas de Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> modificadas com sílica de 30 µm. As amostras de zircônia foram todas tratadas usando um adesivo universal contendo MDP e foi usado um cimento adesivo.	Tratamento mecânico (abrasão) pode associado a adesivos universais com MDP fornecer uma ligação durável. Abrasão com partículas de 50 µm de Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> provocou um maior aumento da resistência de união da superfície.
Druck <i>et al.</i> , 2014	Comparação da deposição de nano filme de sílica (Pulverização catódica) com revestimento triboquímico de sílica, condicionamento com HF e silanização.	Resultados semelhantes para nanofilme de sílica e revestimento triboquímico de sílica. Envelhecimento diminuiu drasticamente a força de união do grupo nanofilme de sílica. Deposição de nanofilme de sílica não causou alterações topográficas na superfície da zircônia.
Esteves-Oliveira <i>et al.</i> , 2017	Comparação entre abrasão com partículas Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , revestimento de sílica, irradiação com laser Yb:YAG, com 10 repetições a 30µm(L10) e 20 repetições a 40µm distância(L20).	Laser aumenta a rugosidade, molhabilidade e força de adesão aos monômeros de fosfato do cimento resinoso, sendo uma boa alternativa á adesão de zircônia.
Grasel <i>et al.</i> , 2018	Avaliação da efetividade do tratamento mecânico de abrasão e comparação de diferentes sistemas de adesão química (primer universal e cimento composto) após abrasão.	O uso de primers universais contendo MDP e silano, como Scotchbond Universal, é uma alternativa promissora para melhorar a adesão de cimento á zircônia. Abrasão aumentou valores de resistência de adesão para todos os cimentos, exceto Scotchbond Universal/RelyX Unicem .
Hallman <i>et al.</i> , 2016	Avaliação dos tratamentos de bombardeio com plasma gasoso, bombardeio com ião argônio, partículas abrasivas de zircônia de 150 µm e partículas abrasiva de alumina de 150 µm.	Bombardeio com ião argônio ou plasma gasoso não tem muito efeito na transformação de fase, rugosidade ou topografia da superfície. Abrasão partículas alumina causam mais transformação de fase e danos na superfície que partículas de zircônia, apresentando o valor mais alto de rugosidade.

Hallman et al, 2016	As superfícies cerâmicas de zircônia foram tratadas com partículas de óxido de alumínio de 150 µm, partículas de zircônia abrasivas de 150 m, bombardeio de iões de argônio, plasma gasoso e solução de piranha (H2SO4: H2O2 = 3: 1).	Bombardeio com plasma apresentou baixa tração após 150 dias armazenamento. Solução piranha apresentou baixa adesão, pelo que não é indicada. Abrasão aumenta a resistência de adesão (sobretudo abrasão com partículas de zircônia).
Júnior et al., 2018	Comparação de abrasão de partículas de óxido de alumínio+ primer (APP) e condicionamento 10% de ácido fluorídrico+ primer (HFP), plasma não térmico (NP); plasma não térmico + primer (NPP); e um condicionamento de ácido fluorídrico 10% + plasma não térmico com primer (HFNPP).	Aplicação de plasma não térmico para tratamento de superfície da zircônia não mostrou diferença significativamente na resistência de união comparada á abrasão com partículas de alumina, não alterando a rugosidade da superfície e tendo ângulos de contato reduzidos.
Kasraei et al., 2015	O tratamento da superfície do laser foi realizado com laser de CO <sub>2</sub> e Nd: YAG.	Ambos os lasers aumentaram a adesão após termociclagem e armazenamento em água 6 meses. Adesão dos grupos laser Nd: YAG foi superior aos do laser CO <sub>2</sub> , mas a diferença não é estaticamente relevante. Nas imagens SEM, o laser Nd: YAG causou bolhas na superfície e o laser CO <sub>2</sub> microfissuras.
Khan et al., 2017	Revisão de diferentes tratamentos de superfície do cimento resinoso á zircônia.	Combinação de pré-tratamento mecânico pode aumentar a adesão com cimento resinoso. Primer contendo MDP produzem ligações hidrotermicamente estáveis entre cimento e zircônia. SIE é uma maneira efetiva de criar intertravamento nano mecânico.
Kim et al., 2019	Avaliar o efeito da pressão atmosférica não térmica (NTP) na resistência ao cisalhamento (SBS) entre zircônia tetragonal estabilizada com ítrio (Y-TZP) e cimento resinoso autoadesivo.	Independentemente do tipo de cimento, sem termociclagem, o tratamento com NTP aumentou o SBS entre zircônia e cimento. Com termociclagem, o tratamento com NTP não aumentou o SBS entre zircônia e cimento. O tratamento com NTP

		aumenta significativamente a SBS, que é mais alto ao usar o G-CEM LinkAce do que ao usar o RelyX U200.
Le <i>et al.</i> ,2019	Comparação entre tratamento com ácido fluorídrico ou jateamento.	O jateamento de areia aumentou a resistência ao cisalhamento e rugosidade da superfície. Um cimento à base de MDP combinado com jateamento de areia alcançou uma força de união suficiente, independentemente dos procedimentos artificiais de envelhecimento. HF deve ser evitado a fim de não comprometer a adesão.
Lima <i>et al.</i> ,2019	As placas Y-TZP foram desgastadas ao ar com partículas de alumina revestidas com sílica de 30 µm e distribuídas em três grupos: sem limpeza, limpeza com uma corrente de jato de ar / água sem óleo por 5 s e limpeza com banho ultrassônico em água por 10 min. Após a aplicação do tratamento, as placas Y-TZP receberam aplicação de primer e foram cimentadas.	A limpeza com spray de ar após revestimento triboquímico compromete a ligação da zircônia, imediatamente e após envelhecimento. Resistência de união com revestimento triboquímico de sílica não foi confiável, independentemente do método de limpeza usado.
Mello <i>et al.</i> ,2015	Revisão dos diferentes tratamentos de superfície, como abrasão, SIE e vitrificação.	Deve ser usado abrasão com partículas de 30µm, associado a primer ou cimentos com MDP. SIE parece ser promissor, mas não é de fácil execução. Vitrificação apresenta bons resultados de adesão e facilidade execução, mas pode haver desajuste da margem.
Moezzizadeh <i>et al.</i> ,2017	Comparação de condicionamento com HF, silanização, revestimento de sílica, revestimento de biovidro em pó na resistência de união do cimento resinoso à zircônia.	O revestimento de biovidro aumenta efetivamente a resistência da união de zircônia ao cimento resinoso em curto prazo e é tão eficaz como tratamento de jateamento. O revestimento de sílica coloidal deve ser evitado, pois este método diminui a resistência de união do cimento resinoso para zircônia. Revestimento de biovidro fornece o revestimento mais fino.

