

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO  
FACULDADE DE ODONTOLOGIA DE RIBEIRÃO PRETO  
Departamento de Materiais Dentários e Prótese

KAÍSSA DA CUNHA LIMA

**PROPRIEDADES FÍSICAS E MECÂNICAS DE CERÂMICAS DE DISSILICATO DE  
LÍTIO SUBMETIDAS A PROTOCOLOS SIMPLIFICADOS DE QUEIMA E  
CARACTERIZAÇÃO SUPERFICIAL**

RIBEIRÃO PRETO  
2023

KAÍSSA DA CUNHA LIMA

**PROPRIEDADES FÍSICAS E MECÂNICAS DE CERÂMICAS DE DISSILICATO DE  
LÍTIO SUBMETIDAS A PROTOCOLOS SIMPLIFICADOS DE QUEIMA E  
CARACTERIZAÇÃO SUPERFICIAL**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à  
Faculdade de Odontologia de Ribeirão Preto,  
como requisito parcial à obtenção do título de  
Cirurgião Dentista

Orientadora: Prof<sup>ª</sup>. Dr<sup>ª</sup>. Fernanda de Carvalho  
Panzeri Pires de Souza.

RIBEIRÃO PRETO  
2023

Autorizo a reprodução e divulgação total ou parcial deste trabalho, por qualquer meio convencional ou eletrônico, para fins de estudo e pesquisa, desde que citada a fonte.

Nome: LIMA, Kaíssa da Cunha

Título: Propriedades Físicas e Mecânicas de Cerâmica de Dissilicato de Lítio Submetidas a Protocolos Simplificados de Queima e Caracterização Superficial.

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Faculdade de Odontologia de Ribeirão Preto, como requisito parcial à obtenção do título de Cirurgião Dentista.

Aprovado em: \_\_\_/\_\_\_/\_\_\_

Banca Examinadora

Prof. Dr. \_\_\_\_\_

Instituição: \_\_\_\_\_

Julgamento: \_\_\_\_\_

Profa. Dra. \_\_\_\_\_

Instituição: \_\_\_\_\_

Julgamento: \_\_\_\_\_

Prof. Dr. \_\_\_\_\_

Instituição: \_\_\_\_\_

Julgamento: \_\_\_\_\_

## **AGRADECIMENTOS:**

Agradeço a Faculdade de Odontologia de Ribeirão Preto por ter me proporcionado uma formação tão completa, por me conceder diversas oportunidades de crescimento profissional e pessoal e por ter vivido grandes momentos durante esses cinco anos e meio.

Agradeço ao corpo docente pela dedicação e auxílio na minha formação e a cada um dos funcionários da FORP que trabalham diariamente para que tudo funcione.

Agradeço aos meus pais e ao meu irmão por terem sido fonte de apoio, carinho e força. Seus esforços para me auxiliar nessa caminhada foram indispensáveis. Serei eternamente grata.

Agradeço a minha orientadora Prof<sup>ª</sup>. Dr<sup>ª</sup>. Fernanda Panzeria por ter me concedido a oportunidade de ter contato com a pesquisa, por ter me conduzido em cada etapa, por toda paciência, ajuda e esforços dispensados.

Agradeço a cada um dos meus amigos que tive oportunidade de conhecer durante essa jornada, vocês fizeram esses cinco anos e meio serem completos com muita alegria, companheirismo e apoio. Cada um se tornou parte da minha família.

Agradeço a Deus por toda proteção, por ter me guiado em cada detalhe e ter me abençoado com essa grande conquista.

## RESUMO

O presente estudo avaliou o efeito de diferentes protocolos utilizados para cristalização e pigmentação das cerâmicas de dissilicato de lítio utilizadas no sistema CAD/CAM, na rugosidade e resistência à flexão quando submetidos a envelhecimento. Foram obtidas 42 barras de cerâmica de dissilicato de lítio (IPS e-max CAD, IvoclarVivadent) de 16 x 4 x 2 mm, polidas com lixas d'água de carbetto de silício (320, 600, 1200 e 2000 grit). Foram aleatoriamente separadas em dois grupos e submetidas a protocolos de pigmentação e cristalização diferentes: Grupo A (Passo único) – Camada do corante + Camada do glaze (IvoclarVivadent) + Cristalização. Grupo B (Passos múltiplos) – Cristalização + Primeira camada do corante + Queima de pigmentação + Segunda camada do pigmento + Segunda queima de pigmentação + Camada do glaze + Queima de glazeamento. Após os protocolos, foram realizadas leituras iniciais de rugosidade (Surfcorder SE 1700, Kosakalab). As amostras foram então separadas aleatoriamente em três grupos (n = 7) segundo o método de envelhecimento a que foram submetidas: Ciclagem Termomecânica (Sistema ER, Erios, 1.200.000 ciclos, frequência de 2 Hz e 5 °C/37 °C/55 °C, 30 s de imersão), Escovação simulada (Pepsodent, MAVTEC, 73.000 ciclos) e Controle (sem envelhecimento). Leituras finais de rugosidade foram realizadas, e as amostras foram submetidas ao ensaio de resistência à flexão de três pontos (OM100, Odeme Dental Research) e à análise fractográfica por meio de microscopia eletrônica de varredura (JSM 5410, Sony). Os dados foram analisados estatisticamente (2-way ANOVA,  $p < 0,05$ ) encontrando que não houve diferença entre os protocolos de queima na resistência à flexão, independente do envelhecimento ( $p > 0,05$ ). No protocolo de passos múltiplos, a escovação resultou em menor resistência à flexão do que o controle ( $p < 0,05$ ). As amostras sem envelhecimento e as cicladas tiveram menor rugosidade de superfície inicial no protocolo de passos múltiplos do que no protocolo de passo único ( $p < 0,05$ ). A rugosidade final das amostras submetidas ao protocolo de passo único foi maior que das submetidas a passos múltiplos após escovação ( $p < 0,05$ ). Não houve diferença ( $p < 0,05$ ) na variação de rugosidade independente do protocolo e envelhecimento ( $p < 0,05$ ). Conclui-se que os protocolos de queima não influenciaram na resistência à flexão nem na variação da rugosidade da cerâmica de dissilicato de lítio, mesmo após envelhecimento. No entanto, a escovação afetou negativamente a resistência à flexão.

