UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
FACULDADE DE ODONTOLOGIA DE BAURU

MARTA SANTOS OLIVEIRA DE VALENTE

Resistência de união de zircônia monolítica irradiada com laser de diodo em alta potência

BAURU
2021

MARTA SANTOS OLIVEIRA DE VALENTE

Resistência de união de zircônia monolítica irradiada com laser de diodo em alta potência

Dissertação apresentada à Faculdade de Odontologia de Bauru da Universidade de São Paulo para obtenção do título de Mestre em Ciências no Programa de Ciências Odontológicas Aplicadas, na área de concentração Dentística.

Orientador: Prof. Dr. Sergio Kiyoshi Ishikiriama

BAURU
2021

Valente, M. S. O.

Resistência de união de zircônia monolítica irradiada com laser de diodo em alta potência / Marta Santos Oliveira de Valente - Bauru, 2021

63 p.: il. ; 31 cm.

Dissertação (mestrado) - Faculdade de Odontologia de Bauru, Universidade de São Paulo, ano de defesa.

Orientador: Prof. Dr. Sergio Kiyoshi Ishikiriama

Autorizo, exclusivamente para fins acadêmicos e científicos, a reprodução total ou parcial desta dissertação/tese, por processos fotocopiadores e outros meios eletrônicos.

Assinatura:

Comitê de Ética da FOB-USP

Protocolo nº:

ERRATA

FOLHA DE APROVAÇÃO

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho primeiramente a Deus, por ter me iluminado em mais uma jornada e, finalmente por ser essencial em minha vida, autor de meu destino, meu guia, socorro presente na hora da angústia.

Ao meu marido que, com muito carinho e apoio, não mediu esforços para que eu chegasse até esta etapa de minha vida.

AGRADECIMENTOS

Nestes dois anos de mestrado, de muita força, estudo e empenho, a presente dissertação de mestrado não poderia ter alcançado êxito sem o precioso apoio de várias pessoas. Gostaria de agradecer a algumas pessoas que me acompanharam e foram fundamentais para a realização de mais este sonho. Por isso, expresso aqui, através de palavras sinceras, um pouquinho da importância que eles tiveram, e ainda tem, nesta conquista e a minha sincera gratidão.

À Deus. Sem ele nada seria possível.

Aos meus pais, pilares da minha formação como ser humano.

Ao meu marido Andres Valente pelo apoio incondicional oferecido em todos os aspectos. Muito obrigado pela sua presença em minha vida meu amor."

Ao meu orientador, Prof. Dr. Sergio Kiyoshi Ishikiriama, cuja dedicação e paciência serviram como pilares de sustentação para a conclusão deste trabalho. Fonte inesgotável de conhecimento e humildade. Professor que participou em todas as etapas desta pesquisa, desde a germinação das ideias assim como durante todo o processo de desenvolvimento deste presente trabalho. Solicitei a sua ajuda inúmeras vezes, e em todas fui atendida com paciência e tranquilidade sempre com uma presença cheia de otimismo. Serei eternamente grata por toda ajuda durante a realização deste projeto, as indicações, as dicas, correções, incentivo e constante motivação ao longo de todo o projeto. Professor, sua motivação foi essencial! Tudo isto compôs uma somatória fundamental não só para a construção do pensamento que se traduz nas páginas deste longo texto hoje entregue, mas como para a maturidade de toda uma vida a seguir. Professor Sergio, você foi muito mais que um professor, foi um grande amigo.

Aos professores do Mestrado, em especial aos Professores. Dr. Marco Antônio Húngaro Duarte, que no brindou auxílio com a análise estatística, Prof. Dr. Adilson Yoshio Furuse, que, gentilmente nos cedeu todos os blocos de zircônia utilizados na pesquisa, Prof. Dr. Rafael Francisco Lia Mondelli e Prof.ª Dr.ª Juliana Fraga Soares Bombonatti.

De forma singela, eu gostaria de deixar registrado minha eterna gratidão por todo conhecimento transmitido durante o curso de Mestrado, conhecimentos estes, que, em muitas das vezes, transcenderam os limites da Universidade, seja durante as disciplinas que cursamos, os seminários e palestras que assistimos ou mesmo nas conversas pelos corredores da Faculdade.

À professora, Prof. Dr. Juliana Fraga Soares Bombonatti, pessoa admirável e um grande exemplo de dedicação que me inspira por toda o seu conhecimento e sutileza não só nos conhecimentos dentro da odontologia, mas principalmente nas relações humanas sempre com calma, respeito e atenção. Sempre foi um grande exemplo para mim.

A professora Regina Guenka Palma-Dibb, da Faculdade de Odontologia de Ribeirão Preto (FORP), pelo acolhimento, amabilidade e brilhantes dicas e considerações que guiaram o delineamento deste trabalho.

Aos companheiros de curso/Mestrado. No convívio em clínica, nos grupos de estudo, nos debates, conversas e calorosas discussões, em suma, dentro do cotidiano da vida acadêmica durante os dois anos em que estivemos frequentando esta instituição.

À minha amiga Isabel, que nunca se negou a compartilhar comigo seus conhecimentos tanto da área de prótese e reabilitação quanto de informática. Isso fez toda a diferença. Pessoa iluminada, e prova de que Deus coloca anjos em nosso caminho. Um grande exemplo de amizade. Obrigada por me oferecer um ombro amigo sempre que precisei.

Aos amigos doutorandos, em especial aos pós-graduandos Camila, Alyssa e Naoki por sempre estarem disponíveis para as minhas dúvidas e questões. Sem palavras para agradecer o quão importantes vocês foram nestes dois anos de trajetória do mestrado. Grata.”

Aos funcionários do departamento de Dentística Rita, Elísio e Audria. Muito obrigada por toda atenção e paciência.

Ao bibliotecário José Roberto Plácido Amadei por ser tão amável, atencioso e incansável em ajudar com toda a normatização que envolve um trabalho de dissertação.

Aos funcionários da biblioteca da Faculdade de odontologia de Bauru (FOB-USP), que foram sempre atenciosos e prestáveis.

A Faculdade de Odontologia de Bauru da Universidade de São Paulo (FOB-USP).

A Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), órgão de fomento de meu mestrado. Sem a bolsa não teria sido possível o desenvolvimento do trabalho. “O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001”

A todos que, de uma forma ou de outra, contribuíram para a realização deste trabalho e me ajudaram a chegar até aqui. Muito obrigada!

“Quanto mais aumenta nosso conhecimento, mais evidente fica nossa ignorância”.

John F. Kennedy

RESUMO

Na atualidade existe uma grande quantidade de estudos concentrados no desenvolvimento de estratégias para se obter uma adesão adequada em materiais à base de zircônia. Dentre as estratégias encontradas na literatura destaca-se a irradiação com diferentes tipos de laser utilizados na odontologia. O objetivo deste estudo foi avaliar o efeito da irradiação com laser de Diodo - 980nm (DenLase – 980/7, China Daheng Group, Beijing, China) sobre uma cerâmica de zircônia (Y-TZP), na resistência de união aferida por meio de microcisalhamento. Análise visual dos espécimes irradiados também foi realizada em microscopia eletrônica de varredura (MEV). Foram confeccionados 30 espécimes obtidos a partir de fatias de blocos de zircônia para CAD/CAM (1,5 x 1,8), que após a sinterização receberam os quatro tratamentos propostos em cada quadrante (n=30): **Grupo C:** controle, somente adesivo polimerizado (Clearfil SE Bond, Kuraray, Japão); **Grupo AL**: irradiação com laser após a aplicação do adesivo; **Grupo LA:** irradiação com laser antes da aplicação do adesivo; **Grupo LAL:** irradiação antes e após a aplicação do adesivo. O laser de diodo foi irradiado (5W, modo contínuo, densidade de energia 312,5 J/cm^2) sobre os diferentes quadrantes com movimentos de zig-zag padronizados e controlados. Após a fotopolimerização do adesivo, pinos de resina flow foram aderidos sobre os diferentes quadrantes e os espécimes, após armazenamento em água por 7 dias, foram submetidos ao teste de microcisalhamento (Instron 3342) com velocidade de 0.5mm/min. Os dados foram avaliados utilizando os testes de Kruskal-Wallis e Dunn's para as comparações individuais. Os valores de resistência de união (Mpa) e desvio padrão para todos os grupos foram: Grupo C: (21,34 $\pm$ 9,82)a, Grupo AL: 20,72 $\pm$ (12,08)ab, Grupo: LA 11,92 $\pm$ (7,48)b, Grupo LAL: (14,26 $\pm$11,12)b. Os grupos irradiados com laser de diodo antes da aplicação do adesivo (LA e LAL) apresentaram quedas significativas nos valores de resistência de união quando comparado ao grupo controle sem irradiação e grupo com irradiação somente após a aplicação do adesivo. A irradiação após a aplicação do adesivo somente não apresentou diferenças significantes em relação ao grupo controle. Na análise visual foi possível verificar a formação de microtrincas nas superfícies irradiadas previamente a aplicação do adesivo. Nos parâmetros utilizados neste estudo, o laser de diodo promoveu queda significante na resistência de união sobre a zircônia.

Palavras chave: Lasers Semicondutores, Zircônio, Cerâmica, Resistência de união.

ABSTRACT

bond strength of monolithic zirconia irradiated with a high-power diode laser

Currently, there is a large number of studies focused on the development of strategies to obtain adequate adhesion in zirconia-based materials. Among the strategies found in the literature, irradiation with different types of lasers used in dentistry stands out. The aim of this study was to evaluate the effect of irradiation with a Diode laser - 980nm (DenLase - 980/7, China Daheng Group, Beijing, China) on a zirconia ceramic (Y-TZP), on the bond strength measured by micro shear test. Visual analysis of the irradiated specimens was also performed in scanning electron microscopy (SEM). Thirty specimens were made from slices of zirconia blocks for CAD/CAM (1.5 x 1.8), which after sintering received the four treatments proposed in each quadrant (n=30): Group C: control, only polymerized adhesive (Clearfil SE Bond, Kuraray, Japan); Group AL: laser irradiation after adhesive application; Group LA: laser irradiation before adhesive application; Group LAL: irradiation before and after adhesive application. The diode laser was irradiated (5W, continuous mode, energy density 312.5 J/cm2) over the different quadrants with standardized and controlled zig-zag movements. After light-curing of the adhesive, flow resin pins were bonded on the different quadrants and the specimens, after storage in water for 7 days, were subjected to micro shear test (Instron 3342) at a speed of 0.5 mm/min. The data were evaluated using Kruskal-Wallis and Dunn's tests for individual comparisons. The bond strength values (Mpa) and standard deviation for all groups were: Group C: (21.34 + 9.82)a, Group AL: 20.72 + (12.08)ab, Group: LA 11.92 + (7.48)b, Group LAL: (14.26 +11.12)b. The groups irradiated with diode laser before the application of adhesive (LA and LAL) showed significant decreases in bond strength values when compared to the control group without irradiation and the group with irradiation only after adhesive application. The irradiation after the application of the adhesive only did not present significant differences in relation to the control group. In the visual analysis it was possible to verify the formation of micro cracks on the irradiated surfaces prior to the application of the adhesive. In the parameters used in this study, the diode laser promoted a significant decrease in bond strength on zirconia.

Keywords: Semiconductor lasers, Zirconia, Ceramic, Bond strength.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

FIGURAS

Figura 1 - (A) bloco de zircônia IPS e.max ZirCAD; (B) Bloco de zircônia posicionado na máquina de cortes para obtenção das fatias.. 37

Figura 2 - (A) Espécime de zircônia fixado em matriz acrílica circular; (B) Dispositivo para fixação das matrizes para permitir o polimento com pressão controlada; (C) Detalhe da matriz posicionada com o espécime voltado para o disco de lixa..... 38

Figura 3 - (A) Forno Programat S1 para sinterização da zircônia; (B) Em detalhe o painel de controle da máquina utilizada para sinterização dos espécimes 39

Figura 4 - (A) Espécime de zircônia centralizado dentro do tudo de PVC; (B) Aspecto após o preenchimento completo do conjunto com resina acrílica..... 39

Figura 5 - espécime dividido em 4 quadrantes iguais (48mm^2) para conter os 4 grupos em estudo..... 40

Figura 6 - A) Laser de diodo DenLase utilizado no estudo; (B) detalhe da unidade controladora aonde é possível a configuração dos parâmetros de irradiação..... 41

Figura 7 - (A) Corante pó de carvão mineral; (B) mistura do corante com água; (C) Corante aplicado na metade inferior do espécime.... 42

Figura 8 - Irradiação sobre corante provoca diminuição da intensidade da pigmentação..... 42

Figura 9 - (A) Irradiação prévia da metade inferior do espécime; (B) Aplicação do adesivo Clearfil sobre todo o espécime; (C)Irradiação da metade direita do espécime; (D) Grupos estabelecidos após a fotoativação do adesivo..... 43

Figura 10 - (A) mesa padronizadora XY; (B) Detalhe da fibra ótica posicionada sobre o espécime fixado na mesa inferior com cera; (C) detalhe do programa de controle da mesa XY para padronização/controle da irradiação..... 44

Figura 11 - (A) tubos de amido cortados; (B) tubos centralizados no centro de cada quadrante; (C) esquema da matriz de cartolina sobre o espécime permitindo a fotoativação individual de cada cilindro de resina fluida..... 45

Figura 12 - (A) Máquina de ensaios Instron 3342; (B) espécime posicionado na matriz, com a alça metálica apoiada na base do cilindro de resina fluida..... 46

Figura 13 - (A) espécime após irradiação sobre o corante; (B) aspecto do espécime irradiado em MEV; (C) Maior aumento com visualização de trincas no material..... 49

SUMÁRIO

1. *INTRODUÇÃO* 17
2. *REVISÃO DE LITERATURA*..... 22
3. *PROPOSIÇÃO*..... 36
4. *MATERIAIS E MÉTODOS* 37
4.1. *DELINEAMENTO EXPERIMENTAL* 37
4.2. *CONFECÇÃO DOS ESPÉCIMES* 37
4.3. *TRATAMENTOS / GRUPOS* 40
4.4. *TESTE DE MICROCISALHAMENTO* 46
4.5. *DELINEAMENTO ESTATÍSTICO* 47
4.6. *ANÁLISE DE FRATURA* 47
5. *RESULTADOS* 48
6. *DICUSSÃO AMPLIADA E FUNDAMENTADA* 50
7. *CONCLUSÕES* 58
8. *REFERÊNCIAS* 59

1 - INTRODUÇÃO

As porcelanas odontológicas apresentam estética espetacular, no entanto, somente a estética não é suficiente para utilizá-la como material restaurador em um ambiente tão inóspito como é a cavidade oral. Segundo Mackert, Butts, Fairhurst, (1986), as porcelanas apresentam como características importantes, além da sua altíssima capacidade de mimetizar a estrutura dentária: biocompatibilidade, baixíssima condutividade térmica e alta resistência a manchamentos. Por outro lado, as porcelanas odontológicas são extremamente friáveis frente à tensão de tração, sendo assim conhecidas por apresentar grande fragilidade e tendência à fratura quando submetidos à esta tensão.

Com o passar do tempo houve um grande avanço da tecnologia e engenharia de materiais, em especial nos anos 90 com o sistema CAD-CAM, o que impulsionou um grande avanço na área de materiais cerâmicos onde foi possível desenvolver matérias que apresentam altíssima resistência a ponto de poderem ser utilizados em áreas de grande esforços mastigatórios sem que haja a necessidade de utilizar uma infraestrutura metálica, visto que parte do conteúdo vítreo das cerâmicas passou a ser substituído por partículas de reforço como a leucita, dissilicato de lítio, oxido de alumínio e zircônio. Como a resistência aumentou consideravelmente, as mesmas passaram a ter resistência suficiente para ser utilizadas nos sistemas de usinagem CAD/CAM. Dentre as estratégias para aumento da resistência destacam-se as cerâmicas a base de zircônia que apresentam a resistência mais alta dentre as cerâmicas reforçadas, entretanto, devido ao seu conteúdo altamente cristalino, apresenta como maior desvantagem a baixa adesão aos cimentos resinosos. (ZHANG et al., 2014).