Moura <i>et al.</i> ,2018	Comparação de diferentes sistemas de cimentação: Panavia F - PAN; RelyX Ultimate - ULT, Multilink N - MULT.	Sem envelhecimento(24h) não houve diferenças significativas. Após envelhecimento, MULT E ULT apresentaram melhores resultados que PAN. Ocorreram falhas pré-teste no cimento PAN durante o envelhecimento.
Mutluay <i>Unal et al.</i> ,2016	Avaliar os efeitos do laser de fibra dopada com itérbio (YbPL) na zircônia.	Embora o tratamento a laser tenha afetado as superfícies de zircônia e proporcionou rugosidade da superfície, potência e a frequência deve ser ajustada para obter melhores resultados. Um aumento excessivo da rugosidade da superfície não ofereceu maior molhabilidade.
Omidi <i>et al.</i> ,2018	Avaliar os resultados da combinação de diferentes tratamentos, como abrasão, revestimento de sílica sistema Cojet e laser Er: YAG, com Z-Prime Plus ou adesivo universal.	Imagens SEM revelaram que as amostras do sistema Cojet apresentaram rugosidade mais uniforme que jateadas. Amostras jateadas + adesivo universal apresentaram maior resistência de união que Z-primer Plus. Jateamento cria retenção mecânica, mas não é uma ligação suficientemente eficiente.
Pilo <i>et al.</i> ,2016	Testar a interação da superfície com dois primers de zircônia: Z Primer Plus e Z-Bond.	Os resultados do presente estudo mostraram que os primers testados produziram filmes fortemente adsorvidos em Y-TZP, com evidências de formação de sais de carboxilato e fosfato. Embora uma condição de ligação seja estabelecida entre esses primers e as superfícies Y-TZP, a sensibilidade hidrolítica dos sais de carboxilato formados pode afetar a estabilidade da interface.
Rona <i>et al.</i> ,2016	Comparação dos tratamentos jateamento, revestimento triboquímico de sílica, laser Er: YAG, EDM (usinagem por descarga elétrica) e silano, em combinação entre si.	Amostras tratados com EDM apresentam mais resistência ao cisalhamento que nos grupos tratados com laser, revestimento triboquímico de sílica e abrasão.

Saade <i>et al.</i> ,2019	Teste de resistência ao cisalhamento (SBS) de diferentes tratamentos: jateamento com partículas de 50 µm e de 100 µm, laser Er, Cr: YSGG e técnica de infiltração seletiva (SIE).	Rugosidade do grupo jateado 110µm e laser aumentou em relação ao grupo SIE, mas o grupo jateado com 50µm não aumentou a rugosidade. Uso do laser é útil e não destrutivo. Uso de primer MDP é necessário para aumentara eficiência da ligação.
Sayin Ozel <i>et al.</i> ,2019	Comparação da eficácia de abrasão, laser Nd: YAG, e combinação entre eles.	Tratamentos combinados são mais eficazes para aumentara a rugosidade. Abrasão combinado com laser levou a valores mais altos de resistência ao cisalhamento na zircônia.
Smielak <i>et al.</i> ,2015	Condicionamento da superfície da zircônia com ácido fluorídrico (HF): 40% HF, 9,5% HF e 5% HF.	Concentração com HF 5% não causa alterações morfológicas na estrutura nem rugosidade.
Souza <i>et al.</i> ,2018	Caso clínico de facetas ultrafinas translucidas, tratadas com revestimento sílica sistema Cojet, silano e sistema adesivo Excite F. Cimentadas com cimento resinoso Variolink veneer.	1 ano depois nenhuma faceta descolou, nem fraturou, apesar de não podermos comparar alterações visíveis devido a fotografias não terem as mesmas condições.
Stawarczyk <i>et al.</i> , 2017	Revisão de diferentes tratamentos de superfície.	A combinação de um tratamento mecânico e químico é essencial para uma boa adesão. O jateamento com partículas revestidas de sílica com primer de silano e jateamento de alumina com produtos com MDP têm bons resultados. Este último tem menos evidências de estabilidade a longo prazo. A escolha do cimento é menos relevante.
Tostes <i>et al.</i> ,2017	Este estudo avaliou o efeito da abrasão a ar na transformação de fase t→m, na rugosidade, topografia e composição elementar de três cerâmicas Y-TZP (Zircônia tetragonal policristalina estabilizada por ítrio): duas convencionais (Lava Frame e ZirCad) e uma de alta translucidez (Lava Plus).	Independente do tipo e do diâmetro das partículas, o jateamento produziu transformação t→m, aumentou a rugosidade e alterou a composição elementar das cerâmicas avaliadas. A cerâmica Lava Plus apresentou comportamento semelhante às convencionais, indicando que esta cerâmica de alta translucidez pode ser mais

		adequada à confecção de restaurações monolíticas.
Mutluay Unal <i>et al.</i> ,2015	Avaliação dos efeitos do laser YbPL e jateamento de areia com 110 µm óxido de alumínio ou alumina revestida com sílica de 30 µm na resistência ao cisalhamento (SBS) da zircônia à superfície do dente.	Maior força de união com laser YbPL. Em tratamento de superfície com Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ou Sistema Cojet, a seleção de cimento resinoso pode afetar a resistência da ligação do cimento e zircônia. cimentos resinosos com MDP podem ser melhores para cimentar cerâmica de zircônia.
Vechiato-Filho <i>et al.</i> ,2016	Caracterização da superfície de Y-TZP tratada com NTP ou revestida com uma camada de primer para ligas metálicas.	Grupo NTP + cimento Rely x U200 teve maior adesão, após envelhecimento. Tratamento NTP não mostrou alterações topografias nem alterações relevantes da rugosidade. Cimento Panavia teve melhores resultados quando associado a um primer.
Wandscher <i>et al.</i> 2016	Comparou diferentes partículas no método de abrasão, testando qual a mais eficaz na adesão: partículas sílica, partículas de pó cerâmico feldspático e partículas de pó cerâmica de vidro.	Abrasão foi mais eficaz com partículas de pó de cerâmica feldspática. Todos os métodos de abrasão nas imagens SEM revelaram deposição de sílica na Y-TZP.
Yang <i>et al.</i> ,2018	Examinação da durabilidade da ligação à zircônia após o envelhecimento artificial usando diferentes produtos que contêm MDP: Clearfil SA Luting; Panavia SA Luting Plus, primers de zircônia contendo MDP (Z-Prime Plus]; Clearfil Ceramic Primer) e adesivos universais contendo MDP (Single Bond Universal; Clearfil Universal Bond ).	Adesivos universais contendo MDP e cimentos autoadesivos apresentam melhor SBS, mesmo apo envelhecimento. Foi detetado fosforo em ambos os grupos de cimento com MDP apos 24 h, e no primer MDP após 1 semana.
Zanjani <i>et al.</i> ,2014	Comparar abrasão e diferentes lasers (CO <sub>2</sub> 4 W, Er, Cr: YSGG 3W e Er, Cr: YSGG 2W,) na adesão da zircônia ao cimento resinoso.	Abrasão foi mais eficaz que laser CO <sub>2</sub> e Er, Cr: YSGG. CO <sub>2</sub> 4 W, Er, Cr: YSGG 3W apresentaram bons resultados de adesão. Houve falhas adesiva nos grupos laser.
Zeidan <i>et al.</i> ,2017	Comparação de diferentes tratamentos de superfície: revestimento triboquímico de sílica, laser Er, Cr: YSGG (2 W,2,5 W e 3W),	Laser aumentou mais a rugosidade, havendo correlação com aumento da potência. Os estudos sobre este laser são escassos. Aumenta os valores de adesão com a diminuição da potência do laser antes de revestimento de sílica. Na

		ausência de foto ativação, superfícies revestidas as sílicas apresentam valores de adesão semelhantes a uma superfície não tratada.
--	--	---

## 5. Discussão

Zircônia é o nome comum atribuído ao dióxido de zircônio, cuja composição química é  $ZrO_2$ . Em medicina dentária, para se tornar estável à temperatura ambiente, a zircônia é usada parcialmente estabilizada com óxido de ítrio (Y-TZP), permanecendo em fase tetragonal e não em fase monoclinica instável. A superfície de porcelana (cerâmica de vidro) é condicionada com 10% de ácido fluorídrico associado a um agente de acoplamento de silano, resultando numa alta resistência de união ao cimento. No entanto, a zircônia T-TZP é, devido à sua fase vítrea limitada, ausência de sílica na sua estrutura e alto teor cristalino, uma cerâmica ácido-resistente. Assim, sendo a sua estrutura quimicamente inerte, requer técnicas alternativas de tratamento de superfície para obter uma boa adesão ao cimento resinoso, seja por métodos mecânicos ou químicos.