Palavras-chave: Dissilicato de Lítio; Cristalização; Escovação Simulada; Termociclagem; Rugosidade; Resistência à Flexão.

## ABSTRACT

The present study evaluated the effect of different protocols used for crystallization and staining of lithium disilicate ceramics used in the CAD/CAM system on the roughness and flexural strength when undergoing aging. Forty-two 16 x 4 x 2 mm lithium disilicate ceramic bars (IPS e-max CAD, IvoclarVivadent) were obtained and polished with silicon carbide water sandpapers (320, 600, 1200 and 2000 grit). They were randomly separated into two groups and subjected to different staining and crystallization protocols: Group A (Single step) - Dye layer + Glaze layer (IvoclarVivadent) + Crystallization. Group B (Multiple steps) - Crystallization + First layer of the stain + Stain firing + Second layer of the stain + Second Stain firing + Glaze layer + Glaze firing. After the protocols, initial roughness readings were taken (Surfcorder SE 1700, Kosakalab). The samples were then randomly separated into three groups (n = 7) according to the aging method they were subjected to: Thermomechanical cycling (ER System, Erios, 1,200,000 cycles, 2 Hz frequency and 5 °C/37 °C/55 °C, 30 s immersion), Simulated brushing (Pepsodent, MAVTEC, 73,000 cycles), and Control (no aging). Final roughness readings were taken, and the samples were subjected to the three-point bending strength test (OM100, Odeme Dental Research) and fractographic analysis by scanning electron microscopy (JSM 5410, Sony). The data were statistically analyzed (2-way ANOVA,  $p < 0,05$ ) finding that there was no difference between the firing protocols in flexural strength, independent of aging ( $p > 0,05$ ). In the multi-step protocol, brushing resulted in lower flexural strength than the control ( $p < 0,05$ ). The unaged and cycled samples had lower initial surface roughness in the multi-step protocol than in the single-step protocol ( $p < 0,05$ ). The final roughness of samples subjected to the single-step protocol was higher than those subjected to multiple steps after brushing ( $p < 0,05$ ). There was no difference ( $p < 0,05$ ) in roughness variation independent of protocol and aging ( $p < 0,05$ ). It is concluded that the firing protocols did not influence the flexural strength or the roughness variation of lithium disilicate ceramics, even after aging. However, brushing negatively affected flexural strength.

Keywords: Lithium disilicate; Crystallization; Simulated Brushing; Thermocycling; Roughness; Flexural Strength.

## SUMÁRIO:

INTRODUÇÃO -----	9
OBJETIVOS -----	12
MATERIAIS E MÉTODOS -----	13
1. Preparo das amostras -----	13
2. Leitura da rugosidade -----	15
3. Tratamentos -----	16
A. Ciclagem -----	16
B. Escovação Simulada -----	17
4. Resistência a Flexão -----	18
5. Análise Fractográfica - Microscopia Eletrônica de Varredura -----	19
6. Análise estatística -----	19
FLUXOGRAMA -----	19
RESULTADOS -----	20
DISCUSSÃO -----	21
CONCLUSÃO -----	29
REFERÊNCIAS -----	30

## INTRODUÇÃO

A odontologia atual busca cada vez mais a otimização dos trabalhos clínicos e laboratoriais por meio da associação entre durabilidade, naturalidade e rapidez na obtenção de restaurações [1]. Nesse cenário, o sistema CAD/CAM (CAD: computer-aided design – Desenho assistido por computador e CAM: computer-aided manufacturing – Manufatura assistida por computador) tem sido utilizado com maior frequência por fornecer essas características, oferecendo qualidade e precisão nos contornos, boa adaptação de margens e menos sessões clínicas [1,2]. Nesse sistema, são usados blocos cerâmicos que oferecem excelente consistência e menor índice de fratura quando comparado aos processos realizados manualmente [2,3].

Os blocos a base de dissilicato monolítico de lítio, diferentemente dos sistemas de cerâmicas feldspáticas, possuem em sua composição cristais de dissilicato de lítio dispostos de forma densa e unidos por uma matriz vítrea [4,5]. Sendo assim, são escolhidos por apresentar excelentes propriedades como: biocompatibilidade, boa estabilidade de cor, condutividade térmica semelhante ao dos tecidos dentais além de características com grande potencial para simular a aparência de dentes naturais. Isso se deve ao índice de refração semelhante ao do esmalte dental [6].

Devido à essas propriedades, as cerâmicas a base de dissilicato de lítio possuem uma grande possibilidade de indicações, dentre elas coroas unitárias, facetas laminadas, inlays, onlays, e prótese fixa de três elementos [4]. No entanto, apesar da facilidade e rapidez promovida pelo sistema CAD/CAM e das propriedades semelhantes ao dos tecidos dentais, as cerâmicas de dissilicato de lítio fornecidas pelos fabricantes encontram-se pré-cristalizadas, necessitando de uma cristalização completa em fornos de alta temperatura para melhorar sua resistência e estética antes de serem cimentadas [7]; além de passar por um processo de pigmentação, dado que são apresentadas como monoblocos, sem estratificação.