A zircônia é um material extremamente resistente quando comparado às outras “famílias” de cerâmica odontológica e por esse motivo tem despertado muito interesse tanto por parte de pesquisadores quanto de profissionais de diferentes áreas. Apesar do comportamento favorável da zircônia, assim como todos os materiais cerâmicos, a mesma apresenta vantagens que são relacionadas principalmente à resistência do material, mas também apresenta duas grandes desvantagens limitantes para seu uso na cavidade oral que são relacionadas à estética e ao processo de adesão.

A alta opacidade proveniente das zircônias de primeira geração devido à grande quantidade de material cristalino impossibilitava a indicação da zircônia em áreas estéticas, restringindo sua indicação como material de infraestrutura, que por sua vez, recebia uma cerâmica vítrea com maior translucidez para que o elemento em questão assumisse o matiz, translucidez e forma final do dente natural.

Devido ao comportamento promissor deste material surgiram as zircônias de terceira e quarta geração que ampliaram o uso para a confecção de restaurações submetidas à alta concentração de tensões, sendo elas estéticas ou não. Atualmente podemos dizer que os problemas relacionados a estética foram contornados, podendo-se afirmar que a zircônia apresenta estética, excelentes propriedades mecânicas, biocompatibilidade, elevada resistência à fratura além de baixo módulo de elasticidade (DELLA BONA, 2009; SHIN et al., 2014). No entanto, apesar de toda essa evolução da zircônia com relação às suas propriedades físicas e dos problemas relacionados a estética terem sido contornados, a zircônia ainda apresenta uma limitação extremamente importante que é relacionada ao processo de adesão.

O material para ser utilizado como material restaurador idealmente deve ter a capacidade de se aderir à estrutura dentária. A cimentação convencional por meio do fosfato de zinco não promove adesão e a união da peça com o substrato dentário neste sistema se dá por meio de imbricamento mecânico. A cimentação por meio dos materiais adesivos deve ser preferencial pois melhora a adaptação marginal dificultando o desenvolvimento de microinfiltrações, e eleva a resistência à fratura do dente e da restauração, prolongando sobremaneira a longevidade do conjunto (CASUCCI et al., 2012; ERDEM, AKAR, KOSE, 2014).

As técnicas de cimentação para as cerâmicas que apresentam sílica como parte de sua microestrutura, como por exemplo as Feldspáticas, cerâmicas à base de Dissilicato de Lítio e Leucita já estão estabelecidas e protocoladas, visto que estes materiais apresentam grande quantidade de fase vítrea. A porção vítrea representada pela sílica, entre outros vidros presentes, é passível de ser condicionada (ácido sensível) por meio do tratamento prévio com ácido fluorídrico que irá resultar na criação de microporosidades e o agente bifuncional Silano irá estabelecer a união química entre a porção inorgânica da cerâmica e o cimento resinoso, que por sua vez adere-se à estrutura dentária via camada híbrida, promovendo assim a união

efetiva entre peça protética e substrato dentário (DE MELO, VALANDRO, BOTTINO, 2007; SHIN et al., 2014;). Por outro lado, este processo adesivo não ocorre com as cerâmicas policristalinas como por exemplo as cerâmicas a base de oxido de zircônia e alumínio, visto que estes materiais apresentam quantidades insignificantes de fase vítrea em sua composição (DÉRAND, DÉRAND, 2000; BOTTINO et al., 2005; SHIN et al., 2014).

Na atualidade existem muitos estudos voltados para o desenvolvimento de estratégias para se obter uma adequada cimentação adesiva de materiais à base de zircônia (ácido resistente), pois ainda não existe um consenso na literatura com relação à técnica ideal. Dentre as estratégias relatadas por alguns estudos destacam-se: abrasão à ar por meio de jateamento com partículas de oxido de alumínio (Al2 O3), Silicatização (cobertura triboquímica com sílica) (ARAMI et al., 2014; KASRAEI et al., 2015; AKIN et al., 2015; LIU et al., 2015; AKHAVAN et al., 2015; YENISEY, DEDE, RONA, 2016; ZANATTA et al 2017; GARCÍA-SANZ et al., 2018; SCAMINACI et al., 2019) e irradiação com alguns tipos de laser em regime de alta potência, sendo eles: Er:YAG, Nd:YAG e CO2 (KASRAEI et al., 2014; ARAMI et al., 2014; AKIN et al., 2015; KASRAEI et al., 2015; ZANATTA et al 2017).

As técnicas que envolvem fluxo de ar visam alterar a superfície da zircônia por meio de jateamento com diferentes partículas. As partículas mais comuns são de Al_2O_3 e Al_2O_3 impregnado por sílica e o jateamento em alta pressão visam aumentar a rugosidade topográfica e melhorar a capacidade de molhamento por meio do aumento da energia livre de superfície do material. O resultado da ação provocada pelo jateamento, seja por partículas de Al_2O_3, seja por meio da impregnação de sílica ao substrato (silicatização) visa a obtenção de retenção micromecânica mais eficiente entre agente cimentante e substrato dentário (ABOUSHELIB, 2012; SHIN et al., 2014; YI et al., 2015; AHN et al. 2015).

Por outro lado, alguns estudos afirmam que o processo de jateamento pode gerar impactos que podem induzir a formação de defeitos indesejáveis na estrutura da cerâmica, os quais podem ser responsáveis pela falha do material a longo prazo. Assim, visando buscar outras alternativas para melhorar a adesão a zircônia com métodos não relacionados a jateamentos, alguns autores propuseram a irradiação com Laser em alta potência por envolver um método não invasivo sem contato e, portanto, sem impactos (KASRAEI et al., 2014; ARAMI et al., 2014; KASRAEI et al., 2015; AKIN et al., 2015; ZANATTA et al 2017).

A irradiação com laser de alta potência na superfície da cerâmica não condicionável visa modificar a topografia com aumento da rugosidade e consequentemente aumento da retenção do agente cimentante. A transformação de energia luminosa em calor é o que se entende sendo um dos princípios das ações dos lasers, e é por meio deste calor produzido que se torna possível a modificação da morfologia topográfica de um tecido, estrutura ou material. O principal fator que diferencia os diferentes tipos de laser é o comprimento de onda específico que cada um apresenta, visto que cada comprimento de onda reage de maneira diferente com cada estrutura ou tecido irradiado. Assim sendo, diferentes tipos e potências destes lasers tem sido sugerido na literatura para uso odontológico, sendo eles: Er:YAG, Nd:YAG, CO_2 e Diodo (GUTKNECHT, EDUARDO, 2004; PINHEIRO, LUNIOR, ZANIN, 2010).

Diferentes tipos de lasers de alta potência foram utilizados por diferentes estudos na tentativa de melhorar o processo adesivo sobre a zircônia. (KASRAEI et al., 2014; ARAMI et al., 2014; AKIN et al., 2015; KASRAEI et al, 2015; ZANATTA et al 2017). No entanto, apesar do sucesso alcançado com os lasers em diversos tratamentos, na área de materiais, a literatura carece de trabalhos que visem, “de fato”, estabelecê-los como promotores de adesão, visto que o aparecimento de microfendas inerentes ao alto e imediato aquecimento e subsequente resfriamento tem sido associados a irradiação, podendo repercutir negativamente sobre as propriedades mecânicas da zircônia. (ERSU et al, 2009; ARAMI et al., 2014; LIU et al., 2015; YENISEY, DEDE, RONA, 2016; MAHMOODI et al., 2016).

Assim sendo, ainda não existe um consenso explicitando o melhor parâmetros e mecanismo de ação de como os lasers conseguem melhorar a resistência de união sem comprometer, significativamente, as propriedades do material. (AKIN et al., 2015; LIU et al., 2015; PEREIRA et al., 2020).

Por outro lado, o laser de diodo tem sido amplamente comercializado por apresentar diferentes possibilidades de uso intraoral nos diferentes comprimentos de onda disponibilizados pelo aparelho que vão desde 800nm até 980nm. Devido ao pequeno tamanho e baixo custo de um semicondutor, têm se tornado cada vez mais comum o uso destes aparelhos na clínica diária principalmente em procedimentos que requerem como resposta: hemostasia, reparo tecidual, analgesia e redução de edema.

Como o laser de diodo apresenta comprimento de onda muito próximo ao laser de Nd:YAG, e resultados promissores foram encontrados por este tipo de laser, o objetivo deste trabalho foi avaliar o efeito da irradiação com laser de Diodo sobre uma cerâmica Y-TZP, na resistência de união com o cimento resinoso.

2 - REVISÃO DE LITERATURA

A cerâmica de zircônio (ZrO_2) desde o seu descobrimento, em 1789, tem sido alvo de grandes investigações sendo, atualmente, o material cerâmico mais estudado. De acordo com Akin et al. (2015), os núcleos de preenchimento foram os grandes responsáveis pela introdução da zircônia na odontologia restauradora, com vantagens excepcionais quando comparado aos outros materiais utilizados para a mesma finalidade na época.

O dióxido de zircônio é um material inerte e extremamente interessante. É conhecido por sua característica de polimorfismo, sendo sua apresentação na natureza representada pelas formas alotrópicas “Monoclínica”, cuja estabilidade é alcançada à partir da temperatura ambiente até 1170 °C, “Tetragonal”, cuja estabilidade é alcançada à partir de 1170 °C até no máximo 2370 °C, e por último, a fase cúbica é alcançada quando a temperatura ultrapassa os 2370 °C (KASRAEI et al., 2014; AKHAVAN et al., 2015); YENISEY , DEDE, RONA., 2016; SCAMINACI et al. 2019; PEREIRA, et al., 2020).

Diversos estudos afirmam que a “fase” ou “forma alotrópica” mais resistente é a tetragonal, porém, a literatura é unanime em afirmar que esta fase não é estável a temperatura ambiente. Assim foi necessária a inserção de agentes estabilizantes, como por exemplo o Óxido de Cério (CeO_2) e Óxido de Ítrio (Y_2O_3), entre outros óxidos capazes de estabilizar a zircônia na forma tetragonal em temperatura ambiente. Tal processo de estabilização é conhecido por induzir expansão dos grãos de zircônia em aproximadamente 3 a 5 % do seu tamanho original, conduzindo a uma discreta pressão compressiva sobre os grãos circunjacentes.

Devido ao alto conteúdo cristalino, as cerâmicas Y-TZP (yttrium-stabilized tetragonal zirconia polycrystal) apresentam excelentes propriedades físicas e mecânicas para serem utilizadas em áreas de grande esforço mastigatório, com destaque para alta resistência à flexão (700-1200 MPa), alta resistência à fratura (900 - 1200 MPa), estabilidade química e biocompatibilidade, sendo denominado por alguns autores como “aço cerâmico”(KASRAEI et al., 2014; ARAMI et al., 2014; KASRAEI et al., 2015; YENISEY, DEDE, RONA., 2016; MAHMOODI.,2016; ZANATTA et al 2017; PEREIRA et al., 2020).

Para Scaminaci et al., (2019), a superioridade das propriedades mecânicas da zircônia quando comparadas aos outros materiais cerâmicos permitiu a confecção de restaurações monolíticas em espessuras menores do que as realizadas por meio de outros materiais cerâmicos, sem comprometimento das propriedades mecânicas e favorecendo preparações mais conservadoras.

Para os procedimentos indiretos, o imbricamento micromecânico em conjunto com a adesão química promovida entre os constituintes do cimento resinoso e material cerâmico são os meios pelo qual se torna possível produzir restaurações estáveis e duradouras ao longo do tempo (KASRAEI et al., 2014; ARAMI et al., 2014; KASRAEI et al 2015; YENISEY, DEDE, RONA., 2016; MAHMOODI et al.,2016; ZANATTA et al 2017; GARCÍA-SANZ et al., 2018).

O ácido hidrofluorídrico em conjunto com a aplicação do agente Silano são conhecidos na literatura pela capacidade de promover união micromecânica estável e efetiva entre cerâmicas vítreas e agente cimentante. Este ácido, a uma concentração de 10%, atua por meio de condicionamento seletivo das cerâmicas que apresentam como base a sílica, ou também conhecidas como cerâmicas com alto conteúdo vítreo. Este protocolo já está estabelecido na literatura como estável e efetivo, promotor do aumento dos valores de resistência de união entre cerâmicas vítreas e agente cimentante, e capaz de aprimorar as propriedades físicas e mecânicas como um todo (GARCÍA-SANZ *et al*., 2018).

No entanto, devido ao fato das cerâmicas de zircônia serem formadas quase que totalmente por material cristalino, constitui-se um verdadeiro desafio para fabricantes e pesquisadores estabelecerem um protocolo clínico de cimentação capaz de promover interação efetiva entre cimento e matriz policristalina (SCAMINACI et al., 2019).

De acordo com Scaminaci et al., (2019), a união estabelecida entre partículas de sílica e o agente silano nas cerâmicas com matriz vítrea é menos susceptível à ruptura da ligação por hidrólise do que a ligação entre o oxido de zircônio e o agente bifuncional 10-MDP. O método de condicionamento seletivo promovido pelo ácido hidrofluorídrico à 10% nas cerâmicas vítreas é completamente ineficaz na promoção de adesão e aumento da resistência de união em materiais que apresentam alto conteúdo cristalino, como é o caso da zircônia. A resistência ao condicionamento acontece porque a composição,

assim como propriedades físicas dos materiais com alto conteúdo cristalino, difere substancialmente das cerâmicas com alto conteúdo vítreo. A grande quantidade de cristais disposto na matriz faz com que esta estrutura seja resistente a ação do ácido hidrofluorídrico, já que é sobre a fase vítrea que o ácido hidrofluorídrico exerce sua função de remoção seletiva (ATSU et al., 2006; KASRAEI et al., 2014; ARAMI et al., 2014; AKIN et al., 2015; KASRAEI., 2015; Liu et al., 2015; AKHAVAN et al., 2015; YENISEY, DEDE, RONA., 2016; MAHMOODI et al.,2016; ZANATTA et al., 2017; GARCÍA-SANZ et al., 2018).

Assim, nas cerâmicas a base de zircônia foi e continua sendo preconizada por fabricantes a técnica convencional de cimentação com intuito de conseguir fixação justaposta entre peça protética e substrato dentário, também referida por diversos autores como imbricamento micromecânico (KASRAEI et al., 2014; ARAMI et al., 2014; KASRAEI et al, 2015; YENISEY, DEDE, RONA, 2016; MAHMOODI et al., 2016; ZANATTA et al., 2017).

Os materiais a base de cimento de ionômero de vidro (CIV) são indicados para cimentação devido a interação química que o cimento CIV é capaz de estabelecer, sendo o CIV modificado por resina a melhor opção quando comparado ao CIV tradicional (TURKER et al., 2013;YANG et al., 2018). No entanto, os CIVs são materiais altamente solúveis em meio aquoso, o que prejudica muito sua estabilidade a longo prazo.

Dentre os cimentos resinosos, há possibilidades de cimentação tanto com cimentos adesivos tradicionais quanto cimentos autoadesivos (SCAMINACI et al., 2019). Em ambas situações, os autores relatam superioridade na resistência de união produzida sempre quando se utiliza estratégias de tratamento de superfície e uso concomitante de promotores de união química previamente a cimentação propriamente dita (DA SILVA et al., 2014; SCIASCI et al., 2015; ZHAO et al., 2016). No entanto, a união promovida por meio dos cimentos auto condicionantes é mais frágil e instável ao longo do tempo, sendo que este deve estar sempre associado ao uso de agente promotor de união química, visto que a ligação promovida exclusivamente por meio do cimento auto adesivo apresenta maior probabilidade de insucesso por hidrólise à longo prazo quando comparado aos cimentos resinosos convencionais(DE SÁ et al., 2013; GOMES et al., 2015; SCAMINACI et al., 2019).