Métodos de tratamento mecânicos são relatados como promissores na adesão, atuando por aumento da rugosidade da superfície, criando fissuras e sulcos que, apesar de fragilizarem a estrutura, permitem a penetração do cimento resinoso e uma retenção micromecânica.

### 5.1. Abrasão/Jateamento

Um dos métodos mais abordado e controverso é a abrasão com partículas de  $Al_2O_3$ , que utiliza uma fonte de alta velocidade para projetar partículas de  $Al_2O_3$  contra a superfície da zircônia e tirar partido da energia libertada desse impacto. O impacto envolve a erosão do material com a formação de uma superfície rugosa, que segundo Mutluay Unal *et al* aumenta a área da superfície, melhora a molhabilidade (reduzindo a tensão superficial) e cria retenção micromecânica.(28) No entanto, o jateamento de areia também pode levar à formação de danos, defeitos e rachaduras na superfície e comprometer as características mecânicas da zircônia. Parâmetros

como a pressão, distância da fonte e tamanho das partículas, podem afetar a eficiência do jateamento.(2)



Imagem 1. Mudança de fase da zircônia. Fonte: Stawarczyk B, Keul C, Eichberger M, Figge D, Edelhoff D, Lümke mann N. Three generations of zirconia: From veneered to monolithic. Part I. Quintessence international (Berlin, Germany: 1985). 2017;

A suscetibilidade para a degradação a baixa temperatura (baseada na transformação de fase tetragonal a fase monoclínica) tem sido alegadamente um fator importante que afeta as propriedades mecânicas e a sobrevivência de estruturas Y-TZP.(29) Saade *et al* sugerem que o tamanho das partículas de Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> está intimamente relacionado com a transformação de fase *tm*, uma vez que partículas de 50µm (a uma pressão de 3,5 bar e 10mm de distância) causaram uma transformação de 8% e partículas de 110 µm causaram 13 %.(4) Não houve um aumento da rugosidade da superfície com partículas de 50µm de Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, discordando de Carrera *et al*(22)que alcançaram boa resistência ao cisalhamento com este tamanho de partículas.

Tostes *et al* concluíram que partículas de 150 µm Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> parecem ser mais adequadas para tratar a superfície interna de cerâmicas de Y-TZP. A abrasão de ar causou uma diminuição no conteúdo de Zr, juntamente com o aparecimento de Al, variando de 2,99-12,14 wt %. Estes resultados são relevantes porque revelam valores mais elevados que o conteúdo de Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> normalmente incluído na composição das facetas de Y-TZP (≈0,25 %). O aumento de Al e O detetado pode ser explicado pela inclusão de Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> na superfície cerâmica.(5)



Imagem 2. Comportamento da zircônia na propagação de fissuras. Fonte: Stawarczyk B, Keul C, Eichberger M, Figge D, Edelhoff D, Lümke mann N. Three generations of zirconia: From veneered to monolithic. Part I. Quintessence international (Berlin, Germany: 1985). 2017;

Na abrasão com partículas de  $Al_2O_3$ , nas zonas circundantes de uma fissura em propagação, os cristais tetragonais podem-se transformar numa estrutura monoclinica estável. Como essa transformação é acompanhada de uma expansão de volume de 3 a 4%, as tensões induzidas pela transformação levam à formação de zonas com grandes tensões de compressão que podem fechar parcialmente a fissura e retardar sua propagação, aumentando a resistência do material.(11) Embora este fenômeno localizado tenha um efeito protetor, a transformação de fase tetragonal em monoclinica pode reduzir potencialmente as propriedades mecânicas e pode comprometer a vida útil da zircônia .

De um modo geral, os autores(4,5,9,22) confirmam que a abrasão com partículas de  $Al_2O_3$  aumentam a rugosidade da superfície e, por conseguinte, a resistência ao cisalhamento da zirconia ao cimento resinoso, sendo o tamanho das partículas o fator mais controverso, uma vez que é preciso o mais indicado para alcançar o objetivo sem comprometer a integridade da estrutura.

Existem ainda autores (14,22) que defendem que o tratamento de abrasão deve ser combinado com um agente químico(9), como um primer contendo MDP ou um cimento contendo MDP(9),de modo a obter uma ligação mais consistente a longo prazo.

Alguns estudos decidiram realizar a abrasão com outro tipo de partículas, como partículas de cerâmica feldspática e partículas de zircônia. Sob as mesmas condições que as da abrasão com partículas de 150 $\mu$ m de óxido de alumínio ( $Al_2O_3$ ), Hallmann

*et al*(20)(19) a abrasão provocou mais transformação de fase e mais danos na superfície que partículas de 150 µm de zircônia, porém, maior rugosidade. O mesmo autor num outro estudo comparou partículas de óxido de alumínio com partículas de zircônia, constatando que a abrasão com partículas de zircônia aumenta ainda mais a resistência á tração entre a zircônia e o cimento.(19)

Wandscher *et al* foram mais longe e testaram os resultados da abrasão com partículas de óxido de alumínio, partículas de pó de cerâmica feldspática e partículas de pó de leucite vitrocerâmica, tendo estas duas últimas obtido menor percentagem de transformação de fase.(24) O autor chamou-lhe, por isso, “soft-triboplasma method”. Este estudo tem como limitação não ter referências ao tamanho e forma das partículas, sabendo-se apenas que estas seriam menores que 45µm. Todos os métodos revelaram nas imagens SEM a deposição de sílica na superfície da zircônia, mas a abrasão com partículas de cerâmica feldspática, foi a mais eficaz, apresentando maior valor de adesão mesmo após envelhecimento. (24)

## **5.2. Revestimento triboquímico de sílica (TBS)**

Como a superfície da zircônia não contém sílica, surgiu uma adaptação do método de abrasão designado revestimento triboquímico de sílica (TBS). Consiste num método de abrasão com partículas de óxido de alumínio, geralmente de 30µm, revestidas por sílica (sistema Cojet /Rocatec 3M ESPE), seguidas da aplicação de um primer de silano. (30)O silano é uma molécula bifuncional que, ao reagir com água, hidrolisa formando grupos silanol (SiOH). Esses grupos podem reagir com sílica disponível na superfície da cerâmica para formar redes de siloxano (-Si-O-Si-O-). Enquanto isso, a extremidade de metacrilato da molécula de silano sofre polimerização por radicais livres, reagindo com grupos metacrilato nos cimentos resinosos para formar ligações químicas.(30)

Apesar do silano permitir criar ligações químicas, a aplicação somente de silano sem um tratamento prévio de superfície, não é capaz de providenciar uma ligação covalente química confiável. Moezzizadeh *et al* também defendem que apenas o revestimento de sílica não apresenta valores de resistência de adesão significativos. Este método de revestimento não parece fiável, provavelmente devido á molhabilidade insuficiente da superfície da zircônia por sílica sem o uso de um

agente ligante ou um valor de CTE (Coeficiente expansão térmica) diferente da sílica e zircônia. Assim, torna-se imperativo associar o revestimento de sílica da zircônia e a aplicação de silano. (31)

O CTE é um fator na fratura de facetas de zircônica. O valor de CTE de zircônia monoclinica é significativamente inferior á de zircônia tetragonal.(32) Isto pode enfraquecer a força de adesão entre zircônia e revestimento. Para tentar solucionar este problema pode ser usado um intermediário contendo sílica, de modo a criar uma ligação química entre o núcleo de zircônica e o revestimento cerâmico. Esta ligação apresenta valores de SBS mais altos que nos grupos de zircônica tratada com abrasão com  $Al_2O_3$ .