O ciclo de queima das cerâmicas depende de sua composição e marca comercial, sendo submetidas a temperaturas elevadas por diferentes períodos de tempo, de acordo com o protocolo indicado pelo fabricante. O processo de cristalização final da cerâmica de dissilicato de lítio, utilizada no presente estudo, ocorre após sinterização a vácuo da restauração a 850 °C por 20 a 25 minutos [7,8].

Além disso, a caracterização externa customizada da restauração definitiva é realizada visando melhorar ainda mais a estética e imitar a aparência natural do dente [9]. Essa técnica de maquiagem consiste na aplicação de camadas de pigmentos sobre peças monocromáticas e a finalização com glaze.

A caracterização das cerâmicas exige também que as peças sejam aquecidas em forno para fixação dos pigmentos, sendo necessários vários ciclos de queima [10]. Segundo o fabricante, profissionais devem utilizar técnica em que os pigmentos são aplicados gentilmente, em duas ou mais camadas, sendo que todas as camadas devem ser queimadas em forno. Ao final, deve-se aplicar o glaze que será a queima final da restauração antes da cimentação [11].

Entretanto, muitas vezes, profissionais fazem apenas uma aplicação de maquiagem, seguida de uma única sessão de queima e glaze, a fim de otimizar o tempo e diminuir a quantidade de material gasto para confecção das restaurações, não seguindo as recomendações do fabricante. Apesar de ser um procedimento considerado incorreto, segundo o fabricante, esta é a realidade de muitos profissionais e nota-se que não há consenso quanto aos protocolos a serem seguidos nem mesmo se os protocolos recomendados pelo fabricante apresentam a mesma ou melhor eficiência que os simplificados.

A cristalização da cerâmica de dissilicato de lítio reestrutura e reorganiza a sua microestrutura obtendo melhores propriedades mecânicas e ópticas [5,12]. A primeira queima serve para eliminar as microfissuras e liberar as tensões associadas aos procedimentos de acabamento e polimento [13]. A segunda e a terceira queimas são etapas necessárias para caracterização da restauração [10]. Presume-se que, após a terceira queima, uma restauração de cerâmica pura esteja pronta para ser instalada na boca. Já a quarta e as subseqüentes queimas são necessárias apenas quando é preciso corrigir a forma e cor [10].

A literatura mostra resultados controversos em relação à queima repetida da cerâmica de dissilicato de lítio. De acordo com Subaşı et al. [14], sucessivas queimas podem causar concentração de tensão na superfície da cerâmica que pode alterar a morfologia da sua estrutura cristalina [5,14], e como consequência modificar as suas propriedades mecânicas [15], entre elas a resistência a resistência à flexão [16]. Aparentemente também a aplicação de pigmentos cria uma camada de vidro amorfa na cerâmica que seria responsável por diminuir a sua resistência [17].

No entanto, parece que mudanças na microestrutura da cerâmica nem sempre afetam significativamente os valores de resistência à flexão. Oh et al. [18] encontraram que a resistência à flexão diminuiu após a sétima queima, mas essa diminuição não foi estatisticamente significativa. Resultados similares foram obtidos por Gozneli et al. [10]. Sendo assim, seria importante avaliar como diferentes protocolos de queima afetam a resistência à flexão da cerâmica a base de dissilicato de lítio.

Têm sido reportadas alterações físicas na superfície das cerâmicas de dissilicato de lítio após múltiplas queimas [17]. Em um estudo realizado por Miranda et al. [17] encontraram que a

rugosidade de superfície da cerâmica de dissilicato de lítio aumentou após a quarta queima. As altas temperaturas atingidas durante esse procedimento possivelmente induzem a deformação térmica do material, o que aumenta a rugosidade [17,19].

Por outra parte, embora as cerâmicas de dissilicato de lítio apresentem excelentes propriedades; ao longo do tempo, diante das diferentes condições físico-químicas encontradas na cavidade bucal, podem sofrer alterações na sua estrutura [20]. Estudos demonstram que com o tempo a rugosidade da superfície da cerâmica aumenta [2,20] e a sua resistência à flexão diminui [17]. Atualmente, existem diversos métodos de envelhecimento artificial acelerado disponíveis para simulação do ambiente oral e avaliação das alterações que ocorrem no longo prazo.

A ciclagem termomecânica é um procedimento *in vitro* amplamente utilizado que simula a variação térmica intraoral durante a mastigação. Desta forma, as amostras são imersas em líquidos com diferentes temperaturas, variando entre 5 a 55 °C [21], por vários ciclos de acordo com o tempo de envelhecimento a reproduzir. Assim mesmo, são submetidas a cargas compressivas com determinada frequência representando esforços mastigatórios reais. Este método pode afetar a longevidade da restauração ao simular o comportamento do material cerâmico no ambiente oral, permitindo assim, a análise comportamental desse material em situações clínicas [2,21].

Outro método frequentemente empregado para avaliar as alterações físicas ao longo do tempo é a escovação mecânica simulada [22]. Este método simula a higiene oral diária utilizando escovas dentais associadas a dentifrícios [22]. As forças aplicadas, a frequência e a técnica de escovação são padronizadas [23], eliminando as variações presentes *in vivo*. A força de escovação e as partículas abrasivas presentes na composição dos dentifrícios, podem desgastar a superfície das cerâmicas e, conseqüentemente, aumentar a rugosidade da superfície [23].

Devido à falta de estudos na literatura que avaliam o efeito dos protocolos e possíveis alterações nas propriedades da cerâmica ao longo do tempo, o presente estudo avaliará o efeito do protocolo comumente utilizado por profissionais e o indicado pelo fabricante no processo de cristalização e pigmentação da cerâmica a base de dissilicato de lítio obtida pelo sistema CAD/CAM na resistência à flexão e na rugosidade quando submetidas a procedimentos de envelhecimento (ciclagem termomecânica e escovação simulada). A hipótese testada será que não haverá diferença nas propriedades testadas, independente do tipo de envelhecimento ou do processo de cristalização final da restauração.