Ainda neste contexto podemos citar a rugosidade de superfície como um importante fator para alcançar longevidade nos procedimentos restauradores indiretos, principalmente nas cerâmicas com alto conteúdo cristalino. As irregularidades provocadas de forma intencional reduzem a tensão superficial e aumenta a área disponível para contato favorecendo a penetração/infiltração de maior quantidade de cimento nas micro lacunas criadas, corroborando e otimizando a formação de união micromecânica (ARAMI et al., 2014; KASRAEI et al., 2015; LIU et al., 2015; ZANATTA et al 2017; GARCÍA-SANZ et al., 2018).

Estudos anteriores puderam demonstrar que a determinação de um protocolo clínico para material cerâmico altamente cristalino é urgente, sendo ele responsável em grande parte por garantir a integridade do cimento interposto entre peça protética e substrato dentário, que, por conseguinte, repercutirá no sucesso e durabilidade do procedimento indireto a longo prazo (ARAMI et al., 2014; KASRAEI et al., 2014; AKHAVAN et al., 2015); MAHMOODI et al., 2016; ZANATTA et al., 2017; GARCÍA-SANZ et al., 2018). O processo de fixação definitiva dos materiais a base de zircônia é alvo de muitas discussões na literatura, já que o sucesso determinado pela longevidade clínica da restauração na cavidade oral não depende somente das propriedades físicas do material, mas também da forma como este material cerâmico é condicionado e cimentado à estrutura remanescente. (GARCÍA-SANZ et al., 2018; SCAMINACI et al., 2019).

Atualmente existem alguns métodos disponíveis na literatura capazes de modificar a superfície de cerâmicas com alto conteúdo cristalino. O mecanismo da maioria deles, basicamente, visa aumentar a rugosidade superficial, o que aumenta a molhabilidade e energia de superfície favorecendo o contato entre agente cimentante e cerâmica. Segundo os autores, a combinação destes fatores repercute de forma positiva na resistência de união e longevidade clínica da restauração (KASRAEI et al., 2014; LIU et al., 2015; AKHAVAN et al., 2015; ZANATTA et al., 2017; GARCÍA-SANZ et al., 2018).

Dentre os métodos disponíveis na literatura capazes de modificar a estrutura topográfica da cerâmica de zircônia podemos citar os sistemas jateáveis e os sistemas a laser (ARAMI et al., 2014). Dentre os sistemas jateáveis destacam-se o jateamento com partículas de óxido de alumínio (AL_2O_3) e o jateamento com partículas de óxido de

alumínio recobertas com sílica (sílica coating), também conhecido como cobertura triboquímica de sílica (Tribochemical sílica-coating – TBS) (ARAMI et al., 2014; AKHAVAN et al., 2015). Dentre os sistemas a laser destaca-se a irradiação com diferentes tipos de laser frequentemente utilizados na Odontologia: Er:YAG (Erbium-Doped Yttrium Aluminum Garnet), Nd:YAG (Neodymium-Doped Yttrium Aluminum Garnet), CO_2 (Dióxido de Carbono) e laser de diodo. Muito tem-se estudado sobre esses métodos devido a importância de se estabelecer uma técnica, assim como criar um protocolo clínico capaz de promover união efetiva e duradoura ao longo do tempo em materiais com baixo conteúdo vítreo (ATSU et al 2006; ARAMI et al., 2014; AKIN et al., 2015; KASRAEI et al., 2015; AKHAVAN al., 2015; ZANATTA et al., 2017; GARCÍA-SANZ et al., 2018).

Os sistemas jateáveis são conhecidos por promover aumento da rugosidade da superfície cerâmica por meio do processo de abrasão à ar, proporcionando a formação de micro irregularidades que são responsáveis por aumentar a rugosidade de superfície, facilitando e otimizando a retenção micromecânica entre agente cimentante e restauração (ARAMI et al., 2014; KASRAEI et al., 2015; AKIN et al., 2015; LIU et al., 2015; AKHAVAN et al., 2015; YENISEY, DEDE, RONA., 2016; ZANATTA et al., 2017; GARCÍA-SANZ et al., 2018; SCAMINACI et al., 2019).

Com relação ao sistema “Silica Coating” ou também denominado por alguns autores como “Tribochemical Coating”, as partículas de alumina modificadas por sílica são movidas em um fluxo de ar em direção a superfície da cerâmica, sendo o forte fluxo de ar o responsável por garantir a incrustação destas partículas de sílica sobre a superfície jateada, formando uma fina camada de sílica sobre a estrutura densamente cristalina da zircônia. Esta nova constituição da superfície interna da cerâmica é capaz de estabelecer união com o agente silano (DE MELO, VALANDRO, BOTTINO, 2007; SHIN et al., 2014; GARCÍA-SANZ et al., 2018). O conjunto sílica impregnada mais agente silano é relatado pela literatura como sendo promotores não só de melhor retenção por meio do imbricamento mecânico, mas também da possibilidade de estabelecer união química entre a superfície cerâmica e o agente cimentante (ATSU et al., 2006; DE MELO, VALANDRO, BOTTINO, 2007; SHIN et al., 2014; AKIN et al., 2015; MAHMOODI et al., 2016; GARCÍA-SANZ et al., 2018; SCAMINACI et al., 2019). O sistema “Sílica Coating”

demostra superioridade na resistência de união em diversos estudos, e por esse motivo tem sido considerado o padrão ouro na literatura vigente (ATSU et al., 2006; AKIN et al., 2015; LIU et al., 2015; YENISEY, DEDE, RONA., 2016; MAHMOODI et al.,2016; ZANATTA et al., 2017; SCAMINACI et al., 2019).

Vale ressaltar que assim como no protocolo de adesão em cerâmicas vítreas, o agente silano é o responsável por promover o elo entre o óxido de zircônio e cimento resinoso (OLIVEIRA et al., 2015; GARCÍA-SANZ et al., 2018). A principal função do "agente silano" é aumentar a afinidade entre ambos, sendo assim importante para o aumento da resistência de união final da restauração por meio do estabelecimento de ligação química entre cimento e material cerâmico. O silano liga-se, de forma cruzada, com grupamentos metacrilatos presentes nas extremidades das cadeias poliméricas dos materiais resinosos ATSU et al., 2006; MAHMOODI et al., 2016; SCAMINACI et al., 2019). De acordo com Lung, Liu, Matinlinna., (2015), dentre os constituintes da molécula do agente bifuncional silano, dois grupamentos funcionais se destacam, sendo eles, o (-SiOH) e (>C=C<). O primeiro é responsável por ligar-se a sílica por meio do grupamento hidroxila formando uma ligação siloxana (Si-O-Si), já o segundo é responsável por ligar-se a terminação hidroxila do cimento resinoso.

Esta conformação é conhecida como sendo uma verdadeira rede de polímeros constituída, na sua grande maioria, por sílica e grupos de metacrilato presentes nos cimentos resinosos. Os autores ressaltam que o agente silano auxilia, de forma direta, na modificação da energia de superfície e concomitante molhabilidade da superfície cerâmica (ATSU et al., 2006; MAHMOODI et al.,2016).

Atsu et al. (2006), mostrou em seu trabalho, cujo objetivo foi o de avaliar a resistência de união sob diferentes tratamentos em cerâmica Y-TZP, sendo eles, jateamento por óxido de alumínio (AL2O3); tratamento químico por meio do agente silano; revestimento por sílica triboquímica e a combinação dos tratamentos citados em associação com o agente silano. O tratamento de superfície "sílica coating" seguido da aplicação do agente silano aumentou significativamente a resistência de união entre todos os métodos testados. Esta relação benéfica entre cobertura triboquímica e agente silano também é referenciada em outros estudos (AKIN et al., 2015; MAHMOODI et al., 2016; YENISEY, DEDE, RONA., 2016.

No entanto, apesar da fase tetragonal do dióxido de zircônio haver sido estabilizado em temperatura ambiente, esta estabilização é “metaestável” (PEREIRA et al., 2020). Isso significa que algumas situações podem desencadear a indução de transformação de volta a fase monoclínica, que é o estado naturalmente estável da zircônia sob temperatura ambiente. Há vários trabalhos na literatura que apontam que tanto o jateamento com óxido de alumínio quanto o envelhecimento térmico podem conduzir a transformação dos grãos de zircônia tetragonais de volta a sua fase alotrópica monoclínica**,** assim como levar a formação de micro trincas capazes de diminuir a resistência a fratura tão apreciadas nas cerâmicas Y-TZP (ARAMI et al., 2014; AKIN et al., 2015; YENISEY, DEDE, RONA., 2016; SCAMINACI et al., 2019).

Outros autores são mais enfáticos em apontar que os efeitos deletérios potencialmente prejudiciais como lascamento e formação de micro rachaduras são provenientes da “abrasão excessiva” da superfície jateada, ou seja, são provenientes não só da força de impacto excessiva da partícula ejetada sobre a superfície cerâmica como também da quantidade de vezes que um mesmo local é alvejado durante o procedimento (LIU et al., 2015; SCAMINACI et al., 2019).

Estudos anteriores também enfatizaram que os procedimentos jateáveis são ótimos métodos com relação ao aumento da resistência de união, porém, a técnica induz a redução das propriedades mecânicas da zircônia devido aos defeitos e microfissuras produzidas no momento do impacto das partículas ejetadas sobre a superfície cerâmica (KASRAEI et al., 2014; AKIN et al., 2015). Importante ressaltar que tanto o sistema de sílica coating quanto o jateamento com partículas de Al2O3 realizam a modificação da topografia da cerâmica por geração de energias de impacto, logo, ambas técnicas podem ser considerados potenciais indutores de transformação de fase na cerâmica Y-TZP, visto que o “Ato de Jatear” é inerente a técnica.

No trabalho de Arami et al., (2014), os autores citam as prerrogativas e prejuízos dos sistemas jateáveis e ressalta a necessidade de se criar meios alternativos de obter aumento na resistência de união entre zircônia Y-TZP e cimento resinoso, visto que um determinado tratamento de superfície não deve reduzir as propriedades positivas de um material em virtude do ganho em resistência de união. Logo, o objetivo principal dos

autores foi investigar os efeitos da irradiação dos lasers Er: YAG, CO_2 e Nd: YAG, assim como compará-los ao método de jateamento até então convencional com Al_2O_3, sobre a rugosidade de superfície obtida e resistência de união. Relatam que os métodos jateáveis e com irradiação a laser são capazes de promover aumento de rugosidade superficial e concomitante aumento da resistência de união, no entanto, com relação aos lasers a intensidade de energia é extremamente importante e vai corroborar, positivamente ou negativamente, o resultado obtido de resistência de união. Esta relação de parâmetros e efeito produzido também foi relatada nos estudos de Akin et al., (2015) e García-sanz et al., (2018).

Segundo Kasraei et al., (2014), os parâmetros utilizados para cada laser são moduladores fundamentais na produção das micro irregularidades. Os autores enfatizam que, a taxa de frequência do pulso (pulse rate) e o aumento de energia (W) aplicada em um determinado ponto, são responsáveis por aumentar a densidade de energia recebida em uma determinada área, repercutindo diretamente em uma maior ou menor potência atribuída por centímetros quadrado (cm^2), ou seja, repercutirá em maior ou menor temperatura na área irradiada. Os autores puderam concluir em seu trabalho que, nos parâmetros de 3 W sob densidade de energia de 265,39 j/cm2, o laser de CO2 aumentou a resistência de união. As micro rachaduras causadas durante o aquecimento superficial no momento da irradiação são esperadas e oportunas. Segundo os autores, elas são responsáveis pela produção e/ou aumento de porosidade superficial, que, posteriormente será preenchido por cimento resinoso. A grande capacidade de absorção do espectro vermelho pela zircônia eleva bastante a temperatura sobre a superfície irradiada que, ao se resfriarem, formam micro lacunas em formato de concha. O preenchimento destas micro lacunas por cimento resinoso poderiam ser responsáveis por aumentar os valores de resistência de união. No entanto, enfatizaram a necessidade de avaliar a qualidade da ligação produzida ao longo do tempo, já que os valores obtidos foram somente referentes a resistência imediata (KASRAEI et al., 2014; KASRAEI et al., 2014).

Akhavan et al., (2015) avaliaram por meio do teste de microcisalhamento, a resistência de união de espécimes tratados com laser de CO_2 e jateamento com Al2O3.

O laser de CO_2 é relatado como sendo uma técnica eficiente tanto em aumentar a rugosidade de superfície, como em melhorar os valores de resistência de união. Apesar desta explanação, os autores puderam observar que os espécimes tratados por meio do jateamento com Al2O3 apresentaram maiores valores de resistência de união quando comparado aos espécimes submetidos ao laser de CO2. O modo e falha dos espécimes jateados com Al2O3 foi predominante misto, enquanto o modo de falha do grupo laser foi predominantemente adesivo, denotando assim uma maior dificuldade de resistir a maiores valores de resistência de união quando comparados ao sistema jateavel.

A partir daí, outros estudos foram conduzidos com o objetivo de investigar a modificação da superfície de cerâmicas com alto conteúdo cristalino por meio dos lasers como alternativa aos sistemas jateáveis (KASRAEI et al., 2014; KASRAEI et al., 2014; ARAMI et al., 2014; AKIN et al., 2015; KASRAEI., 2015; ZANATTA, et al., 2017).

Na odontologia, os lasers mais utilizados são o laser de Érbio (Er:YAG), Neodímio (Nd:YAG), Dióxido de Carbono (CO2) e laser de Diodo, sendo este último considerado de baixa potência quando comparado aos outros. Devido a sua ampla diversidade de uso em tratamentos médicos e odontológicos, mais recentemente, o laser tem sido pesquisado com intuito de aumentar a rugosidade superficial de cerâmicas com alto conteúdo cristalino (GARCÍA-SANZ et al., 2018).

Com relação ao mecanismo de ação, as modificações produzidas na superfície da cerâmica são conduzidas através do aquecimento preciso e localizado produzido durante a radiação à laser, que por sua vez é proveniente da transformação da energia luminosa emitida em calor. O calor e aumento de temperatura gerado interage com o substrato produzindo derretimento controlado da camada superficial irradiada (PEREIRA et al., 2020). Estas micro irregularidades na superfície promovida pelo aumento de temperatura é relatada na literatura como sendo potencialmente capaz de modificar a energia de superfície e molhabilidade, assim como melhorar o imbricamento micromecânico por meio do preenchimento de cimento dentro das micro lacunas formadas. (GARCÍA-SANZ et al., 2018). Este mecanismo é referenciado por Kasraei et al., (2015), como sendo um efeito termo mecânico dos lasers.

Akin et al., (2015) realizaram um trabalho, cujo objetivo foi avaliar pré tratamentos jateáveis e à lasers, sendo eles: grupo controle, jateamento com sílica coating, jateamento com Al_2O_3, Nd:YAG e Er:YAG, sobre a resistência de união de espécimes de zircônia cimentados por meio de cimento resinoso. Os autores concluíram que apesar dos maiores valores haverem sido obtidos pelo grupo que recebeu o pré tratamento de sílica coating, todos os grupos testados foram eficientes e eficazes em produzir maiores valores de resistência de união quando comparado ao grupo que não recebeu nenhum tratamento prévio (controle).

Nos tecidos dentários, a alteração da superfície pelo laser de Neodímio (Nd-YAG) se dá pelo processo de ablação, que é o resultado de micro explosões sobre a superfície dentinária irradiada durante o percurso do laser. Estas micro explosões são provenientes da interação do laser com a água presente em abundância na estrutura principalmente da dentina, que por sua vez, age absorvendo a energia luminosa e transforma em calor. Este calor pode trazer benefícios em alguns tratamentos odontológicos como: hipersensibilidade dentinária, remoção e diagnóstico de cárie, clareamento dental, cirurgias periodontais e, mais recentemente, tem sido alvo de pesquisas em materiais cerâmicos com alguns resultados bastante promissores sobre a resistência de união (KASRAEI., 2014; LIU et al., 2015).