Em imagens SEM Druck *et al*(30) obtiveram modificações relevantes da superfície (microrretenções e ligações químicas), sendo que é do consenso de vários autores(3,28,30) que no revestimento triboquímico de sílica (TBS) a seleção do primer contendo MDP, adesivo universal e cimento com MDP, é imprescindível para uma resistência de ligação entre cimento e zircônia. Desta forma, este método de revestimento de sílica alcançou maior rugosidade de superfície que a abrasão convencional, e em conjunto com um adesivo universal consegue resultados mais favoráveis que com um primer, como Z-Primer Plus. (23)Devem ainda ser selecionados cimentos com MDP, de modo a reforçar esta adesão cimento-zircônia.(28)

### **5.3. Revestimento de sílica método sol-gel**

Uma outra técnica de infiltração de sílica consiste no método Sol-Gel que não é mais que a imersão dos discos pré-sinterizados numa solução ácida de metassilicato, transformando-se depois esta solução em gel. A informação ainda é débil, mas este tratamento químico aumentou num estudo a resistência de adesão imediata ao cimento e a longo prazo, após  $6 \times 10^3$  ciclos térmicos. Valores de adesão em combinação com um primer não foram estatisticamente diferentes dos grupos sem primer. A resistência de adesão só aumentou significativamente após infiltração, condicionamento com ácido HF e uso de primer. (16)

#### **5.4. Infiltração seletiva por vidro (SIE)**

Na busca de criar um tratamento de superfície que permita incorporar sílica na zircônia para aumentar a sua adesão química, surgiu outra técnica designada, infiltração seletiva por vidro (SIE). A partir de princípios de maturação induzida por calor e contorno difuso de grão consegue-se transformar a superfície lisa da Y-TZP numa superfície de maior retenção. Em combinação com a maturação induzida por calor, é aplicada uma fina camada de um agente de condicionamento de vidro infiltrado por sílica (65%), óxido de sódio (10%), óxido de potássio (5%) e óxido de titânico (5%) ao longo da superfície da zircônia. Esse vidro fundido infiltra-se seletivamente entre os grãos, exerce tensão superficial e forças de capilaridade, promovendo um refranjo dos grãos e possibilitando uma melhor retenção mecânica. Há autores (1,21) que defendem que o SIE alcança o seu objetivo ao aumentar a área disponível para adesão, mas Saade *et al* concluem que o método não aumenta a rugosidade da superfície, uma vez que as imagens SEM mostram superfície similar á de grupos controle sem tratamento. (4) Esta técnica necessita de mais estudos para compreensão da sua efetividade a longo prazo.

#### **5.5. Vitrificação**

Moezzizadeh *et al* desenvolveram um novo método, Vitriificação (Bioglass Coating) em pó e em lama, que é tao efetiva como a abrasão com partículas de 50µm de Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. O revestimento em lama cria uma camada mais fina sobre a superfície. No entanto, ainda não é possível tirar conclusões definitivas porque os estudos ainda são escassos,(31) mas a vitrificação apresenta bons resultados de adesão e facilidade de execução, apesar do risco de desajuste da margem entre a zircônia e o cimento.(21)

#### **5.6. Irradiação por Laser**

O laser (amplificação de luz por emissão estimulada de radiação) foi sugerido como um método alternativo para o tratamento de superfície, devido a ser um método passível de maior controle. Com lasers de alta potência, a destruição da superfície e a transformação de fase, podem provocar uma falha da adesão por falta de controlo de potência, duração do pulso e distância da fonte.

Existem três tipos de lasers amplamente conhecidos em Medicina Dentária: Er: YAG, Er, Cr: YSGG, Nd: YAG e CO<sub>2</sub>. Os lasers Er: YAG e Er, Cr: YSGG (2,94  $\mu\text{m}$  e 2,78  $\mu\text{m}$  de comprimento de onda, respetivamente) foram introduzidos para o corte de esmalte e dentina, remoção de cáries, preparo cavitário e na remoção de partículas num processo chamado “ablação”, que consiste em microexplosões e vaporização. O laser Nd: YAG (1064 nm de comprimento de onda) é usado para diminuir sensibilidade dentária, remoção de cáries e, assim como o Er: YAG, tem a capacidade de promover a formação de uma superfície irregular na Zircônia, aumentando consequentemente a adesão aos compósitos resinosos. O laser de CO<sub>2</sub> (1060 nm comprimento de onda) apresenta alta interação com a água causando, normalmente, grandes danos nas superfícies. Os recentes avanços na tecnologia a laser resultaram no desenvolvimento do laser pulsado ultracurto (UPL), que inclui uma redução efetiva da energia de irradiação da superfície reduzindo o risco de dano térmico ou mecânico à superfície. (11)

Mutuay Unal *et al* decidiram avaliar os efeitos do laser de fibra dopada com itérbio (YbPL) na zircônia, com 5W,12W,17W e 20 W de potência e com uma frequência de 25,40,60,80, e 100 KHZ. Os resultados mostram que o valor da rugosidade foi maior com 20 W e 100 KHZ e a molhabilidade foi melhor no grupo de 5W e 60 KHZ. Todos os grupos exibiram irregularidades micromecânicas na superfície, mas o aumento de potência causou formação de microfissuras, desaconselhando a utilização de potências elevadas. A análise DRX, mostrou que nenhum grupo teve uma transformação de fase significativa. (33)

Sendo a molhabilidade descrita como a interação de um material com um fluido, o tratamento da superfície da zircônia com laser pulsado aumenta a rugosidade, molhabilidade e força de adesão microtênsil aos monómeros de fosfato do cimento resinoso. Quanto menor o ângulo de contacto, maior a molhabilidade e maior a resistência ao cisalhamento (SBS). Porém, aumentos nos valores de rugosidade da superfície (Ra) não aumentam linearmente a molhabilidade, como é confirmado com os resultados deste estudo. Porém, a grande limitação deste estudo (33) é não investigar a resistência ao cisalhamento entre a zircônia e o cimento. O mesmo autor, num estudo realizado anteriormente com o laser YbPL obteve resultados

satisfatórios, comparativamente a métodos de abrasão com  $\text{Al}_2\text{O}_3$  ou revestimento triboquímico de sílica sistema Cojet.(28)