## **OBJETIVOS**

Este estudo teve como objetivo avaliar o efeito dos protocolos de cristalização e pigmentação da cerâmica de dissilicato de lítio obtidas pelo sistema CAD/CAM na resistência à flexão e na rugosidade de superfície quando submetidas a procedimentos de envelhecimento (ciclagem termomecânica e escovação simulada). O estudo partiu da hipótese nula de que não haveria diferença nas propriedades testadas, independente do tipo de envelhecimento ou do processo de cristalização final da restauração.

## MATERIAIS E MÉTODOS

### 1. Preparo das amostras

Foi realizado cálculo amostral ( $n=7$ ), a partir de estudo piloto, cujos resultados foram inseridos no site [www.openepi.com](http://www.openepi.com), considerando a diferença de duas médias, com um poder da amostra de 85%, com nível de significância de 5%. Blocos de cerâmica de dissilicato de lítio (IPS e-max CAD, IvoclarVivadent, SP, Brasil) foram seccionados nas dimensões de 16 x 4 x 2 mm, com auxílio de um disco diamantado acoplado a uma máquina de corte (Figura 1A e 1B- Isomet 1000, Buehler, Lake Bluff, EUA).

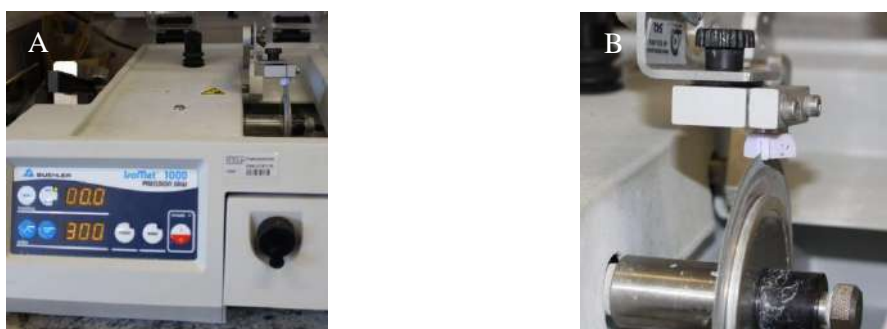


Figura 1A e 1B. Corte dos blocos de cerâmica

Após os cortes, as amostras foram polidas com auxílio de lixas d'água de carbetto de silício, em ordem decrescente de granulação (320, 600, 1200 e 2000) e sob refrigeração constante (Figura 2A e 2B). As amostras foram depositadas em aparelho de ultrassom (Cristófoli Biossegurança, Campo Mourão, Paraná, Brasil) contendo água destilada com o objetivo de eliminar as partículas das lixas.

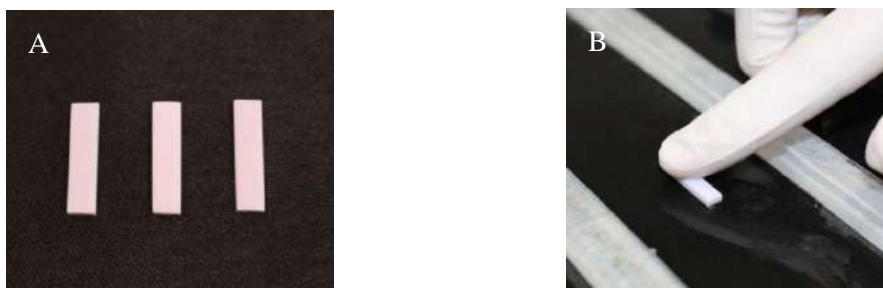


Figura 2A e 2B. Polimento dos corpos de prova

Em seguida, todas as barras foram aleatoriamente separadas em dois grupos e submetidas a protocolos de pigmentação e queimas diferentes, onde:

Grupo A (Queima combinada - Em passo único) - Foi aplicada uma camada do corante (Figura 3A e 3B) e uma camada do glaze em pasta (IvoclarVivadent, SP, Brasil) com auxílio de um pincel (Figura 4A e 4B); e posteriormente, a amostra foi queimado à temperatura inicial de 850°C durante 20 a 25 minutos, conforme indicações do fabricante (Figura 5A e 5B).

Grupo B (Queimas separadas) - As peças foram cristalizadas em um primeiro passo, segundo as recomendações do fabricante, sem a aplicação de quaisquer materiais (Pigmento e glaze) e a seguir, foi aplicada uma camada do corante e conduzida a queima de pigmentação. Ato contínuo, uma segunda camada do pigmento foi dispensada e realizada uma segunda queima de pigmentação. Finalmente, foi aplicada uma camada do glaze e a cerâmica foi submetida a queima de glazeamento.

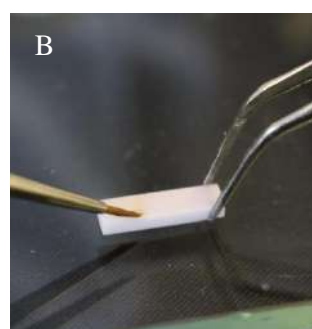


Figura 3A e 3B. Aplicação do corante

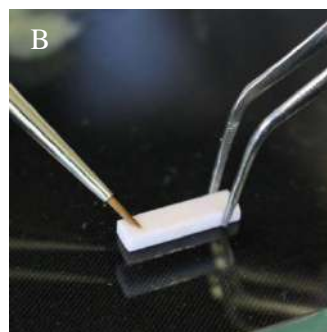


Figura 4A e 4B. Aplicação do glaze



Figura 5A e 5B. Queima da cerâmica

## 2. Leitura de rugosidade:

Após os protocolos de pigmentação e queima da cerâmica, as amostras foram imersas por 24 horas em água destilada. Na sequência, foram feitas leituras iniciais de rugosidade.