Apesar do sucesso alcançado com os lasers em diversos tratamentos, na área de materiais odontológicos a literatura carece de estudos que visem estabelecer o laser como promotores de adesão, visto que ainda não existe um consenso explicitando os melhores parâmetros e mecanismos de ação de como os lasers conseguem melhorar a resistência de união sem comprometer, significativamente, as propriedades do material. Somado a isso, diversos autores relatam que a falta de padronização de parâmetros e aparelhos torna difícil a comparação entre trabalhos (AKIN et al., 2015; LIU et al., 2015; PEREIRA et al., 2020).

No trabalho de Liu et al., (2015), os autores testaram o laser de Neodímio (Nd: YAG) em diferentes potências e tempos de irradiação com objetivo de avaliar a rugosidade de superfície produzida e o efeito desta caracterização sobre a resistência de união entre cimento resinoso e material cerâmico Y-TZP. Os autores constataram a

formação de micro fendas e lascamento de pequenas partes de zircônia após os espécimes haverem sido submetidos a irradiação com laser de Nd:YAG. Também foi possível observar que tanto o grupo controle quando os irradiados pelo laser Nd:YAG tiveram padrões de fratura bem parecidos, sendo a falha adesiva em maior abundância entre ambos os grupos. Logo, os autores concluíram que apesar da maior rugosidade de superfície produzida pelo laser de Nd:YAG, não houve melhora na resistência de união quando comparado ao grupo controle, e que o aumento da potência pode levar a formação de defeitos estruturais sobre a superfície podendo repercutir negativamente sobre as propriedades mecânicas da zircônia.

Já em um outro trabalho, cujo objetivo foi avaliar os afeitos da irradiação por lasers em cerâmica Y-TZP, na resistência de união sob diferentes parâmetros, Mahmoodi et al., (2016) contataram que todos os espécimes que foram tratados com laser de Neodímio (Nd:YAG) descolaram antes mesmo dos espécimes serem submetidos ao teste de micro tensão, levando-os a crer que o laser de Nd:YAG, nos paramentos testados, não pode proporcionar uma ligação eficiente e estável.

Zanatta et al., (2017), avaliaram e compararam o efeito dos tratamentos de sílica coating, jateamento com óxido de alumínio (Al2O3) e laser de neodímio (Nd:YAG) em espécimes de zircônia Y-TZP sobre a resistência de união. Os autores relataram que o laser de neodímio não só aumentou a rugosidade de superfície como também melhorou a resistência de união entre cimento resinoso e superfícies de Y-TZP entre os grupos testados, inclusive se destacando entre os sistemas jateáveis.

Em outro estudo, Yenisey, Dede, Rona., (2016) afirmaram não haver efetividade na resistência de união entre laser de Er:YAG e cerâmica Y-TZP. A pesquisa conduzida resultou em valores de resistência de união inferiores aos valores proporcionados pelos sistemas jateáveis testados. Os autores concluíram que o tratamento com o laser de Érbio (Er:YAG) não melhorou a resistência de união e corroborou negativamente por meio da formação de áreas de derretimento e microfissuras formadas na superfície irradiada observadas.

O trabalho de revisão sistemática e meta análise conduzido por García-Sanz et al., (2018) concluiu que, com relação a cerâmica Y-TZP, os lasers podem ser utilizados

como promotores de resistência de união. Os lasers de Er:YAG, Nd:YAG e CO2 são lasers de alta potência. Segundo os autores, apresentaram superioridade na resistência de união quando comparado a superfícies que não receberam nenhuma forma de tratamento de superfície em todos trabalhos analisados. Os autores complementam que não houve diferenças, estatisticamente significantes, entre os métodos jateáveis e irradiados a laser.

De mesmo modo, com a evolução na área de materiais dentários e aprimoramento das técnicas adesivas já existentes, a efetividade dos cimentos resinosos como promotores de união aumentou, com uma adesão mais eficaz e duradoura entre dente e material cerâmico altamente cristalino, melhorando desta forma não só a micro retenção mecânica, mas também a possibilidade de promover adesão química. Tal interação repercute positivamente na adaptação marginal, resistência à fratura e longevidade clínica da restauração na cavidade oral (ATSU et al., 2006; KASRAEI et al., 2014; ARAMI et al., 2014; AKIN et al., 2015; KASRAEI et al., 2015; MAHMOODI et al., 2016; ZANATTA et al., 2017; GARCÍA-SANZ et al., 2018; SCAMINACI et al., 2019).

Os compostos 10-metacriloxidecil di-hidrogênio fosfato (10-MDP), assim como 2-metacriloiloxietil fosfato (MEP) e 4-metacriloiloxietil trimelitato de anidrido (4-META) são monômeros fosfatados (organofosforados) funcionais acidificados da família dos ésteres, cuja principal função é interagir e combinar de forma direta com óxidos metálicos, facilitando desta forma o entendimento da sua grande afinidade pela zircônia (KASRAEI et al., 2014; KASRAEI et al, 2015). De acordo com Scaminaci et al., (2019), na molécula dos monômeros funcionais organofosforados encontram-se duas extremidade, em uma extremidade está presente um grupamento vinil, e na outra extremidade há presente um grupamento de ácido fosfórico, sendo que a extremidade terminal vinílica é responsável por ligar-se e copolimerizar-se com a resina composta, já a extremidade que apresente o grupamento fosfórico é responsável por interagir com o óxido de zircônio formando o grupamento P-O-Zr.

Kasraei et al, (2015) ressalta que, além da afinidade química, o MDP proporciona uma espécie de “impermeabilização” na ligação estabelecida com o óxido de zircônio, favorecendo desta forma o que seria o segundo fator mais importante depois de alcançar

a adesão, que seria conseguir longevidade clínica da restauração em boca, já que manter uma ligação forte e estável é tão almejado e desafiador quando conseguir estabelece-la. Para García-Sanz et al., (2018), a manutenção da integridade adesiva é fortemente influenciada pelo primer e cimento resinoso, sendo o agente MDP o principal constituinte responsável pela resistência à degradação hidrolítica.

De acordo com Scaminaci et al., (2019), o 10-MDP foi considerado o melhor e mais efetivo promotor de adesão entre os trabalhos avaliados. No entanto, segundo os autores, a utilização do organofosforado 10-MDP por si só não garante ótimos valores de resistência de ligação após submeter os espécimes a testes de termociclagem (CT), ou seja, a variações de temperatura, evidenciando assim a importância do tratamento de superfície prévio em zircônia.

A escolha da ferramenta de avaliação que ofereça valores fiéis e confiáveis é motivo de grande conflito na literatura, visto que cada metodologia apresenta seus próprios parâmetros de elaboração amostral, estabelecimento do local de colagem, distribuição de tensões assim como quantidade de carga aplicada em cada espécime. No entanto, a literatura é unanime em afirmar que quanto menor a milimetragem da área testada, menores são as influências negativas sobre a distribuição de tensões (TEDESCO et al., 2013). Logo, o teste de micro cisalhamento parece mensurar com melhor acurácia, já que o diâmetro dos micros espécimes produzidos apresentam diâmetro de no máximo 1,0 mm.

Como qualquer outro teste, o micro cisalhamento também apresenta algumas deficiências. Dentre as deficiências, duas delas parecem ser mais importantes, sendo que a primeira se relaciona com a possibilidade de inclusão indesejada de micro bolhas de ar na interface adesiva (TEDESCO et al., 2013). Quando isto acontece não significa que o trabalho foi comprometido, porém, pode levar a perda de uma maior quantidade de espécimes já no pré-teste, ou seja, antes mesmo de submeter os espécimes ao teste de micro cisalhamento.

A segunda deficiência está relacionada a composição dos tubos de inclusão. Desde 1990, quando os testes de micro cisalhamento surgiram, os tubos de Tygon, ou também conhecidos por tubos de polietileno, foram e continuam sendo preconizados pela

literatura como parte do protocolo para confecção das amostras de resina (micro tubos em resina composta) (TEDESCO et al., 2013). Os “Tygon Tubes” são “moldes” que ajudam a conformar os micros espécimes de resina sobre a superfície cerâmica, sendo que a união destas duas estruturas, micro tubos de resina composta e superfície tratada, constitui-se a interface adesiva. No entanto, os “Tygon Tubes” podem interferir diretamente na resistência de união visto que o processo de remoção destes tubos não parece ser um procedimento tão simples e inócuo. O problema é que para a remoção destes “moldes” faz-se necessário a utilização de instrumento cortante, podendo forçar, ainda que minimante, a interface de união. Quando isso acontece, a tensão gerada pode ser responsável por reduzir a resistência de união real não refletindo os valores de resistência de união reais da interface adesiva.

No trabalho realizado por Tedesco et al., (2013), cujo objetivo foi avaliar e comparar o tubo de macarrão como meio alternativo ao tradicionalmente utilizado (Tygon Tube). Os autores concluíram que o tipo de tubo, ou seja, o tubo de macarrão não influenciou nos valores de resistência de união quando comparado ao “Tygon Tube”.

Os autores enfatizam algumas vantagens dos tubos constituídos de farinha sobre os tubos de polietileno que seriam: fáceis de serem manipulados e preenchidos por resina, ausência de interação entre material resinoso e superfície do tubo, e, principalmente, não precisam ser removidos por meio de material cortante, visto que, o fato de serem constituídos por farinha, eles se solubilizam e se desprendem após serem submersos em água por algumas horas. Este mecanismo de soltura acontece às custas de hidratação do tubo de macarrão e constitui-se em um processo natural e inócuo sem danos a estrutura subjacente.

De acordo com o trabalho de Tedesco et al., (2013) e com intuito de reproduzir maior fidelidade de resultados, decidimos por confeccionar microespécimes por meio de tubos constituído de farinha (tubos de macarrão).

3- PROPOSIÇÃO

Este estudo se propôs a avaliar, por meio do teste de microcisalhamento, a resistência de união entre cimento resinoso e estrutura cerâmica de zircônia irradiada com LASER de Diodo em diferentes estratégias.

De acordo com a proposição, foi testada a seguinte hipótese nula:

- Não há diferença sobre a resistência de união considerando os diferentes tratamentos propostos.

4- MATERIAL E MÉTODOS

4.1- Delineamento experimental

O presente estudo *in vitro* apresentou apenas um fator de variação: estratégia de irradiação com laser de diodo (DenLase – 980/7, China Daheng Group , Beijing, China) em 3 níveis: irradiação prévia a aplicação do adesivo Clearfil SE Bond (Kuraray, Osaka, Japão); irradiação sobre adesivo aplicado; irradiação com laser de diodo antes e após aplicação do adesivo. A variável de resposta quantitativa foi a resistência de união (Mpa) aferida por meio de teste de microcisalhamento.

4.2 – Confecção dos espécimes

Este estudo utilizou trinta espécimes de cerâmica de zircônia aleatoriamente distribuídos em 4 grupos (n=30). Os espécimes foram obtidos a partir de fatias longitudinais de blocos de zircônia pré-sinterizada IPS e.max ZirCAD (Ivoclar Vivadent, Barueri-SP, Brasil) indicados para usinagem em CAD/CAM. Foram realizados cortes em fatias de 1,5 x 1,8 cm com disco diamantado (Extec Dia. Wafer Blade 5”x015x1/2, Extec corp-Einfeld, USA), em baixa velocidade e sob refrigeração, em máquina de corte (Isomet Low Speed Saw, Buehler, Lake Bluff, USA) (Figura 01). Cada bloco permitiu a obtenção de 12 fatias.

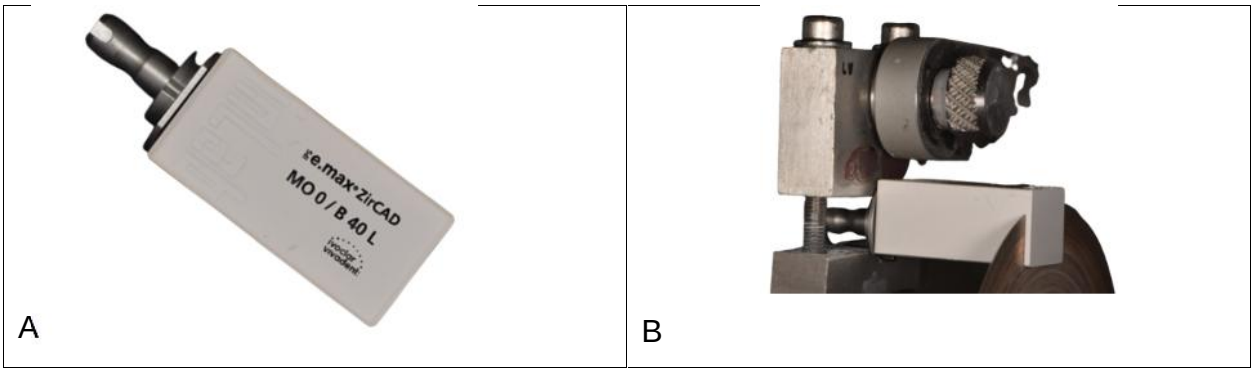

Figura 01- (A) bloco de zircônia IPS e.max ZirCAD; (B) Bloco de zircônia posicionado na máquina de cortes para obtenção das fatias.

As fatias cortadas foram fixadas em matrizes acrílicas circulares com auxílio de cera pegajosa e lamparina/álcool para permitir o polimento inicial, antes da sinterização final (Figura 2).

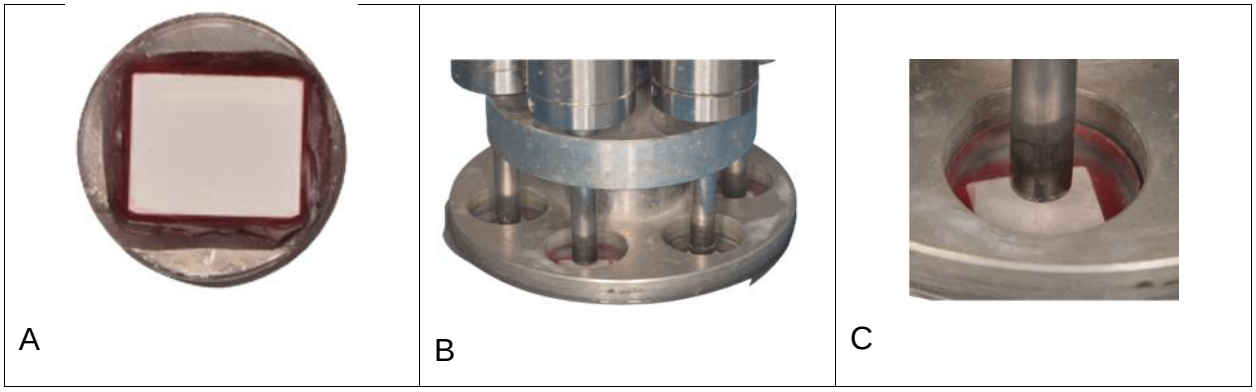

Figura 02- (A) Espécime de zircônia fixado em matriz acrílica circular; (B) Dispositivo para fixação das matrizes para permitir o polimento com pressão controlada; (C) Detalhe da matriz posicionada com o espécime voltado para o disco de lixa.

O polimento da superfície a ser irradiada foi realizado com auxílio da politriz metalográfica (Arotec, Cotia, Brasil) com discos de lixas de papel (Carbimet Paper Discs, Buehler, Lake Bluff, USA), nas granulações 800 e 1200 respectivamente, por 3 minutos, em baixa rotação e sob refrigeração. Este polimento foi realizado com o intuito de remover os riscos provocados pelo disco de corte.

Após o polimento dos espécimes, as fatias foram sinterizadas utilizando o programa P6 do forno de sinterização (Programat S1, Ivoclar Vivadent, Barueri-SP, Brasil) (Figura 03). Após a sinterização os espécimes passaram a ter 1,2 x 1,5cm, visto a contração de sinterização da Zircônia (20%).