Num outro estudo, testou-se o laser Yb:YAG num grupo com 10 repetições e  $30\mu\text{m}$  de distancia da superfície(L10), e outro com 20 repetições a  $40\mu\text{m}$  de distancia(L20), comparando com grupos de abrasão com partículas de  $\text{Al}_2\text{O}_3$  e revestimento de sílica. Após um mês de armazenamento, a zircônia tratada com laser apresentou forças de união mais altas que os restantes grupos, tendo L20 uma ligeira tendência a ser mais suscetível á degradação que L10. L10 teve duas vezes mais resistência de união que amostras tratadas com abrasão ou revestimento de sílica. Conclui-se que o laser Yb:YAG aumenta a rugosidade, molhabilidade e força de adesão aos monómeros de fosfato do cimento resinoso, constituindo uma alternativa viável para adesão.(10)

Akpinar *et al* puseram como hipótese que o ângulo do feixe de laser podia interferir com os resultados de resistência ao cisalhamento (SBS). Usaram um laser Femtosegundo (FM) em ângulos de  $45^\circ, 60^\circ, 75^\circ$  e  $90^\circ$  e cimento RelyX U100. Quando o ângulo de incidência diminuiu o valor de resistência ao cisalhamento aumentou, assim como o orifício produzido, mas a profundidade de ablação diminuiu. A angulação de  $45^\circ$  foi a que obteve os melhores resultados.(12)

Um outro tipo de laser, o Laser Nd: YVO4, foi comparado com a abrasão com partículas de  $\text{Al}_2\text{O}_3$  e revestimento de sílica. O laser apresentou vantagem, tal como os outros, de manter a fase cristalina tetragonal estável da superfície Y-TZP, o que significa que são capazes de aumentar a rugosidade da superfície sem gerar rachaduras e fissuras.(11)

Sayin Ozel *et al* obtiveram melhor resistência ao cisalhamento com abrasão com partículas de  $\text{Al}_2\text{O}_3$  combinada com laser Nd: YAG.(8) Já Saade *et al* obtiveram uma maior rugosidade da superfície tanto com laser Er, Cr: YSGG como jateamento, ressaltando que o laser é útil e não destrutivo.(4)

Numa comparação entre laser  $\text{CO}_2$  e laser Nd: YAG, Kasraei *et al* concluíram que, apesar de ambos os lasers promoverem adesão após termociclagem e armazenamento em água durante 6 meses, a resistência ao cisalhamento nos grupos tratados com laser Nd: YAG foi superior aos grupos tratados com laser  $\text{CO}_2$ , não sendo esta diferença estatisticamente significativa. A grande diferença foi observada

em imagens SEM, com a presença de esferas similares a bolhas cercadas por uma camada porosa plana, adequada para retenção micromecânica, no laser Nd: YAG. Por outro lado, o laser Co<sub>2</sub> apresentou uma rugosidade associada a microfissuras. Irradiação com este último pode causar destruição e menos resistência coesiva.(34)

Um outro estudo compara a eficácia da abrasão com partículas de 50µm Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, com laser Co<sub>2</sub> (4 W) e laser Er, Cr: YSGG (2w e 3w). Ficou demonstrado que a abrasão foi mais eficaz que ambos os lasers. Os grupos laser tiveram desconexão da interface, sendo a falha adesiva a mais predominante. Ainda assim, o autor defende que os grupos laser Co<sub>2</sub> 4W e Er, Cr: YSGG 3W podem ser considerados tratamentos de superfície da zircônia viáveis produzindo rugosidade suficiente para adesão.(35)

Zeidan *et al* aplicaram o laser Er,Cr:YSGG na superfície da zircônia ,com potência de 2W, 2.5W e 3W, e verificaram haver uma correlação entre o aumento da potência e aumento da rugosidade produzida .Mas, na falta de fotoativação de todos os cimentos testados , o grupo tratado com laser 2W apresentou mais resistência que os restantes, sendo que a fotopolimerização interfere nos resultados de adesão. A aplicação de laser Er, Cr: YSGG como tratamento de superfície da zircônia é controverso, havendo escassos estudos.(36)

O laser cria porosidades macro e microscópicas na superfície do material e aumenta a retenção micromecânica do cimento à zircônia, mas pode criar rachaduras e levar á sua fratura. O laser Er: YAG (erbium: yttrium-alumina garnet) tem resultados promissores em medicina dentária. Num estudo com condições de 2W ,10 Hz, 1 mm de distância, sob refrigeração com água, 14 das 30 amostras testadas no grupo laser descolaram antes do teste. Parece que a produção de energia inadequada criou rachaduras na superfície e a fraca ligação entre estas e as camadas subjacentes descolou a zircônia do cimento. Este laser nestas condições não condicionou a superfície adequadamente para incremento das forças de adesão.(23)

### **5.7. Usinagem por descarga elétrica (EDM)**

Recentemente, foram criados novos métodos de tratamento da superfície, como EDM (Usinagem por descarga elétrica) e Plasma não térmico (NTP) / pulverização catódica por magnetron.

Usinagem por descarga elétrica (EDM) é um processo não convencional que cria a forma desejada, corroendo o material com descargas elétricas em meio dielétrico. A zircônia é considerado um material não condutor por ter resistividade superior a 100 V cm, não podendo ser utilizada para fins de EDM. Kucukturk and Cogun desenvolveram um método para maquirar eletricamente materiais não condutores. O pó de grafite é misturado com líquido dielétrico e a usinagem é alcançada através de uma camada de revestimento condutor na superfície do material. Rona concluiu que este método inovador tinha mais resistência ao cisalhamento que abrasão, revestimento triboquímico e laser Er: YAG (2W).(26)

### **5.8. Plasma não térmico (NTP)**

Para reduzir o risco de aparecimento de fissuras, surgiu um tratamento que teoricamente pretende aumentar a resistência da adesão na mesma extensão que a abrasão com ar, sem alterar significativamente a rugosidade da superfície. A aplicação de plasma não térmico de argônio, por pulverização catódica, é um tratamento de superfície usado em materiais policristalinos, descrito como o quarto estado da matéria em adição aos estados sólido, líquido e gasoso. Consiste em acelerar iões de argônio contra um alvo de sílica, depositando o material ejetado sobre a superfície da zircônia que está localizada em frente ao alvo. Contudo, a sua aplicação não mostrou diferenças significativas de adesão comparativamente ao método de abrasão.(7)

A técnica do plasma não térmico (NTP) pode melhorar a adesão criando novos locais reativos na superfície do substrato, que se ligam quimicamente a outro substrato. Num estudo, a deposição do filme fino foi responsável por uma redução significativa da energia superficial do grupo NTP e Grupos Primer + NTP, bem como uma redução dos seus componentes polares e dispersivos quando comparados aos grupos que tiveram o *primer* de liga como a superfície mais externa (grupos Pr e NTP + Pr). A pulverização iônica durante a deposição do filme fornece energia suficiente para remover os iões H dos compostos C, que interagem entre si e resultam em uma rede de carbonos amorfos (CH<sub>4</sub>), que não possuem afinidade com os componentes polares. Em imagens SEM, o tratamento com NTP não causou alterações

topográficas nem alterações relevantes na rugosidade. Este tratamento apenas teve efeito positivo na resistência de união quando se usou cimento RelyX U200®.(37)