Para análise da rugosidade superficial das amostras, foi utilizado o rugosímetro Surfcomer SE 1700 (Figura 6 - Kosakalab, Toquio, Japão). Este aparelho é constituído de duas partes principais: a Unidade Programadora de Controle e Registro da Leitura e a Unidade Transversal Motorizada Precursora de Leitura. A primeira possui os comandos para que o aparelho seja acionado e para selecionar o programa desejado. A segunda unidade é composta por um motor e uma agulha, que ao se movimentar realiza a sondagem da superfície do material, de acordo com o programa escolhido. A unidade motora é fixada a uma haste vertical que, por sua vez, prende-se a uma base sólida de granito, oferecendo estabilidade ao conjunto. A base de granito fica paralela à unidade motorizada, que é passível de regulagem nos sentidos vertical e horizontal. A agulha será movimentada em uma única direção detectando as irregularidades da superfície que correspondem aos picos, vales e ondas. Este valor será então definido como a média dos afastamentos do pick-up tanto para cima como para baixo, em relação a uma linha central.

Foram realizadas três leituras em locais diferentes da superfície da amostra, uma central, uma 1 mm para direita e uma 1 mm para esquerda. Cada leitura obtida foi anotada e então realizada a média, obtendo o valor inicial de rugosidade para cada amostra. Foram comparados os valores iniciais e finais de rugosidade de superfície e além disso, foi calculada a alteração de rugosidade ( $\Delta Ra$ ) com a seguinte fórmula:

$$\Delta Ra = Ra_F - Ra_I$$

Onde:  $Ra_I$  é a medição inicial da rugosidade e  $Ra_F$  a final.



Figura 6. Leitura de Rugosidade

### 3. Tratamentos

Após as leituras iniciais de rugosidade, as amostras foram separadas aleatoriamente em três grupos, segundo o tipo de envelhecimento a que foram submetidas: Ciclagem Termomecânica, Escovação simulada e Controle (sem envelhecimento).

Antes do ensaio de ciclagem termomecânica foram obtidas 3 amostras de cerâmica nas dimensões descritas anteriormente, que foram processadas conforme as recomendações do fabricante. Em seguida, as amostras foram submetidas ao ensaio de resistência à flexão de três pontos com o objetivo de determinar a resistência máxima à fratura deste material nas dimensões a serem testadas (Figura 7A e 7B).

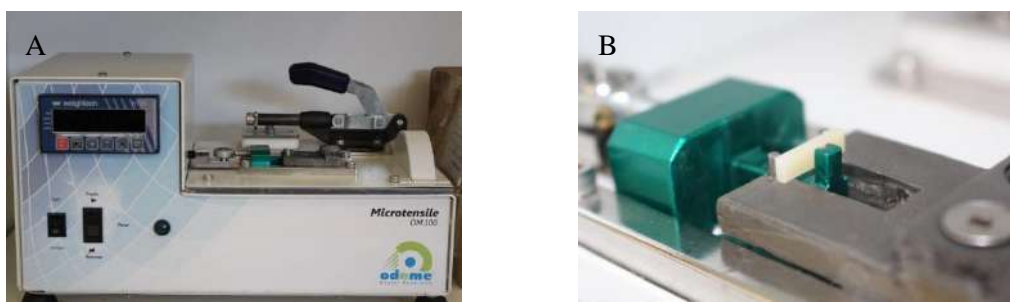


Figura 7A e 7B. Ensaio de resistência à flexão

#### A. Ciclagem Termomecânica

Para o envelhecimento artificial das amostras foi utilizado o aparelho de ciclagem termomecânica (Sistema ER, Erios, São Paulo, SP, Brasil), em que foram reproduzidos movimentos de mastigação associados a variação de temperatura ( $5\text{ }^{\circ}\text{C} - 37\text{ }^{\circ}\text{C} - 55\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) simulando 5 anos de uso (1.200.000 Ciclos) [24].

Nesse equipamento, a simulação do desgaste mecânico foi realizada através de cilindros pneumáticos acionados por compressor de ar. A força aplicada é proporcional à pressão em libras do sistema. O desgaste é simulado através de hastes em aço inox, de ponta ovoide, as quais pressionam as amostras com carga selecionada no manômetro. O equipamento apresenta 10 cilindros pneumáticos acionados ao mesmo tempo, com carga variável não individualizada, sendo que a força gerada sobre o corpo de prova é controlada através de uma célula de carga.

Para submissão das amostras a este teste, amostras dos Grupos A e B foram adaptadas em dispositivos impressos em manufatura aditiva (3D Printing UV Sensitive Resin, Anycubic, Shenzhen, Guandong, China) com 11 mm de diâmetro por 13 mm de altura (Figura 8). A borda desse tubo possui um recorte de 2 mm para que haja o encaixe da barra, evitando o deslocamento da amostra durante o envelhecimento.



Figura 8. Dispositivos impressos em manufatura

Os tubos foram adaptados às bases do equipamento com auxílio de garras individuais presentes em cada uma das 10 bases. O equipamento foi calibrado para aplicação de carga axial 20% menor da força de resistência máxima, conforme determinado inicialmente. Integrada à ciclagem mecânica, também foi realizada termociclagem com temperaturas variando de 5 °C, 37 °C e 55 °C ( $\pm 2$  °C). Cada temperatura ficou em contato com as amostras por 30 segundos, com intervalos de 12 segundos entre elas. As amostras foram submetidas a 1.200.000 ciclos (simulação de mastigação por cinco anos) [24], em frequência de 2 Hz, estando assim dentro dos limites estabelecidos pela norma ISO 14081 quando se utiliza meios líquidos para realização dos ensaios (Figura 9A e 9B). As amostras foram monitoradas durante o período de aplicação de carga. Após 1 hora do encerramento do ciclo de fadiga, serão realizadas leituras finais de rugosidade.