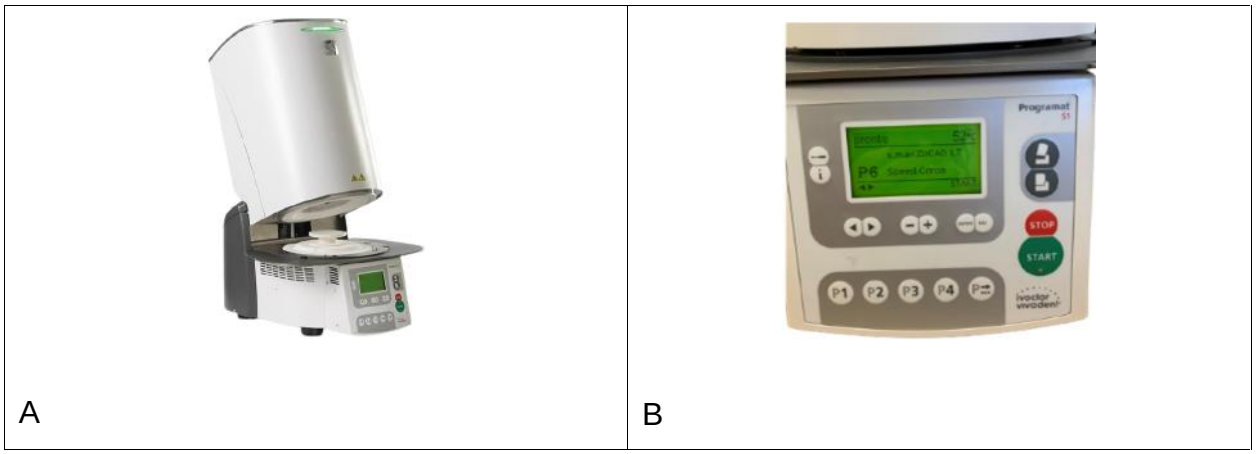

Figura 03- (A) Forno Programat S1 para sinterização da zircônia; (B) Em detalhe o painel de controle da máquina utilizada para sinterização dos espécimes

Na sequência os espécimes sinterizados foram posicionados sobre uma placa de vidro com a face a ser testada voltada para baixo. Sobre o espécime foi posicionado o cano de PVC de tal forma que o espécime ficasse centralizado no interior do cano (Figura 4A). Na sequência foi vertida resina acrílica (JET – Artigos Odontológicos Clássico Ltda, Brasil) sobre o espécime até o completo preenchimento do cano (Figura 4B);

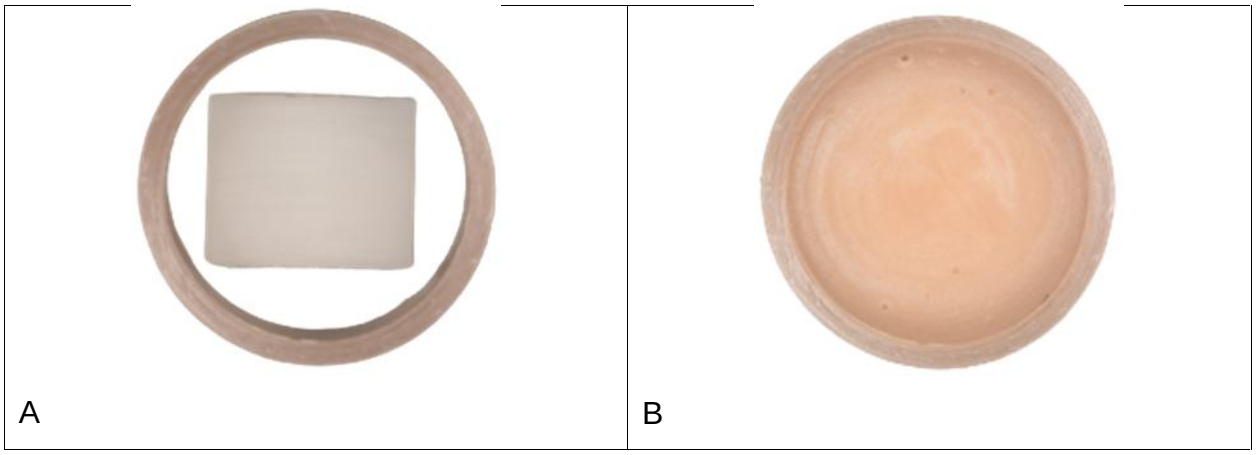

Figura 04- (A) Espécime de zircônia centralizado dentro do tudo de PVC; (B) Aspecto após o preenchimento completo do conjunto com resina acrílica.

Após a polimerização completa da resina acrílica, o conjunto foi novamente submetido a um polimento da superfície contendo o espécime de zircônia, com lixa de

papel na granulação de 1200, por 30 segundos, com finalidade de remoção de possíveis impurezas e/ou resíduos de resina acrílica que possam ter impregnado a superfície durante a etapa anterior.

4.3 – Tratamentos / grupos

Os 30 espécimes sinterizados foram divididos em 4 quadrantes iguais (6 x 8mm totalizando 48mm^2), correspondentes aos 4 grupos em estudo (n=30) (Figura 05):

GRUPO C: Controle, somente adesivo polimerizado (Clearfil SE Bond, Kuraray, Osaka, Japão);

GRUPO AL: grupo com irradiação após a aplicação do adesivo;

GRUPO LA: grupo com irradiação antes da aplicação do adesivo;

GRUPO LAL: grupo com irradiação antes e após a aplicação do adesivo;

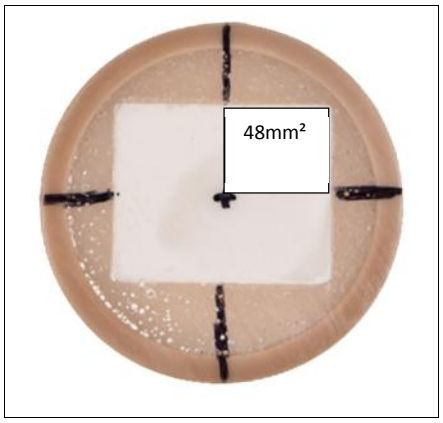

Figura 05- espécime dividido em 4 quadrantes iguais (48mm^2) para conter os 4 grupos em estudo.

Para o grupo controle, o adesivo Clearfil SE Bond (Tabela-01) foi aplicado (somente adesivo hidrofóbico) sobre a superfície da zircônia com auxílio de microbrush (KG Sorensen, Cotia, São Paulo, Brasil), em duas camadas com esfregaço, seguindo as orientações do fabricante. Após a aplicação do adesivo e remoção dos excessos, o

mesmo foi fotoativado por 20 segundos, com aparelho LED colimado Valo Cordless (Ultradent, Indaiatuba, SP, Brasil), com densidade de potência de 1.000 mW/cm².

Tabela 01 – composição do sistema adesivo Clearfil SE Bond, segundo os fabricantes

Clearfil™ SE Bond Kuraray Co. Ltda., Osaka, Japan	***Primer:*** 2-Hiidroxi-etilmetacrilato (HEMA); Monômeros Dimetacrilatos; Água; Fotoiniciador; 10- Metacriloiloxidecil dihidrogênio fosfato (MDP). **Adesivo:** Hiidroxi-etilmetacrilato (HEMA); Monômeros Dimetacrilatos; Carga (Micro); Fotoiniciador; 10- Metacriloiloxidecil dihidrogênio fosfato (MDP).

Para os demais grupos que receberam irradiação com laser de diodo (Figura-06) foi adotada a seguinte estratégia:

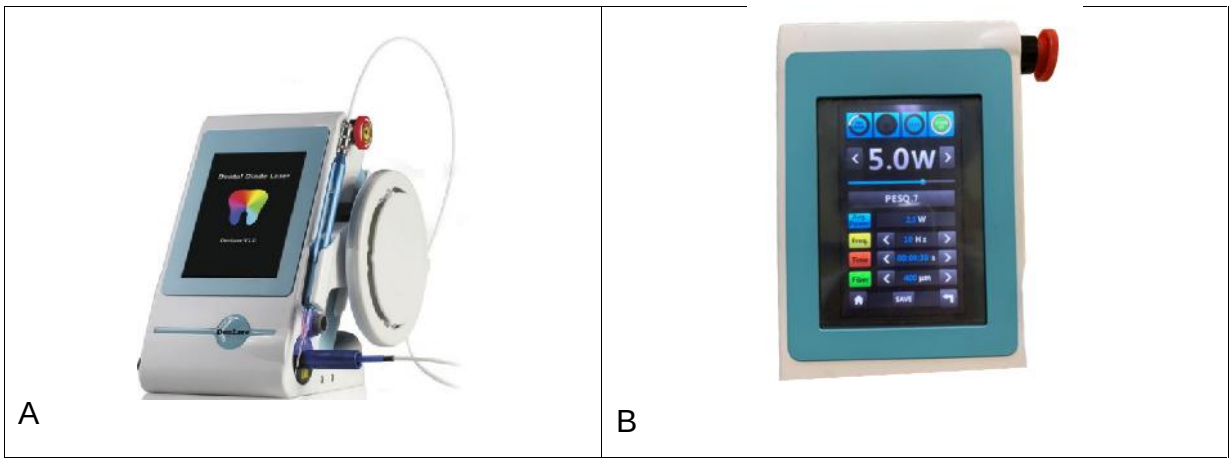

Figura 06- (A) Laser de diodo DenLase utilizado no estudo; (B) detalhe da unidade controladora aonde é possível a configuração dos parâmetros de irradiação.

1- Irradiação dos dois grupos situados na metade inferior do espécime (grupos LA e LAL). Para favorecer a interação do laser com a superfície da Zircônia, pasta contendo pó de carvão mineral e água (Figura 07A e 07B) foi aplicada sobre a superfície numa fina camada, com auxílio de um pincel limpo e seco. Após a secagem natural da pasta, o laser de diodo foi irradiado sobre esses dois grupos (Figura 07C);

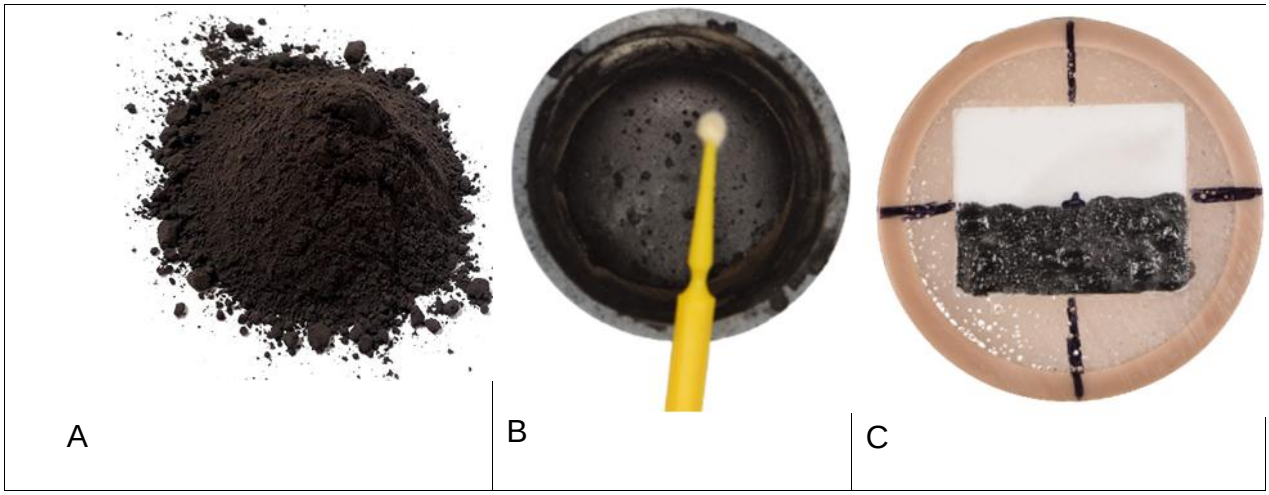

Figura 07- (A) Corante pó de carvão mineral; (B) mistura do corante com água; (C) Corante aplicado na metade inferior do espécime.

2- Lavagem dos espécimes em água corrente para remoção dos restos de corante que não foi irradiado. O corante que foi irradiado diminui sua intensidade durante a irradiação (Figura 08);

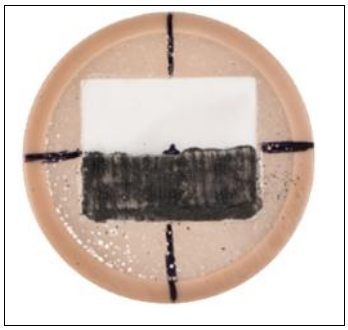

Figura 08- Irradiação sobre corante provoca diminuição da intensidade da pigmentação.

3- Após a irradiação da porção inferior, o adesivo Clearfil foi aplicado, seguindo as recomendações do fabricante, sobre todo o espécime (todos os grupos); o adesivo foi aplicado em fina camada com auxílio de microbrush. (Figura 09B);

4- Antes da fotoativação do adesivo, uma nova irradiação foi realizada na metade direita do espécime (Figura 09C). Logo após o término da irradiação com laser de diodo, o adesivo do espécime inteiro foi fotoativado por 20 segundos, determinando todos os grupos em estudo (Figura 09D).

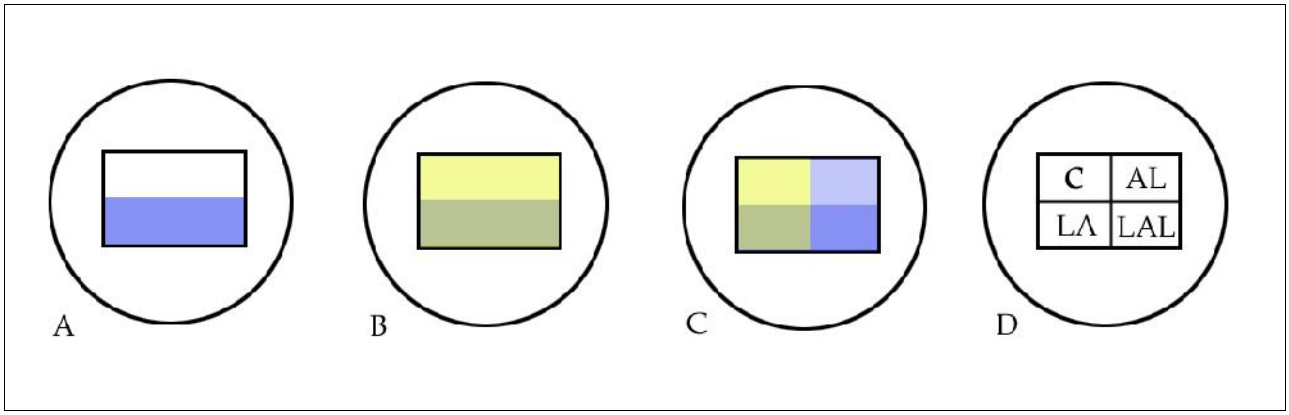

Figura 09- (A) Irradiação prévia da metade inferior do espécime; (B) Aplicação do adesivo Clearfil sobre todo o espécime; (C)Irradiação da metade direita do espécime; (D) Grupos estabelecidos após a fotoativação do adesivo.

A irradiação com o laser de diodo foi realizada com auxílio de uma mesa automatizada XY (Biopdi – Equipamentos para Ensaio de Materiais, São Carlos, Brasil) (Figura 10A) afim de garantir a padronização de todos os grupos irradiados. No braço superior estático foi fixada a caneta com a fibra ótica (400um), e na mesa inferior, que apresenta movimentação controlada e padronizada nos eixos X e Y, foram fixados os espécimes através de cera (Figura 10B). A irradiação foi efetuada com a máquina proporcionando movimento de zig-zag dos espécimes, com deslocamento lateral em cada ciclo respeitando o diâmetro da fibra ótica (Figura 10C). A configuração da mesa permitiu a irradiação completa dos grupos irradiados, assegurando que a ponta percorresse toda área delimitada, sem que nenhuma área recebesse duas irradiações consecutivas.