De acordo com Hallman *et al*, pulverização com iões de argónio ou plasma gasoso tem um efeito reduzido na transformação de fase, rugosidade ou topografia da superfície.(20) Num outro estudo, o autor testou este método, abrasão com partículas de óxido de alumínio, partículas de zircônia e aplicação de *solução piranha*. A solução piranha ( $\text{HSO}_4:\text{H}_2\text{O}_2=3:1$ ) é um forte agente corrosivo e oxidante, usado para remover impurezas da superfície devido ao oxigénio atómico e aumento da hidroflicidade da superfície. A pulverização com iões de argónio serve para remover impurezas e alterar levemente a superfície. Houve uma baixa adesão devido ao tempo insuficiente de exposição (1minuto). A pulverização com plasma gasoso deve remover impurezas orgânicas e alterar quimicamente a superfície. Contudo, apresentou baixa resistência á tração após 150 dias de armazenamento, quer por deposição de impurezas que detoraram a adesão, quer por acumulação de grupos hidroxilo, que ligados ao cimento, não foram resistentes ao processo de hidrolise no armazenamento.(19)

Druck *et al* obtiveram resultados semelhantes de resistência de união para nanofilme de sílica, criado com pulverização catódica, e revestimento triboquímico de sílica. Contudo, diversos fatores podem conduzir ao enfraquecimento da zircônia, sendo necessário desde o início do processo de produção do material um especial cuidado e controlo do tamanho dos grãos. Quando sujeito a carga mecânica exagerado ou a ambiente húmido, por longos períodos de tempo, pode sofrer degradação das suas propriedades físicas, denominando-se este fenómeno por envelhecimento da zircônia. O envelhecimento pode também resultar de um fenómeno denominado degradação a baixa temperatura (LTD). A progressiva e espontânea transformação da fase tetragonal em monoclinica, resulta na degradação das propriedades da Y-TZP. Esta transformação ocorre quando a Y-TZP está em contacto com água, vapor de água ou fluidos corporais, o que provoca danos na superfície do material. A degradação superficial do material a baixa temperatura provoca aspereza, desgaste, microfaturas, destacamento dos grãos e possível fratura prematura. Durante o envelhecimento, o tratamento de pulverização catódica diminuiu drasticamente a sua resistência de adesão. Os autores concluem

que a deposição do nanofilme de sílica a 5nm, seguido da aplicação de silano, parece promissor para melhorar a adesão da zircônia ao cimento.(30)

### **5.9. Condicionamento com Ácido Fluorídrico (HF)**

A estrutura homogênea e densa de cristais da superfície da zircônica, torna-a resistente á corrosão por acido fluorídrico (HF), daí o desenvolvimento de todos estes tratamentos mecânicos e químicos.(29) Smielak e seus colaboradores confirmaram que uma solução de 5% HF não foi capaz de providenciar alterações morfológicas na estrutura, nem aumento da rugosidade da superfície,(1) devendo o condicionamento ácido ser evitado.(1)

### **5.10. Primer, adesivo universal e cimento (incluindo 10-MDP)**

Após todos estes tratamentos para aumentar a rugosidade da superfície da zircônia Y-TZP, é necessário a aplicação de um promotor química, como um primer, adesivo universal ou cimento contendo MDP, de modo a completar o processo de adesão.

Os primer contêm monômeros organofosforados, incluindo 10-MDP, 6-MHPA ou 4-META. O 10-MDP apresenta um grupo funcional terminal com ácido fosfórico, que reage com a zircônia e forma ligações P-O-Zr. A outra extremidade da molécula é ocupada por um grupo terminal de vinil, que permite a copolimerização com a resina. Esses dois grupos funcionais são separados por uma cadeia de carbono, responsável por características como viscosidade, rigidez, hidrofobicidade e solubilidade. Soluções contendo 10-MDP podem promover melhor adesão do que aquelas contendo 4-META, MAC-10, ou 3-TMSPMA. O aumento da adesão química também ocorre com um cimento composto autoadesivo. No entanto, o uso apenas de um cimento contendo 10-MDP não parece capaz de manter bons níveis de adesão após a termociclagem (14), enquanto o uso de um primer à base de 10-MDP é capaz de aumentar a resistência de união tanto com um cimento autoadesivo (com base em 10-MDP ou outros monômeros funcionais) quanto com cimento tradicional.(18,38)

Arai *et al* examinaram a função dos monómeros funcionais de fosfato (MDP, GPDM E FENIL-P) e da limpeza com ultrassom, medindo os ângulos de contato. As interações do GPDM E FENIL-P com a superfície da zircônia não exibiram arranjo,

havendo falhas adesivas. Apenas as amostras contendo MDP não exibiram falhas adesivas, mas todas as amostras MDP e metade das amostras MDP limpas com ultrassom tiveram falhas coesas. Nos grupos que foram submetidos a limpeza ultrassônica, após a aplicação do primer, as partes hidrófilas dos monómeros espalharam-se pela superfície, apresentando maior ângulo de contato, independentemente da escolha do monómero funcional. (39)

Nos sistemas de cimentação, sem abrasão prévia, o adesivo universal ScotchBond Universal promove valores de adesão altos, sendo uma alternativa promissora.(15)

De acordo com Moura e seus colaboradores, o cimento Rely X Ultimate e Multikink N. obteve melhores resultados de adesão que Panavia F., porque houve falhas pré-teste neste cimento durante o envelhecimento.(40) Já outro autor tinha referido que o cimento Panavia só tinha bons resultados quando associado a um primer MDP.(37) O envelhecimento com termociclagem diminui a resistência de união quando comparado ao armazenamento em água, enquanto os aumentos do número de ciclos não afetaram os resultados significativamente.(40)

No entanto, Yang *et al* descobriu a presença de fosforo em ambos os grupos de cimento MDP após 24h, mas no primer MDP + Adesivo universal só foi notado após 2 semanas. Não se distingue se a libertação de fósforo, dependente do tempo, foi provocada por hidrólise dos cimentos para expor as moléculas de MDP que não reagiram, ou por hidrólise das ligações MDP-zircônia. Esta falta de justificação é uma limitação do estudo. Concluiu-se que adesivos contendo MDP e cimentos autoadesivos apresentam melhor resistência de união que os primer MDP, apesar de estes últimos terem uma ligação mais duradoura. É de ressaltar ainda que nenhum dos produtos impediu a infiltração de água na interface cimento/Y-TZP. (18)

Os resultados de um estudo mostraram que os primers Z-primer plus e Z-Bond produziram filmes fortemente adsorvidos em Y-TZP, com evidências de formação de sais de carboxilato e fosfato. A sensibilidade hidrolítica dos sais de carboxilato formados pode afetar a estabilidade da interface, uma vez que, ambos os primers testados continham HEMA (2-Hydroxyethyl methacrylate), para obter um filme homogêneo de metacrilatos hidrofóbicos (isto é, BisGMA) e hidrofílicos, após a evaporação do solvente. No entanto, críticas foram levantadas sobre o papel do

HEMA, devido à alta absorção de água e à consequente instabilidade hidrolítica, mas mais estudos precisam ser realizados para inquirir os riscos associados. (17)

Por vezes, o mesmo primer apresenta vários agentes químicos, como MDP e Silano, que não reforçam a ligação química, pelo contrário, podem competir mutuamente. A estabilidade da rede de siloxano é prejudicada quando o MDP causa alterações de PH, e a ligação química do grupo fosfato do MDP á superfície da zirconia pode ser inibida pela ligação do grupo fosfato de outros agentes. Assim, devemos optar por um primer com um dos agentes químicos para produzir melhores resultados de adesão.(41,42)

A partir destes estudos é possível chegar a um consenso: mesmo que o cimento contenha MDP é necessário um primer ou adesivo universal com MDP para garantir uma adesão efetiva!