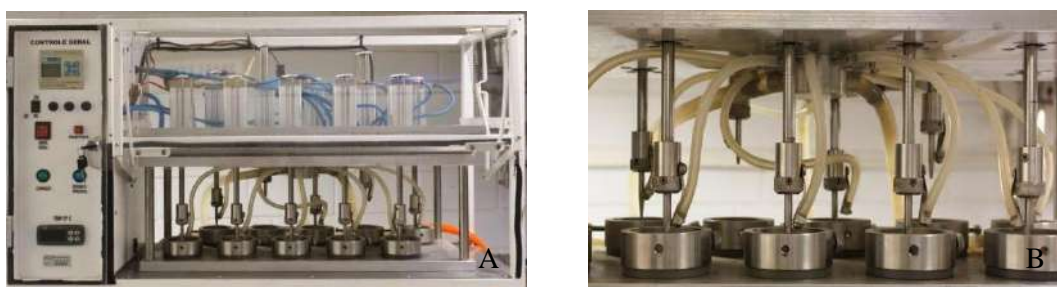


Figura 9A e 9B. Máquina de ciclagem termomecânica

## B. Escovação Simulada

Para a realização do procedimento de escovação simulada foi utilizada a máquina de escovação (Figura 10 - Pepsodent, MAVTEC - Com. Peças, Acess. e Serv. Ltda. ME, Ribeirão Preto, SP, Brasil) de acordo com a ISO/DTS 145692 [25]. Foi utilizada uma escova dental (Tek, Johnson & Johnson Ind. Com. Ltda., São José dos Campos, SP, Brasil) para cada amostra. As cabeças das escovas foram cortadas em baixa rotação com auxílio de uma peça reta e fresa maxicut (Edenta AG, Au, Suíça).



Figura 10. Máquina de escovação simulada

As barras de cerâmica foram fixadas em placas de acrílico com cola quente. Em seguida, as placas de acrílico com as amostras fixadas foram encaixadas nos dispositivos da máquina. A escova acoplada possuía o peso de 200 g e o curso percorrido por ela correspondeu a 3,8 centímetros. Os fragmentos foram escovados em velocidade de 356 rotações por minuto.

O dentífrício (Sorriso Dentes Brancos) foi diluído em água destilada na proporção de 20 g de dentífrício para 20 ml de água destilada. A mistura foi feita em manipulador a vácuo. A 300 (Polidental Ltda, Cotia, SP, Brasil) e posteriormente, foi vertida com seringa plástica (10 ml de solução) sobre cada amostra. Ao ser acionada, a simulação da escovação ocorreu por 73.000 ciclos, equivalentes a cinco anos de escovação por um indivíduo saudável [26]. Após a escovação simulada, novas leituras de rugosidade foram realizadas, conforme metodologia descrita, e as alterações foram calculadas.

#### 4. Resistência à flexão

Após as leituras finais de rugosidade, todas as amostras foram submetidas ao ensaio de resistência à flexão de três pontos (Figura 11 - Microtensile OM100, Odeme, Luzerna, SC, Brasil), com velocidade de 0,5mm/min. A resistência à flexão foi calculada segundo a fórmula que segue a ISO 6872 [27]:

$$\text{Resistência à flexão} = 3 \cdot x \cdot l / 2 \cdot w \cdot b^2$$

x = carga de fratura (kg)

b = espessura do corpo-de-prova (cm)

l = distância entre os pontos de suporte inferiores (cm)

w = largura do corpo-de-prova (cm)



Figura 11. Máquina de Resistência à flexão

## 5. Análise Fractográfica - Microscopia Eletrônica de Varredura

Após o ensaio de resistência a flexão, as amostras fraturadas foram observadas por meio da Microscopia eletrônica de varredura. (MEV, JSM 5410, Sony) em aumentos de 500, 1.000, 2.000 e 5.000 vezes, para analisar detalhadamente a superfície de fratura. Para isso, as amostras foram fixadas em stubs de alumínio com auxílio de fita dupla face de carbono (ElectronMicroscopySciences, Washington, EUA). Em seguida, receberam cobertura de ouro-paládio (Bal-Tec, modelo SCD 050 sputtercoater, Balzers, Liechtenstein) para serem observados a uma aceleração de voltagem de 20 KV, WD = 30 mm e spotsize 28 mm.

## 6. Análise estatística

Os valores rugosidade de superfície e a alteração dessa rugosidade, além dos dados de resistência à flexão foram analisados quanto a distribuição e homogeneidade da amostra (Shapiro-Wilk,  $p < 0,05$ ) e estavam distribuídos dentro do padrão normal de distribuição. Por isso, foram analisados estatisticamente segundo o teste 2-way ANOVA (fatores de variação: técnica de queima e tratamento), com pós-teste de Tukey e nível de significância de 95%.

## FLUXOGRAMA



## RESULTADOS

A comparação das médias de rugosidade inicial e final entre os grupos podem ser vistos na Tabela 1.

Tabela 1. Comparação das médias de Rugosidade inicial e final dos grupos testados (2-way ANOVA, Tukey,  $p < 0,05$ )

	Passo Único		Passos Múltiplos	
	Inicial	Final	Inicial	Final
Controle	1,07 (0,14) aA		0,71 (0,10) bA	
Ciclagem	1,03 (0,15) aA	1,03 (0,21) aA	0,70 (0,09) bA	0,83 (0,21) aA
Escovação	0,92 (0,26) aA	1,01 (0,49) aA	0,87 (0,21) aA	0,68 (0,13) bA

Letras diferentes, minúsculas na linha, comparando valores de mesma categoria (Inicial/Final), e maiúsculas na coluna, indicam diferença estatisticamente significativa ( $p < 0,05$ ). Não houve diferença entre valores iniciais e finais para um mesmo protocolo de queima.