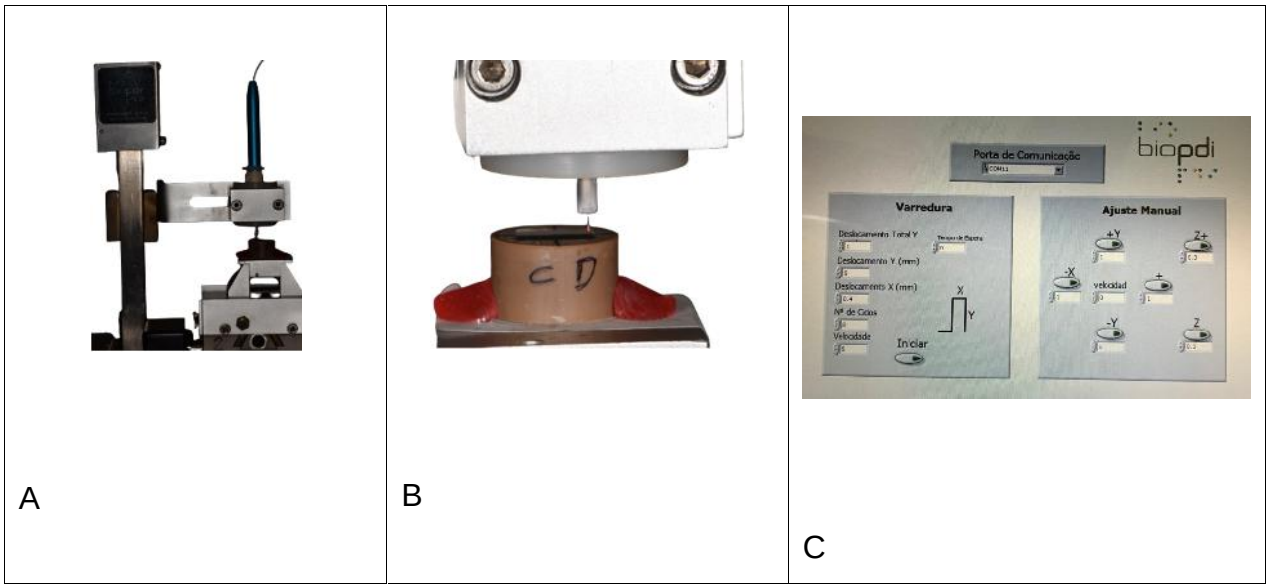

Figura 10 – (A) mesa padronizadora XY; (B) Detalhe da fibra ótica posicionada sobre o espécime fixado na mesa inferior com cera; (C) detalhe do programa de controle da mesa XY para padronização/controle da irradiação.

A irradiação foi realizada com os seguintes parâmetros:

Parâmetro	Valor
Energia por pulso	5000mj
Frequência	pulso contínuo
Potência	5W
Área da secção transversal do feixe (diâmetro da ponta de 400µm)	$3,14 \times 4 \times 10^{-4}$ cm^2
Área irradiada	48mm^2
Tempo de irradiação	30s
Energia Total	150J
Densidade de Potência	3980,89 W/cm^2
Densidade de Energia	312,5 J/cm^2

Após a fotoativação do conjunto (20 segundos, com aparelho LED colimado Valo Cordless (Ultradent, Indaiatuba, SP, Brasil), com 1000mw/cm^2) confeccionou-se os corpos-de-prova através da colagem de microtubos de resina fluída no centro de cada quadrante.

Em um primeiro momento, os tubos de amido (macarrão Renata, Pastifício Selmi; Londrina, PR, Brasil) foram cortados em altura de 3 mm, cujo diâmetro interno corresponde a 0,97mm. Na sequência cada tubo de amido foi preenchido com resina composta flow fotopolimerizável Opallis (FGM - Produtos Odontológicos LTDA, Joinville - SC, Brasil) e cuidadosamente posicionado no centro de cada quadrante, seguido de fotopolimerização com aparelho LED colimado Valo Cordless (Ultradent, Indaiatuba, SP, Brasil), com densidade de potência de 1.000 mW/cm² por 20 segundos. Cada tubo foi polimerizado individualmente através do orifício de uma matriz de cartolina preta previamente cortada com perfurador, de tal modo que nenhuma outra área recebesse luz além do tubo a ser polimerizado.

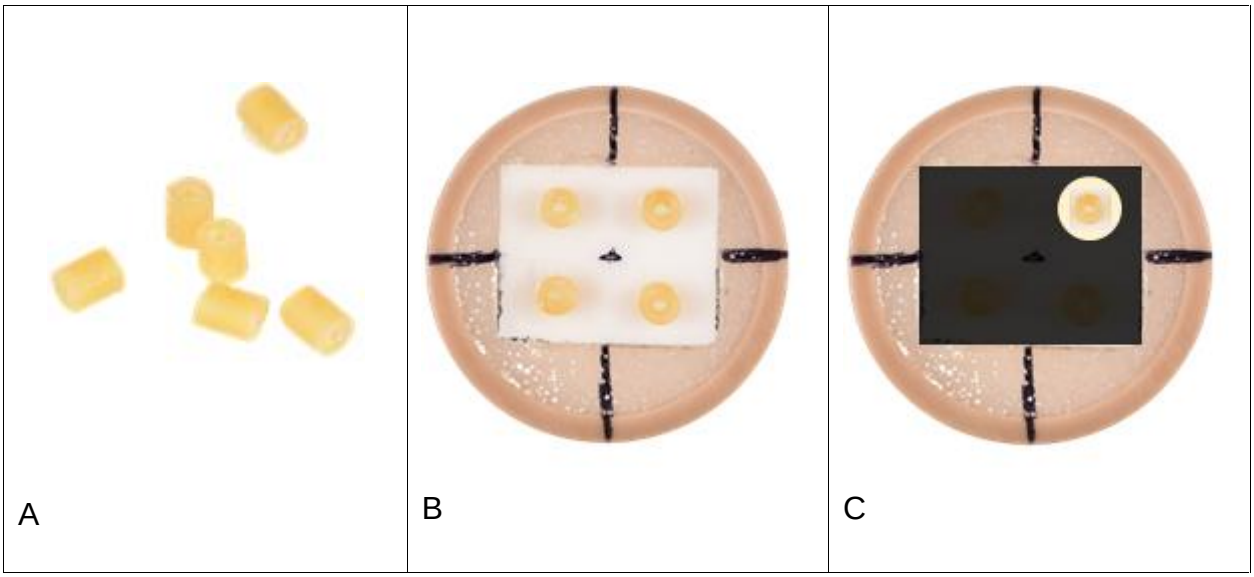

Figura 11 – (A) tubos de amido cortados; (B) tubos centralizados no centro de cada quadrante; (C) cartolina posicionada sobre o espécime permitindo a fotoativação individual de cada cilindro de resina fluida.

Logo após a fotoativação, os espécimes foram imersos em água destilada a 37°C, em estufa por 72 horas. Após este tempo, os tubos de amido foram cuidadosamente desprendidos da base resinosa sob leve fluxo de água.

4.4 - Teste de microcisalhamento

O teste de resistência ao microcisalhamento foi realizado em máquina de ensaio universal INSTRON 3342 (Illinois Tool Works, Norwood, USA) com auxílio do dispositivo “Madstem” (Figura 12).

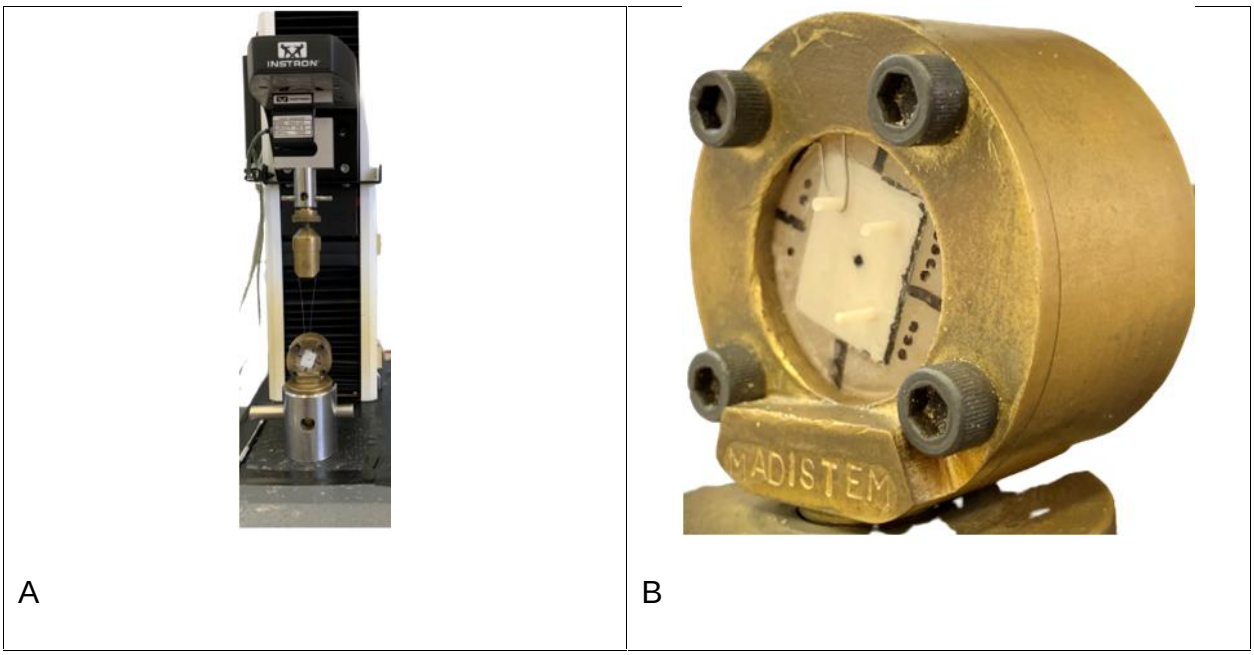

Figura 12 – (A) Máquina de ensaios Instrom 3342; (B) espécime posicionado na matriz, com a alça metálica apoiada na base do cilindro de resina fluida.

Os espécimes foram cuidadosamente encaixados no dispositivo “madistem” de microcisalhamento e o conjunto foi acoplado a base fixa da máquina de ensaios. Um fio de aço inoxidável, acoplado através de outros dispositivos a célula de carga de 500N, foi posicionado na base de cada cilindro de resina fluida, o mais próximo possível da união com a zircônia. A força de tração foi aplicada ao fio sob velocidade constante de 0,5mm/min (ISO TR 11405). Cada corpo-de-prova foi testado individualmente através do

giro do dispositivo de teste, de tal forma que o cilindro a ser testado ficasse em posição mais superior em relação aos demais (Figura 12B).

Os valores de resistência ao cisalhamento foram armazenados automaticamente no programa acoplado a máquina de ensaios (Bluehill Materials Testing Software, Norwood, USA).

4.5 – Delineamento Estatístico

Devido ao fato dos dados não possuírem distribuição normal (teste de kolmogorov-smirnov), a análise comparativa dos dados foi realizada por meio dos testes não paramétricos de comparações múltiplas de Kruskal-Wallis, e as comparações individuais entre grupos por meio do teste de Dunn. Para ambos, o nível adotado de significância foi de 5% ($P < 0.05$).

4.6 – Análise de fratura

Após o teste, os dois segmentos da fratura dos espécimes foram analisados com um microscópio portátil (Microscópio Dino Lite 100×, AnMo Electronics Corp, New Taipei City, Taiwan) e classificados de acordo com os modos de falha, sendo eles: Adesivo na Interface Adesiva (A), Coesiva em Adesivo (CA), Coesiva em Resina (CR) ou Mista (M).

5- RESULTADOS

Os resultados de resistência ao cisalhamento (MPa) foram tabulados e submetidos a análise estatística. As médias e resultados das comparações individuais constam na tabela a seguir:

Tabela 1 – Médias (MPa) + desvio padrão para os grupos testados, e a análise de comparações individuais (teste de Dunn) representada por letras.

Grupos	Controle (C)	Adesivo-laser (AL)	Laser-adesivo (LA)	Laser-adesivo-laser (LAL)
Média ± Desvio padrão	21,34 ± 9,82 a	20,72 ± 12,08 ab	11,92 ± 7,48 b	14,26 ± 11,12 b

* letras minúsculas diferentes indicam diferenças estatísticas ($p<0,05$)

O grupo controle (apenas adesivo Clearfil) apresentou a maior resistência ao cisalhamento e os grupos LA e LAL os menores valores, sem diferenças estatísticas entre si. A irradiação apenas após a aplicação do adesivo (grupo AL) não provocou diferença nos valores quando comparados ao grupo controle. Por outro lado, a irradiação sob corante previamente a aplicação do adesivo provocou queda significante nos valores de resistência de união, sem diferença estatística entre esses grupos (LA e LAL). Quando o laser foi irradiado antes e após a aplicação do adesivo (grupo LAL), a irradiação do laser após o adesivo provocou pequeno aumento dos valores de resistência de união, entretanto, sem diferenças significantes em relação ao grupo que recebeu irradiação apenas antes da aplicação do adesivo (LA).

Foi realizada a inspeção visual do espécime submetido a irradiação sobre corante previamente a aplicação do adesivo. Após a irradiação sobre o corante (figura 13A), o remanescente foi lavado sob água corrente, seco, metalizado e analisado em MEV (figura 13 B). Foi possível verificar que ocorreu a formação de canaleta com pequenas trincas no interior (figura 13C).

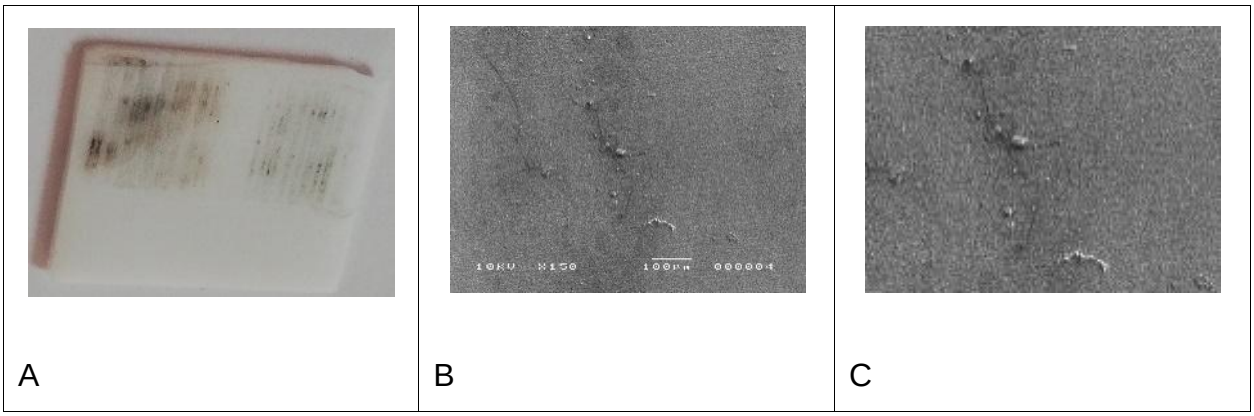

Figura 13 – (A) espécime após irradiação sobre o corante; (B) aspecto do espécime irradiado em MEV; (C) Maior aumento com visualização de trincas no material.

O tipo de fratura em todos os grupos testados foi predominantemente adesiva.

Tabela 2 – Porcentagem do tipo de fratura para cada grupo.

Grupos	**A**	**CA**	**CR**	**M**
Controle	92,3%	0%	0%	7,7%
AL	92,86%	0%	0%	7,14%
LA	100%	0%	0%	0%
LAL	100%	0%	0%	0%

(A) Adesiva, (CA) Fratura Coesiva em Adesivo, (CR) Fratura Coesiva em Resina, (M) Fratura Mista.