Souza *et al* demonstraram ser possível desenvolver facetas ultrafinas de zircônia, aplicando-as numa paciente com diastemas, proporções dentárias desfavoráveis e incisivos laterais proinclinados. As facetas após sinterização, foram polidas e revestidas com vidro. As superfícies das facetas foram tratadas com revestimento triboquímico de sílica associado á aplicação de silano, seguido de sistema adesivo Excite F (Ivoclar Vivadent®). O cimento escolhido foi Varolink Veneers (Ivoclar Vivadent®). Após um ano, as facetas ainda apresentavam adesão eficaz, não sendo fácil fazer comparações em relação a alterações devido a diferentes condições de fotografias antes/depois. Contudo, um facto evidente é que o método de revestimento triboquímico de químico, associada a silano, sistema adesivo e cimento contendo MDP garantiu uma boa adesão, mostrando que é possível a utilização de facetas ultrafinas monolíticas de zircônia. (27)

A hipótese nula de que o laser seria o método mais eficaz para aumentar a resistência ao cisalhamento da zircônia foi aceite, uma vez que este apresenta um aumento da rugosidade da superfície, sem causar transformação de fase e danificar a superfície. É, portanto, considerado um tratamento não destrutivo, eficaz no aumento da resistência ao cisalhamento. Por essa mesmo razão, deve ser preferível a métodos mecânicos como abrasão com partículas de Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>.

## 6. Conclusão

Dentro das limitações desta revisão sistemática integrativa, as seguintes conclusões foram tiradas:

- A abrasão com partículas de  $\text{Al}_2\text{O}_3$  aumenta a rugosidade da superfície da Y-TZP, criando uma retenção micromecânica. O tamanho das partículas é um fator preponderante, devendo ser inferior a  $110\mu\text{m}$ , de modo a evitar fissuras extensas que diminuem a adesão;
- Abrasão com partículas de pó de cerâmica feldspática e partículas de zircônia apresentam melhores resultados que método de abrasão com partículas de  $\text{Al}_2\text{O}_3$ . Mais estudos precisam ser realizados nesse sentido;
- O revestimento triboquímico de sílica deve ser realizado com partículas de  $30\mu\text{m}$  de  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , devendo ser sempre combinado com agentes contendo silano e MDP, contudo, não parece ser um método confiável;
- O método Sol-gel aumenta a adesão, sobretudo combinado com HF e primer MDP. Mais estudos precisam ser realizados;
- A técnica infiltração seletiva de sílica (SIE) e pulverização por plasma de argônio não fornecem bons resultados de adesão quando comparados a tratamentos como abrasão com partículas de  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ;
- O condicionamento com HF não deve ser realizado, uma vez que não aumenta da resistência ao cisalhamento entre zircônia-cimento;
- O tratamento por usinagem descarga elétrica (EDM) apresenta melhores resultados de adesão que os métodos convencionais, podendo ser um método promissor;
- O Laser aumenta a rugosidade da superfície, sem ocorrer transformação de fase e danos na superfície da zircônia. A potência e frequência deve ser ajustada a fim de não comprometer a adesão ao cimento;
- Qualquer tratamento de superfície deve ser combinado com um adesivo universal ou Primer contendo MDP, sendo que o adesivo universal confere melhores resultados. Independentemente de usar um primer /adesivo com MDP, cimento contendo MDP também deve ser preferível, tendo o cimento

Rely X U. e cimento Multilink N. obtido melhores resultados, e Panavia F. apresentado valores menos confiáveis.

### **Referências Bibliográficas**

1. Smielak B, Klimek L. Effect of hydrofluoric acid concentration and etching duration on select surface roughness parameters for zirconia. *Journal of Prosthetic Dentistry* [Internet]. 2015;113(6):596–602;
2. Russo DS, Cinelli F, Sarti C, Giachetti L. Adhesion to zirconia: A systematic review of current conditioning methods and bonding materials. *Dentistry Journal*. 2019;7(3);
3. Stawarczyk B, Keul C, Eichberger M, Figge D, Edelhoff D, Lümke N. Three generations of zirconia: From veneered to monolithic. Part I. *Quintessence international* (Berlin, Germany: 1985) [Internet]. 2017;48(5):369–80;
4. Saade J, Skienhe H, Ounsi H, Matinlinna JP, Salameh Z. Effect of different combinations of surface treatment on adhesion of resin composite to zirconia. *Clinical, Cosmetic and Investigational Dentistry*. 2019; 11:119–29.
5. Tostes BO, Guimarães RB, Noronha-Filho JD, dos Santos Botelho G, Guimarães JGA, da Silva EM. Characterization of conventional and high-translucency Y-TZP dental ceramics submitted to air abrasion. *Brazilian Dental Journal*. 2017;28(1):97–104;
6. de Araújo AMM, Januário AB do N, Moura DMD, Tribst JPM, Özcan M, E Souza RO de A. Can the application of multi-mode adhesive be a substitute to silicized/silanized Y-TZP ceramics? *Brazilian Dental Journal*. 2018;29(3):275–81.
7. Vilas Boas Fernandes Júnior V, Barbosa Dantas DC, Bresciani E, Rocha Lima Huhtala MF. Evaluation of the bond strength and characteristics of zirconia after different surface treatments. *Journal of Prosthetic Dentistry* [Internet]. 2018;120(6):955–9;
8. Sayin Ozel G, Okutan Y, Oguz Ahmet BS, Ozdere E. Effect of Combined Surface Treatments on Surface Roughness and Resin Bond Strength to Y-TZP Ceramic

- and Nickel-Chromium Metal Alloy. *Photobiomodulation, Photomedicine, and Laser Surgery*. 2019;37(7):442–50;
9. Le M, Larsson C, Papiá E. Bond strength between MDP-based cement and translucent zirconia. *Dental Materials Journal*. 2019;38(3):480–9;
  10. Esteves Oliveira M, Wehner M, Silva M, de Paula Eduardo C, Dohrn A, Meyer-Lückel H, et al. Surface Characterization and Short-term Adhesion to Zirconia after Ultra-short Pulsed Laser Irradiation. *The journal of adhesive dentistry*. 2017;18(6):1–10;
  11. Abu Ruja M, de Souza GM, Finer Y. Ultrashort-pulse laser as a surface treatment for bonding between zirconia and resin cement. *Dental Materials* [Internet]. 2019;35(11):1545–56;
  12. Akpınar YZ, Kepceoglu A, Yavuz T, Aslan MA, Demirtaş Z, Kılıç HS, et al. Effect of femtosecond laser beam angle on bond strength of zirconia-resin cement. *Lasers in Medical Science*. 2015;30(8):2123–8;
  13. Khan AA, al Kheraif AAA, Jamaluddin S, Elsharawy M, Divakar DD. Recent Trends in Surface Treatment Methods for Bonding Composite Cement to Zirconia: A Review. *The journal of adhesive dentistry* [Internet]. 2017;19(1):7–19;
  14. Ahn JS, Yi YA, Lee Y, Seo DG. Shear Bond Strength of MDP-Containing Self-Adhesive Resin Cement and Y-TZP Ceramics: Effect of Phosphate Monomer-Containing Primers. *BioMed Research International*. 2015; 2015:9–11;
  15. Grasel R, Santos MJ, Rêgo HMC, Rippe MP, Valandro LF. Effect of resin luting systems and alumina particle air abrasion on bond strength to zirconia. *Operative Dentistry*. 2018;43(3):282–90;
  16. Campos TMB, Ramos NC, MacHado JPB, Bottino MA, Souza ROA, Melo RM. A new silica-infiltrated Y-TZP obtained by the sol-gel method. *Journal of Dentistry* [Internet]. 2016; 48:55–61;
  17. Pilo R, Kaitsas V, Zinelis S, Eliades G. Interaction of zirconia primers with yttria-stabilized zirconia surfaces. *Dental Materials* [Internet]. 2016;32(3):353–62;
  18. Yang L, Chen B, Xie H, Chen Y, Chen Y, Chen C. Durability of resin bonding to zirconia using products containing 10-methacryloyloxydecyl dihydrogen phosphate. *Journal of Adhesive Dentistry*. 2018;20(4):279–87.