Sem envelhecimento (Controle), a cerâmica de dissilicato de lítio teve menor rugosidade de superfície quando submetido a protocolo de passos múltiplos do que a protocolo de passo único ( $p < 0,05$ ). Quanto às amostras envelhecidas, a rugosidade inicial das amostras submetidas à ciclagem foi diferente em relação aos protocolos de queima. Essa diferença, entretanto, não permaneceu após o envelhecimento. Contrariamente, antes da escovação, os protocolos não demonstraram diferença significativa nos valores de rugosidade, mas a rugosidade final das amostras submetidas a protocolo de passo único foi maior após a escovação que o submetido a passos múltiplos ( $p < 0,05$ ).

A comparação das médias de alteração de rugosidade de superfície após os protocolos de queima e envelhecimentos podem ser vistas na Tabela 2. Verificou-se que não houve diferença significativa ( $p < 0,05$ ) da alteração de rugosidade entre os protocolos de queima e o envelhecimento ( $p > 0,05$ ).

Tabela 2. Comparação das médias de Alteração da rugosidade de superfície após os protocolos e envelhecimentos (2-way ANOVA, Bonferroni,  $p < 0,05$ ).

	Passo Único	Passos Múltiplos
Ciclagem	0,001 (0,24) aA	0,134 (0,18) aA
Escovação	0,084 (0,34) aA	-0,191 (0,26) aA

Letras diferentes, minúsculas na linha e maiúsculas na coluna, indicam diferença estatisticamente significativa ( $p < 0,05$ ).

A comparação das médias de resistência à flexão dos grupos testados, pode ser vista na Tabela 3.

Tabela 3. Médias e desvio padrão da resistência à flexão para os grupos testados (2-way ANOVA, Bonferroni,  $p < 0,05$ )

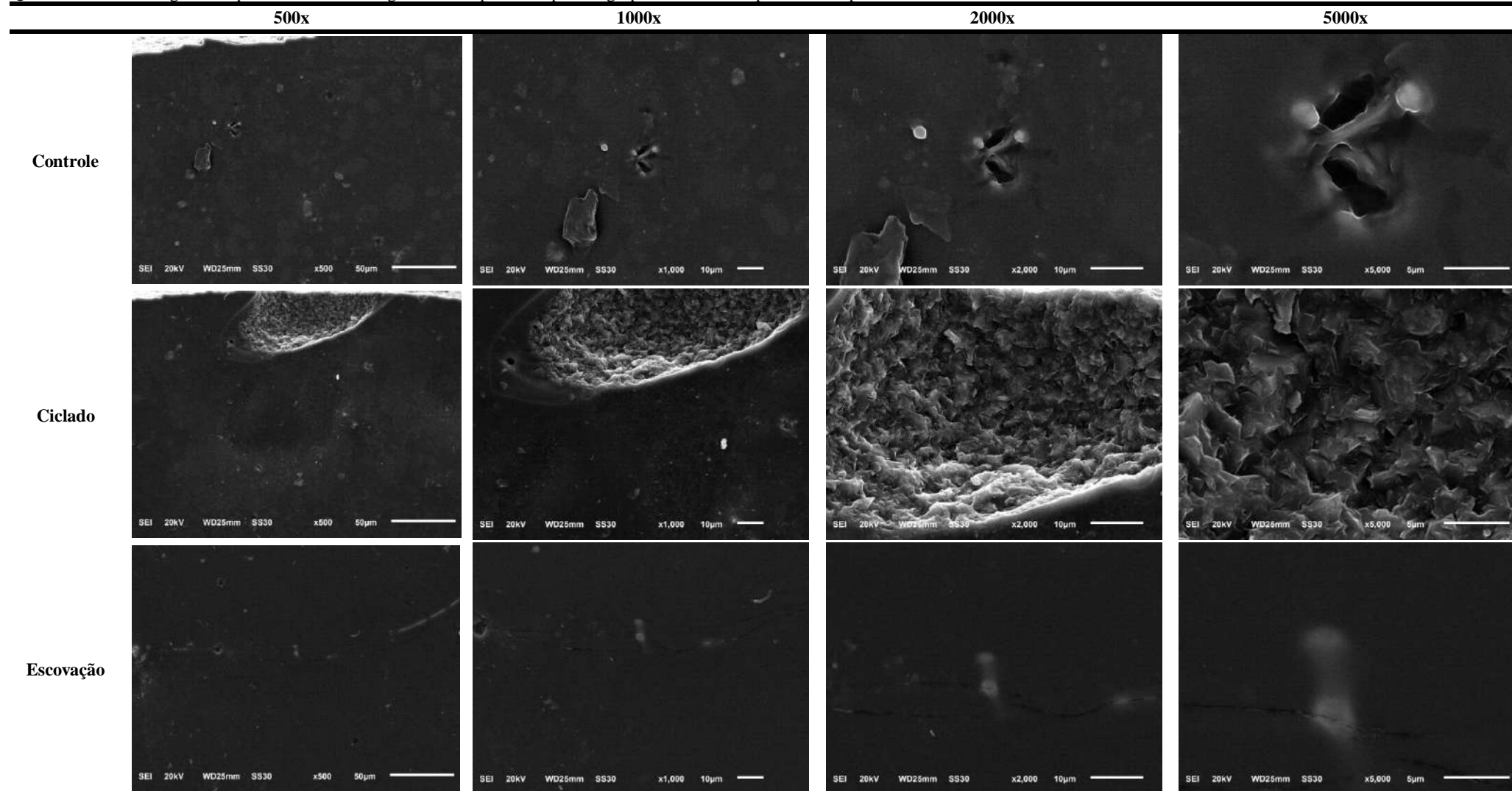
	Passo Único	Múltiplos Passos
Controle	357,65 (33,25) aA	371,76 (75,16) aA
Ciclagem	319,35 (42,03) aA	318,64 (40,04) aAB
Escovação	303,58 (63,24) aA	299,51 (51,11) aB

Letras diferentes, minúsculas na linha e maiúsculas na coluna, indicam diferença estatisticamente significativa ( $p < 0,05$ ).