6- DISCUSSÃO

A zircônia é um material extremamente resistente que chamou a atenção de inúmeros pesquisadores inicialmente por esta característica. Este material apresenta 3 fases cristalográficas distintas as quais são temperatura dependente. Na temperatura ambiente a zircônia permanece estável na fase monoclínica (temperatura ambiente até 1170 graus), e com o aumento da temperatura o material passa para outras fases menos estáveis como a fase tetragonal (entre 1170 e 2370 graus), e cúbica (acima de 2370 graus até o ponto de fusão). Como a fase mais resistente é a tetragonal e esta não é estável em temperatura ambiente, alguns óxidos foram incorporados para estabilizá-la nesta fase sendo que os mais comuns são os óxidos de ítrio (Y_2O_3) na concentração de 3 a 6%, de cálcio (CaO), de magnésio (MgO) ou de cério (CeO_2) (DELLA BONA, 2009; KIRMALI et al., 2015). Este polimorfismo e dinamicidade em modificar sua estrutura cristalina torna este material extremamente interessante, caracterizando uma grande vantagem quando comparado aos outros materiais cerâmicos existentes no mercado odontológico até o presente momento (KASRAEI et al., 2014; YENISEY, DEDE, RONA, 2016; PEREIRA et al., 2020).

A cerâmica de zircônia parcialmente estabilizada na fase monoclínica apresenta um comportamento mecânico superior ao observado pelas demais cerâmicas odontológicas. Tal desempenho advém do “processo de tenacificação” ou também conhecido como “transformação induzida pelo estresse”. Mediante estresse induzido por fatores térmicos e/ou mecânicos pode ocorrer, dependendo da intensidade do estresse, uma indução de transformação da fase tetragonal em fase monoclínica. Como esta última apresenta grãos de 3 a 5% maiores do que dos grãos da fase tetragonal, o resultado final será a formação de tensões de compressão ao redor do defeito ou falha. Este fenômeno permite que a zircônia resista ativamente à propagação de micro trincas nas extremidades de uma possível falha (fenda). (PICONI, MACCAURO, 1999; AKIN et al., 2012; VALENTINO., 2012; KIRMALI et al., 2015).

Em outras palavras, é por meio das alterações microestruturais resultantes de tensões compressivas ou térmicas que a zircônia reduz as chances de propagação da

fenda, visto que esta mudança de fase é acompanhada de um aumento de volume de 3 a 5% dos cristais ao redor da “possível trinca”. Para que a trinca siga seu curso, ela deve apresentar uma tensão compressiva que supere a que foi formada ao seu entorno (MACCAURO, 1999; DELLA BONA, 2009; AKIN et al., 2012; VALENTINO, 2012; KIRMALI et al., 2015). No presente estudo a irradiação com laser de diodo gerou a formação de algumas trincas que puderam ser observadas em microscopia eletrônica de varredura (MEV), exatamente no caminho percorrido pela fibra ótica (figura 13). Clinicamente, mediante ao processo de tenacificação estas trincas poderiam não progredir necessariamente para fratura do material, entretanto, a resistência de união diminuiu significativamente nos grupos que receberam a irradiação sobre o corante de carbono (grupos LA e LAL), que foi o responsável em aumentar a interação com o laser de diodo com a superfície da Zircônia. Vale ressaltar que no grupo onde a irradiação foi realizada somente após a aplicação do sistema adesivo, sem o uso de corante concomitantemente, a verificação da formação de trincas não foi realizada devido a presença do adesivo na superfície. Se ocorreu a formação de trincas, as mesmas não poderiam ser visualizadas em MEV devido ao vedamento proporcionado pelo adesivo no grupo AL.

Independentemente da alta resistência da zircônia o material apresenta dois principais problemas: estética e adesão. Os problemas relacionados a estética têm sido solucionados, em parte, pela evolução do material que, atualmente, permite a confecção de restaurações mais estéticas e ainda com excelentes propriedades mecânicas (DELLA BONA, 2009; SHIN et al., 2014).

Entretanto, o maior problema relacionado com o processo adesivo que é essencial para o sucesso clínico ainda permanece. Como já salientado, atualmente existem algumas alternativas que têm sido exaustivamente pesquisadas com alguns resultados interessantes. O padrão ouro para cimentação de peças cerâmicas a base de zircônia é a silicatização, a qual baseia-se na estratégia adotada nas cerâmicas vítreas onde a presença da sílica na composição permite sua remoção parcial pela ação do ácido (ATSU et al., 2006; AKIN et al., 2015; MAHMOODI et al., 2016; YENISEY, DEDE, RONA, 2016). A silicatização visa incorporar sílica na superfície da cerâmica

policristalina vislumbrando melhoria na adesão, através do imbricamento micromecânico e adesão química pelo agente silano, com os agentes resinosos de cimentação. (ATSU et al., 2006; AKIN et al., 2015; LIU et al., 2015; YENISEY, DEDE, RONA., 2016; MAHMOODI et al.,2016; ZANATTA et al., 2017; SCAMINACI et al., 2019).

Por outro lado, algumas situações como o jateamento e envelhecimento térmico podem induzir a transformação de zircônia parcialmente estabilizada de volta para a fase monoclínica, visto que esta estabilização é metaestável, com redução das suas propriedades mecânicas (PEREIRA et al., 2020). Assim, a irradiação com diferentes tipos de laser tem sido pesquisada, por não envolver impacto superficial, na tentativa de evitar estes problemas causados pelos tratamentos atualmente disponíveis.

Dentre os inúmeros tipos de laser existentes, os lasers de Érbio (Er:YAG), Neodímio (Nd:YAG), Dióxido de Carbono (CO_2) e laser de Diodo são os mais utilizados em Odontologia, e já foram estudados frente a irradiação da zircônia em busca da otimização dos procedimentos adesivos (ARAMI et al, 2014; KASRAEI et al., 2014; KASRAEI et al., 2015; AKHAVAN et al., 2015; AKIN et al., 2015; LIU et al., 2015; MAHMOODI et al., 2016; YENISEY, DEDE, RONA., 2016; ZANATTA et al., 2017). Com relação a forma geral do mecanismo de ação dos lasers, Pereira et al., (2020) relatam em seu trabalho que as modificações são conduzidas através da elevação de temperatura, que por sua vez é proveniente da transformação da energia luminosa emitida. O calor gerado interage com substrato produzindo derretimento controlado da camada superficial irradiada. Este mecanismo é referenciado por Kasraei et al., (2015) como sendo o efeito termo mecânico dos lasers.

O primeiro laser a ser investigado quanto a sua efetividade em aumentar a retenção a zircônia foi o laser de CO2, com resultados controversos (KASRAEI et al., 2014; AKHAVAN et al., 2015). Segundo Kasraei et al (2014), os resultados positivos são altamente dependentes dos parâmetros utilizados na irradiação, que segundo seus resultados, para o laser de CO2 os parâmetros de 3W de potência sob densidade de energia de 265,39 j/cm^2 são essenciais para aumentar a resistência de união à zircônia. Segundo os autores, a temperatura atingida com esses parâmetros gerou a formação de

microrachaduras as quais são esperadas e oportunas, pois aumentam a porosidade superficial que será preenchida pelo agente cimentante.

Por outro lado, Akhavan et al (2015) não encontraram resultados favoráveis promovidos pela irradiação com laser de CO_2 quando comparada ao jateamento com Al_2O_3. Os parâmetros utilizados foram diferentes (4W, em modo contínuo, com comprimento de onda de 1060nm por 50 segundos em uma área de 19.63 mm^2). Neste estudo os autores encontraram valores de resistência de união significativamente inferiores para o grupo irradiado com laser de CO2 quando comparado ao grupo que recebeu jateamento. Os resultados do presente estudo corroboram esses resultados, pois os grupos com irradiação prévia a aplicação do adesivo (grupos LA e LAL) apresentaram redução significativa nos valores de resistência adesiva. Esta queda foi mais acentuada nos grupos irradiados previamente a aplicação do adesivo, com uso do corante, que apresentaram queda significativa em relação aos grupos que não receberam irradiação prévia (grupos controle e AL). Como houve diferença significante entre os tratamentos testados no presente estudo, a hipótese nula foi rejeitada.

Outro laser muito investigado na literatura para os mesmos fins é o laser de érbio (Er:YAG). Alguns autores ao compararem pré tratamentos jateáveis a irradiação com laser de érbio sobre a zircônia concluíram que apesar dos maiores valores haverem sido obtidos pelo grupo que recebeu o pré tratamento de sílica coating, todos os grupos testados, inclusive o laser de érbio, foram eficientes e eficazes em produzir maiores valores de resistência de união quando comparado ao grupo que não recebeu nenhum tratamento prévio (AKIN et al., 2015). Por outro lado, Yenisey, Dede, Rona, (2016) afirmaram que a irradiação com laser de érbio provocou valores de resistência de união inferiores aos valores proporcionados pelos sistemas jateáveis testados. Os autores concluíram que o tratamento com o laser de Érbio corroborou de forma negativa por meio da formação de áreas de derretimento e microfissuras formadas na superfície irradiada. Apesar de alguns estudos terem considerado que a formação de microfendas possa ser benéfica para melhorar a adesão a zircônia, o presente estudo corroborou estes resultados pois nos grupos onde foi possível verificar as microfendas, a resistência de união diminuiu significativamente.

Devido ao fato do comprimento de onda do laser de érbio não apresentar boa interação com a zircônia, resultando em baixa absorção de energia, Kasraei et al., (2014), pontuaram em seu trabalho a necessidade de utilizar pó de grafite com intuito de melhorar a interação entre o laser de érbio e espécimes de zircônia a serem irradiados. Em concordância com o presente estudo, o uso do carbono líquido foi responsável em proporcionar a interação do laser de diodo com a superfície da zircônia acarretando em alteração superficial, que pode ser observada em MEV.

Ainda dentre os diferentes tipos de laser utilizados para aumentar a adesão a zircônia, o laser de neodímio (Nd: YAG) foi o mais estudado e também com resultados controversos. Segundo Zanatta et al., (2017), o laser de neodímio não só aumentou a rugosidade de superfície como também melhorou a resistência de união entre cimento resinoso e superfícies de zircônia Y-TZP, inclusive se destacando entre os sistemas jateáveis. Kasraei et al., (2015) também demonstraram resultados positivos quanto ao uso do laser de Nd:YAG em cerâmica de zircônia. Os autores realizaram um estudo cujo objetivo foi avaliar e comparar os efeitos da irradiação com os lasers de CO2 e Nd:YAG sobre a resistência de união, imediata e tardia (6 meses), em espécimes de zircônia cimentados com cimento resinoso. Ocorreram formações bolhosas além de micro rachaduras na superfície irradiada. Ambos espécimes irradiados apresentaram resistência de união significativamente maior que o grupo controle, sendo o laser Nd:YAG superior ao CO2.

Por outro lado, segundo Liu et al., (2015), o laser de neodímio provocou a formação de micro fendas e lascamento de pequenas partes da zircônia. Observaram que tanto o grupo controle quando os irradiados pelo laser de neodímio tiveram padrões de fratura bem parecidos, sendo a falha adesiva em maior abundância entre ambos os grupos. Logo, os autores concluíram que, apesar da maior rugosidade de superfície produzida pelo laser de Nd:YAG, não houve melhora na resistência de união quando comparado ao grupo controle, e que o aumento da potência pode levar a formação de defeitos estruturais sobre a superfície podendo repercutir negativamente sobre as propriedades mecânicas da zircônia. Resultados similares foram reportados por Mahmoodi et al., (2016) que constataram que muitos espécimes descolaram antes

mesmo de serem submetidos ao teste de microtração. Segundo os autores, o laser de Nd:YAG afetou adversamente a resistência de união e justificaram em virtude do estresse gerado pelo superaquecimento e concomitante expansão superficial dos grãos irradiados em um primeiro momento, seguido de solidificação da área previamente derretida acompanhada de transformação de fase, alteração volumétrica e formação de microfendas na superfície irradiada. Os autores argumentaram que a degradação da camada superficial pode ter sido responsável pela pobre ligação da superfície da cerâmica com as camadas subjacentes (internas) causando o desprendimento desta camada superficial irradiada. Os resultados do presente estudo corroboram essas hipóteses que comprovam que a presença de microfendas / microrachaduras acarretam em redução da resistência de união, provavelmente associada a redução das propriedades mecânicas da zircônia, as quais não foram avaliadas neste trabalho.

Conhecer o comprimento de onda de um laser é muito importante, visto que cada tipo de laser resulta em uma luz de comprimento de onda específico, e cada comprimento de onda interage de maneira diferente com cada estrutura ou tecido irradiado (GUTKNECHT, EDUARDO, 2004; TIPLER, MOSCA, 2009; PINHEIRO, JUNIOR, ZANIN, 2010). O laser de neodímio apresenta comprimento de onda de 1064nm e apresentou alguns resultados positivos em termos de aumento da resistência adesiva, entretanto apresenta como desvantagens o grande porte e o custo elevado. Como o laser de neodímio apresentou alguns resultados promissores, e o mesmo apresenta o comprimento de onda muito próximo ao laser de diodo (800 a 980nm), a proposta deste trabalho foi idealizada com o objetivo de analisar os efeitos da irradiação com laser de diodo sobre a resistência de união à zircônia. O laser de diodo utilizado no estudo além do comprimento de onda (980nm) próximo ao do neodímio, apresenta um pequeno porte, fácil portabilidade e custo bem inferior. Apesar de ser normalmente classificado como laser de baixa potência, alguns aparelhos podem emitir potências que variam de 1 a 7W, como o que foi utilizado no presente estudo. A geração de moléculas metaestáveis no laser de diodo, que são responsáveis em emitir a energia luminosa, é conseguida por meio de um semicondutor, ou seja, a energia elétrica é a grande responsável pela geração e propagação de moléculas excitadas, diferentemente dos lasers de alta

potência, que necessariamente precisam de radiação para que este fenômeno aconteça (TIPLER, MOSCA, 2009).

No presente estudo foram analisadas também diferentes estratégias de irradiação no que tange ao momento da irradiação: antes ou após a aplicação do adesivo. Estas diferentes estratégias foram idealizadas a partir dos estudos que analisaram o efeito dos diferentes tipos de laser na adesão aos substratos dentários (esmalte e dentina). Nestes substratos, quando os lasers foram irradiados previamente a aplicação do adesivo, principalmente na estratégia de confecção de preparos cavitários com laser para posterior hibridização adesiva, os resultados foram desapontadores com significativas quedas de resistência de união (DE MUNCK et al., 2002; MALTA et al., 2008; DE OLIVEIRA et al., 2013). Foi demonstrado que os lasers em alta potência provocaram uma fusão da dentina intertubular acarretando em dificuldades para penetração dos adesivos e formação da camada híbrida.

Entretanto, utilizando uma diferente estratégia onde o preparo cavitário é realizado de forma convencional e o laser é irradiado sobre o sistema adesivo já aplicado sobre o substrato dentinário, alguns autores demonstraram que laser foi capaz de melhorar significativamente os valores de resistência de união (GONÇALVES, ARAUJO, DAMIAO, 1999; FRANKE et al., 2006; MARIMOTO et al., 2013; MAENOSONO et al., 2015).

Marimoto et al., (2013), sugeriram que o aumento na resistência de união à dentina por meio da irradiação a laser é proveniente de transformação do substrato. Segundo os autores, a alta temperatura possivelmente promoveu um derretimento da camada superficial da dentina resultando em fusão de fibras colágenas da camada superficial com o próprio sistema adesivo dando origem a um novo substrato. Outros autores especularam que o aumento da temperatura seria responsável por aumentar a infiltração/penetração do adesivo sobre o substrato irradiado por reduzir a viscosidade, assim como promover maior taxa de volatizacão dos solventes (FRANKE et al., (2006); Maenosono et al., (2015) e Zabeu et al., 2018).

O presente trabalho avaliou essas diferentes estratégias de irradiação: antes da aplicação do adesivo, após a aplicação do adesivo, e a associação de ambas as estratégias, ou seja, antes e após a aplicação do adesivo sobre a zircônia. Segundo os

resultados, a estratégia de irradiação prévia, nos parâmetros utilizados, causou alteração superficial que foi possível ser visualizada em MEV, principalmente porque foi realizada com o uso concomitante de corante (carbono líquido) que aumentou a interação do laser gerando muito calor. Entretanto, estas alterações provocaram queda nos valores de resistência de união com diferenças significantes em relação ao grupo controle não irradiado (grupos LA e LAL).