19. Hallmann L, Ulmer P, Lehmann F, Wille S, Polonskyi O, Johannes M, et al. Effect of surface modifications on the bond strength of zirconia ceramic with resin cement resin. *Dental Materials* [Internet]. 2016;32(5):631–9;
20. Hallmann L, Ulmer P, Wille S, Polonskyi O, Köbel S, Trottenberg T, et al. Effect of surface treatments on the properties and morphological change of dental zirconia. *Journal of Prosthetic Dentistry* [Internet]. 2016;115(3):341–9;
21. de Mello CC, Bitencourt SB, dos Santos DM, Pesqueira AA, Pellizzer EP, Goiato MC. The Effect of Surface Treatment on Shear Bond Strength between Y-TZP and Veneer Ceramic: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Journal of Prosthodontics*. 2018;27(7):624–35;
22. Ruales-Carrera E, Cesar PF, Henriques B, Fredel MC, Özcan M, Volpato CAM. Adhesion behavior of conventional and high-translucent zirconia: Effect of surface conditioning methods and aging using an experimental methodology. *Journal of Esthetic and Restorative Dentistry*. 2019;31(4):388–97;
23. Omidi BR, Yeganeh PK, Oveisi S, Farahmandpour N, Nouri F. Comparison of micro-shear bond strength of resin cement to zirconia with different surface treatments using Universal Adhesive and zirconia primer. *Journal of Lasers in Medical Sciences* [Internet]. 2018;9(3):200–6;
24. Wandscher VF, Fraga S, Pozzobon JL, Soares FZM, Foletto EL, May LG, et al. Tribochemical glass ceramic coating as a new approach for resin adhesion to zirconia. *Journal of Adhesive Dentistry*. 2016;18(5):435–40;
25. Lima RBW, Barreto SC, Hajhamid B, de Souza GM, de Goes MF. Effect of cleaning protocol on silica deposition and silica-mediated bonding to Y-TZP. *Dental Materials*. 2019;35(11):1603–13;
26. Rona N, Yenisey M, Kucukturk G, Gurun H, Cogun C, Esen Z. Effect of electrical discharge machining on dental Y-TZP ceramic-resin bonding. *Journal of Prosthodontic Research* [Internet]. 2017;61(2):158–67;
27. Souza R, Barbosa F, Araújo G, Miyashita E, Bottino MA, Melo R, et al. Ultrathin monolithic zirconia veneers: Reality or future? report of a clinical case and one-year follow-up. *Operative Dentistry*. 2018;43(1):3–11.
28. Unal SM, Nigiz R, Polat ZS, Usumez A. Effect of ultrashort pulsed laser on bond strength of Y-TZP zirconia ceramic to tooth surfaces. *Dental Materials Journal*. 2015;34(3):351–7;

29. Xie H, Shen S, Qian M, Zhang F, Chen C, Tay FR. Effects of acid treatment on dental zirconia: An in vitro study. *PLoS ONE*. 2015;10(8):1–12;
30. Druck CC, Pozzobon JL, Callegari GL, Dorneles LS, Valandro LF. Adhesion to Y-TZP ceramic: Study of silica nanofilm coating on the surface of Y-TZP. *Journal of Biomedical Materials Research - Part B Applied Biomaterials*. 2015;103(1):143–50;
31. Moezzizadeh M, Nojehdehian H, Valizadeh Haghi H. Effect of bioglass and silica coating of zirconia substrate on its bond strength to resin cement. *Dental Materials Journal*. 2017;36(1):54–62;
32. Kim DS, Ahn JJ, Bae E bin, Kim GC, Jeong CM, Huh JB, et al. Influence of non-thermal atmospheric pressure plasma treatment on shear bond strength between Y-TZP and self-adhesive resin cement. *Materials*. 2019;12(20);
33. Unal. The Effect of Ytterbium-Doped Fiber Laser with Different Parameters on Physical Properties of Zirconia Surface. 2016; XX(Xx):1–7;
34. Kasraei S, Rezaei-Soufi L, Yarmohamadi E, Shabani A. Effect of CO2 and Nd: YAG Lasers on Shear Bond Strength of Resin Cement to Zirconia Ceramic. *Journal of dentistry (Tehran, Iran) [Internet]*. 2015;12(9):686–94;
35. Akhavan Zanjani V, Ahmadi H, Nateghifard A, Ghasemi A, Torabzadeh H, Abdoh Tabrizi M, et al. Effect of different laser surface treatment on microshear bond strength between zirconia ceramic and resin cement. *Journal of investigative and clinical dentistry*. 2015;6(4):294–300;
36. Zeidan LC, Esteves CM, Oliveira JA, Brugnera A, Cassoni A, Rodrigues JA. Effect of different power settings of Er, Cr:YSGG laser before or after tribosilicatization on the microshear bond strength between zirconia and two types of cements. *Lasers in Medical Science*. 2018;33(2):233–40;
37. Vechiato-Filho AJ, Matos AO, Landers R, Goiato MC, Rangel EC, de Souza GM, et al. Surface analysis and shear bond strength of zirconia on resin cements after non-thermal plasma treatment and/or primer application for metallic alloys. *Materials Science and Engineering C [Internet]*. 2017; 72:284–92;
38. Lim M-J, Yu M-K, Lee K-W. The effect of continuous application of MDP-containing primer and luting resin cement on bond strength to tribochemical silica-coated Y-TZP. *Restorative Dentistry & Endodontics*. 2018;43(2):1–10;

39. Arai M, Takagaki T, Takahashi A, Tagami J. The role of functional phosphoric acid ester monomers in the surface treatment of yttria-stabilized tetragonal zirconia polycrystals. *Dental Materials Journal*. 2017;36(2):190–4;
40. Moura DMD, do Nascimento Januário AB, de Araújo AMM, de Oliveira Dal Piva AM, Özcan M, Bottino MA, et al. Effect of primer-cement systems with different functional phosphate monomers on the adhesion of zirconia to dentin. *Journal of the Mechanical Behavior of Biomedical Materials* [Internet]. 2018; 88:69–77;
41. Chuang SF, Kang LL, Liu YC, Lin JC, Wang CC, Chen HM, et al. Effects of silane- and MDP-based primers application orders on zirconia–resin adhesion—A ToF-SIMS study. *Dental Materials* [Internet]. 2017;33(8):923–33;
42. Lima RBW, Barreto SC, Alfrisany NM, Porto TS, de Souza GM, de Goes MF. Effect of silane and MDP-based primers on physico-chemical properties of zirconia and its bond strength to resin cement. *Dental Materials*. 2019;35(11):1557–67.