A irradiação sobre o adesivo já aplicado sobre a zircônia, sobre o qual não foi possível o uso concomitante do corante, não provocou alteração significante provavelmente devido à baixa interação do laser de diodo com a zircônia/adesivo. Para o grupo LAL, onde o laser foi irradiado antes e após a aplicação do adesivo, os resultados demonstraram que a irradiação prévia causou a mesma queda sofrida pelo grupo que recebeu irradiação sobre o corante (grupo LA), e que a irradiação após foi insignificante, visto os resultados similares entre os grupos LA e LAL.

Como foi possível perceber, os resultados envolvendo os diferentes tipos de laser na busca do aumento da resistência adesiva sobre a zircônia são altamente divergentes, e isso ocorre devido à falta de padronização dos parâmetros envolvidos na irradiação dos substratos (AKIN et al., 2015; LIU et al., 2015; GARCÍA-SANZ et al., 2018; PEREIRA et al., 2020). Os parâmetros são altamente variáveis entre os diferentes estudos e dificultam o entendimento e estabelecimento de um protocolo eficaz que possa ser difundido cientificamente. O presente estudo buscou especificar e expor minuciosamente todos os parâmetros envolvidos na irradiação com o laser de diodo, e nos parâmetros utilizados este laser de diodo não apresentou resultados positivos e seu uso deve ser evitado.

7- CONCLUSÕES

Pelos resultados obtidos no presente estudo, foi possível concluir que:

- A irradiação com laser de diodo, nos parâmetros utilizados, prejudicou significativamente a resistência de união entre cimento resinoso e zircônia.
- Existem diferenças entre as estratégias de irradiação, sendo que a irradiação previamente a aplicação do adesivo promove maior queda nos valores de resistência de união, quando realizada sobre corante de carbono.

REFERÊNCIAS

Aboushelib MN. Fusion sputtering for bonding to zirconia-based materials. J Adhes Dent. 2012 Aug;14(4):323-8. doi: 10.3290/j.jad.a25684. PMID: 22724104.

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 Res Int. 2015;2015:389234. doi: 10.1155/2015/389234. Epub 2015 Oct 11. PMID: 26539485; PMCID: PMC4619787.

Akhavan Zanjani V, Ahmadi H, Nateghifard A, Ghasemi A, Torabzadeh H, Abdoh Tabrizi M, Alikhani F, Razi R, Nateghifard A. Effect of different laser surface treatment on microshear bond strength between zirconia ceramic and resin cement. J Investig Clin Dent. 2015 Nov;6(4):294-300. doi: 10.1111/jicd.12105. Epub 2014 Sep 3. PMID: 25187021.

Akin GE, Kaval ME, Turk T, Akin H. Surface roughness and bond strength of zirconia posts to a resin cement after various surface pretreatments. Photomed Laser Surg. 2015 May;33(5):246-51. doi: 10.1089/pho.2014.3861. Epub 2015 Apr 13. PMID: 25866998.

Akin H, Tugut F, Akin GE, Guney U, Mutaf B. Effect of Er:YAG laser application on the shear bond strength and microleakage between resin cements and Y-TZP ceramics. Lasers Med Sci. 2012 Mar;27(2):333-8. doi: 10.1007/s10103-011-0883-4. Epub 2011 Jan 21. PMID: 21253800.

Arami S, Tabatabae MH, Namdar SF, Chiniforush N. Effects of different lasers and particle abrasion on surface characteristics of zirconia ceramics. J Dent (Tehran). 2014 Mar;11(2):233-41. Epub 2014 Mar 31. PMID: 24910700; PMCID: PMC4043556.

Atsu SS, Kilicarslan MA, Kucukesmen HC, Aka PS. Effect of zirconium-oxide ceramic surface treatments on the bond strength to adhesive resin. J Prosthet Dent. 2006 Jun;95(6):430-6. doi: 10.1016/j.prosdent.2006.03.016. PMID: 16765155.

Bottino, MA *et al*. Effect of surface treatments on the resin bond to zirconium-based ceramic. Int J Prosthodont**,** 2005; Jan./Feb;18(1):60-65.

Casucci A, Goracci C, Chieffi N, Monticelli F, Giovannetti A, Juloski J, Ferrari M. Microtensile bond strength evaluation of self-adhesive resin cement to zirconia ceramic after different pre-treatments. Am J Dent. 2012 Oct;25(5):269-75. PMID: 23243974.

Da Silva EM, Miragaya L, Sabrosa CE, Maia LC. Stability of the bond between two resin cements and an yttria-stabilized zirconia ceramic after six months of aging in water. J Prosthet Dent. 2014;112(3):568-575. doi:10.1016/j.prosdent.2013.12.003

Della Bona A. Bonding to ceramics: scientific evidences for clinical dentistry, 1. ed. Artes Médicas; 2009.

De Melo RM, Valandro LF, Bottino MA. Microtensile bond strength of a repair composite to leucite-reinforced feldspathic ceramic. Braz Dent J. 2007;18(4):314-9. doi: 10.1590/s0103-64402007000400008. PMID: 18278302.

De Munck J, Van Meerbeek B, Yudhira R, Lambrechts P, Vanherle G. Micro-tensile bond strength of two adhesives to Erbium:YAG-lased vs. bur-cut enamel and dentin. Eur J Oral Sci. 2002;110(4):322-329. doi:10.1034/j.1600-0722.2002.21281.x

De Oliveira MT, Reis AF, Arrais CA, et al. Analysis of the interfacial micromorphology and bond strength of adhesive systems to Er:YAG laser-irradiated dentin. Lasers Med Sci. 2013;28(4):1069-1076. doi:10.1007/s10103-012-1157-5

Dérand P, Dérand T. Bond strength of luting cements to zirconium oxide ceramics. Int J Prosthodont. 2000;13(2):131-135.

De Sá Barbosa WF, Aguiar TR, Francescantonio MD, Cavalcanti AN, de Oliveira MT, Giannini M. Effect of water storage on bond strength of self-adhesive resin cements to zirconium oxide ceramic. J Adhes Dent. 2013 Apr;15(2):145-50. doi:10.3290/j.jad.a28733. PMID: 23534019.

Erdem A, Akar GC, Erdem A, Kose T. Effects of different surface treatments on bond strength between resin cements and zirconia ceramics. Oper Dent. 2014 May-Jun;39(3):E118-27. doi: 10.2341/12-420-L. Epub 2013 Dec 3. PMID: 24299447.

Ergun Kunt G, Duran I. Effects of laser treatments on surface roughness of zirconium oxide ceramics. BMC Oral Health. 2018 Dec 19;18(1):222. doi: 10.1186/s12903-018-0688-y. PMID: 30567536; PMCID: PMC6300027.

Ersu B, Yuzugullu B, Ruya Yazici A, Canay S. Surface roughness and bond strengths of glass-infiltrated alumina-ceramics prepared using various surface treatments. J Dent. 2009 Nov;37(11):848-56. doi: 10.1016/j.jdent.2009.06.017. Epub 2009 Jul 1. PMID: 19616883.

Franke M, Taylor AW, Lago A, Fredel MC. Influence of Nd:YAG laser irradiation on an adhesive restorative procedure. Oper Dent. 2006 Sep-Oct;31(5):604-9.

García-Sanz V, Paredes-Gallardo V, Mendoza-Yero O, Carbonell-Leal M, Albaladejo A, Montiel-Company JM, Bellot-Arcís C. The effects of lasers on bond strength to ceramic materials: A systematic review and meta-analysis. PLoS One. 2018; Jan 2;13(1):e0190736. doi: 10.1371/journal.pone.0190736. PMID: 29293633; PMCID: PMC5749860.

Gomes AL, Ramos JC, Santos-del Riego S, Montero J, Albaladejo A. Thermocycling effect on microshear bond strength to zirconia ceramic using Er:YAG and tribochemical silica coating as surface conditioning. Lasers Med Sci. 2015;30(2):787-795.

Gonçalves SEP, Araujo MAM, Damiao AJ. Dentin bond strength: influence of laser irradiation, acid etching, and hypermineralization. J Clin Laser Med Surg. 1999 Apr;17(2):77-85.

Gutknecht, N, Eduardo CP. A odontologia e o Laser - Atuação do Laser na Especialidade Odontológica: Ed. Quintessence; 2004.

Karakoca S, Yilmaz H. Influence of surface treatments on surface roughness, phase transformation, and biaxial flexural strength of Y-TZP ceramics. J Biomed Mater Res B Appl Biomater. 2009 Nov;91(2):930-7. doi: 10.1002/jbm.b.31477. PMID: 19637376.

Kasraei S, Atefat M, Beheshti M, Safavi N, Mojtahedi M, Rezaei-Soufi L. Effect of Surface Treatment with Carbon Dioxide (CO2) Laser on Bond Strength between Cement Resin and Zirconia. J Lasers Med Sci. 2014; Summer;5(3):115-20.

Kasraei S, Rezaei-Soufi L, Heidari B, Vafaee F. Bond strength of resin cement to CO2 and Er:YAG laser-treated zirconia ceramic. Restor Dent Endod. 2014; Nov;39(4):296-302.

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. J Dent (Tehran). 2015; Sep;12(9):686-94.

Kasraei S, Yarmohamadi E, Ranjbaran Jahromi P, Akbarzadeh M. Effect of 940nm Diode Laser Irradiation on Microtensile Bond Strength of an Etch and Rinse Adhesive (Single Bond 2) to Dentin. J Dent (Shiraz). 2019;20(1):30-36. doi:10.30476/DENTJODS.2019.44560

Kirmali O, Barutcigil Ç, Ozarslan MM, Barutcigil K, Harorlı OT. Repair bond strength of composite resin to sandblasted and laser irradiated Y-TZP ceramic surfaces. Scanning. 2015;37(3):186-192.

Liu L, Liu S, Song X, Zhu Q, Zhang W. Effect of Nd: YAG laser irradiation on surface properties and bond strength of zirconia ceramics. Lasers Med Sci. 2015; Feb;30(2):627-34.

Lung CY, Liu D, Matinlinna JP. Silica coating of zirconia by silicon nitride hydrolysis on adhesion promotion of resin to zirconia. Mater Sci Eng C Mater Biol Appl. 2015;46:103-110. doi:10.1016/j.msec.2014.10.029

Mackert JR, Butts MB; Fairhurst CW. The effect of the leucite transformation on dental porcelain expansion. Dent Mater. Copenhagen, 1986; Feb.;2(1):32-36.

Maenosono RM, Bim Júnior O, Duarte MA, Palma-Dibb RG, Wang L, Ishikiriama SK. Diode laser irradiation increases microtensile bond strength of dentin. Braz Oral Res. São Paulo, Dec. 2015; Epub Dec 02, 2014; 29(1):1-5.

Maggioni M, Attanasio T, Scarpelli F. Láser en odontologia: Ed. Amolca; 2010. McLean JW. The science and art of dental ceramics. Oper Dent. 1991 Jul-Aug;16(4):149-56. PMID: 1805184

Mahmoodi N, Hooshmand T, Heidari S, Khoshro K. Effect of sandblasting, silica coating, and laser treatment on the microtensile bond strength of a dental zirconia ceramic to resin cements. Lasers Med Sci. 2016; Feb;31(2):205-11

Malta DAMP, Costa MM, Pelino JEP, de Andrade ME, Lizarelli RFZ. Bond Strength of an adhesive system irradiated with Nd:YAG laser in dentin treated with Er:YAG laser. Laser Phys Lett. 2008;5(2):144-150.

Marimoto AK, Cunha LA, Yui KC, Huhtala MF, Barcellos DC, Prakki A, et al. Influence of Nd:YAG Laser on the Bond Strength of Self-etching and Conventional Adhesive Systems to Dental Hard Tissues. Oper Dent. 2013 Jul-Aug;38(4):447-55.

Oliveira-Ogliari A, Collares FM, Feitosa VP, Sauro S, Ogliari FA, Moraes RR. Methacrylate bonding to zirconia by in situ silica nanoparticle surface deposition. Dent Mater. 2015 Jan;31(1):68-76. doi: 10.1016/j.dental.2014.11.011. Epub 2014 Dec 9. PMID: 25498521.

Pereira RSF, Moura CG, Henrique B, Chevalier J, Silva FS, Fredel MC. Influence of laser texturing on surface features, mechanical properties and low-temperature degradation behavior of 3Y-TZP. Ceram Int. 2020; Feb.; 46;3,(15):3502-3512.

Piconi C, Maccauro G. Zirconia as a ceramic biomaterial. Biomaterials. 1999 Jan;20(1):1-25. doi: 10.1016/s0142-9612(98)00010-6. PMID: 9916767.

Pinheiro ALB, Junior AB, Zanin FAA. Aplicação do laser na odontologia: Ed. Santos; 2010.

Scaminaci Russo D, Cinelli F, Sarti C, Giachetti L. Adhesion to Zirconia: A Systematic Review of Current Conditioning Methods and Bonding Materials. Dent J (Basel). 2019 Aug 1;7(3):74.

Sciasci P, Abi-Rached FO, Adabo GL, Baldissara P, Fonseca RG. Effect of surface treatments on the shear bond strength of luting cements to Y-TZP ceramic. J Prosthet Dent. 2015;113(3):212-219. doi:10.1016/j.prosdent.2014.09.012

Shin YJ, Shin Y, Yi YA, et al. Evaluation of the shear bond strength of resin cement to Y-TZP ceramic after different surface treatments. Scanning. 2014;36(5):479-486.

Tedesco TK, Montagner AF, Skupien JA, Soares FZ, Susin AH, Rocha RO. Starch tubing: an alternative method to build up microshear bond test specimens. J Adhes Dent. 2013 Aug;15(4):311-5.

Tipler PA, Mosca G. Física para cientistas e engenheiros. São Paulo: Livros Técnicos e científicos Editora LTDA; 2009.

Turker SB, Ozcan M, Mandali G, Damla I, Bugurman B, Valandro LF. Bond strength and stability of 3 luting systems on a zirconia-dentin complex. Gen Dent. 2013;61(7):e10-e13.

Valentino TA, Borges GA, Borges LH, Platt JA, Correr-Sobrinho L. Influence of glazed zirconia on dual-cure luting agent bond strength. Oper Dent. 2012 Mar-Apr;37(2):181-7. doi: 10.2341/10-220-L. Epub 2011 Dec 14. PMID: 22166107.

Yang L, Xie H, Meng H, Wu X, Chen Y, Zhang H, Chen C. Effects of Luting Cements and Surface Conditioning on Composite Bonding Performance to Zirconia. J Adhes Dent. 2018;20(6):549-558. doi: 10.3290/j.jad.a41634. PMID: 30564802.

Yenisey M, Dede DÖ, Rona N. Effect of surface treatments on the bond strength between resin cement and differently sintered zirconium-oxide ceramics. J Prosthodont Res. 2016;60(1):36-46.

Yi YA, Ahn JS, Park YJ, et al. The effect of sandblasting and different primers on shear bond strength between yttria-tetragonal zirconia polycrystal ceramic and a self-adhesive resin cement. Oper Dent. 2015;40(1):63-71.

Zabeu GS, Maenossono RM, Scarcella CR, Brianezzi LFF, Palma-Dibb RG, Ishikiriama SK. Effect of diode laser irradiation on the bond strength of polymerized non-simplified adhesive systems after 12 months of water storage. J Appl Oral Sci. 2018;27:e20180126. Published 2018 Dec 10. doi:10.1590/1678-7757-2018-0126

Zanatta RF, Esper MALR, Pucci CR, Borges AB & Torres CRG. Effects of different surface treatments of zirconia on the bond strength of self-adhesive resinous cement, J Adhes Sci Technol. 2017;31(1):21-30.

Zhang Y, Sun T, Liu R, Feng X, Chen A, Shao L. An in vitro evaluation of the zirconia surface treatment by mesoporous zirconia coating on its bonding to resin cement. Biomed Mater Eng. 2014;24(6):2109-16. doi: 10.3233/BME-141021. PMID: 25226908.

Zhao L, Jian YT, Wang XD, Zhao K. Bond strength of primer/cement systems to zirconia subjected to artificial aging. J Prosthet Dent. 2016;116(5):790-796.