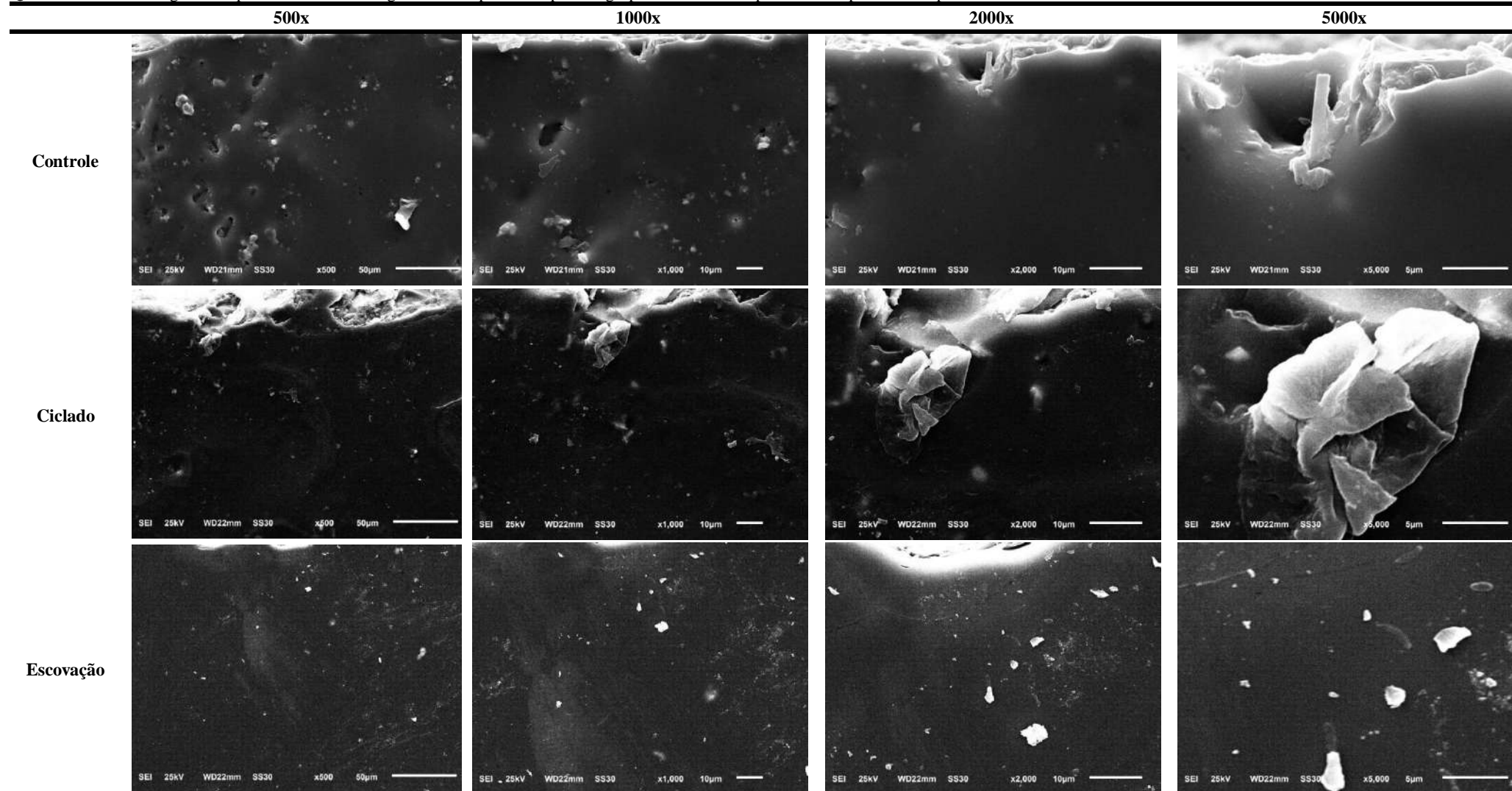
Não houve diferença na resistência à flexão quando os protocolos foram comparados, independente do tratamento a que foi submetido ( $p > 0,05$ ). O envelhecimento não foi significativo para as amostras submetidas ao protocolo de passo único ( $p > 0,05$ ). No protocolo de passos múltiplos, a escovação resultou em menor resistência à flexão diferente do controle ( $p < 0,05$ ), que não apresentou diferença em relação ao grupo Ciclagem ( $p > 0,05$ ).

As comparações das imagens de microscopia eletrônica de varredura (MEV) em aumentos de 500, 1.000, 2.000 e 5.000 vezes para cada tipo de protocolo de queima, podem ser vistas nos Quadros 1 e 2.

**Quadro 1** - Fotomicrografias representativas das imagens obtidas por MEV para os grupos submetidos a protocolo de passo único.



**Quadro 2** - Fotomicrografias representativas das imagens obtidas por MEV para os grupos submetidos a protocolo de passos múltiplos.



Ao compararmos as imagens adquiridas pelo Microscópio Eletrônico de Varredura, nota-se que as amostras do Grupo Controle, sem nenhum envelhecimento, apresentaram superfície diferente, dependendo do processo de queima a que foi submetido. Assim, quando submetidas ao protocolo de passo único as amostras apresentaram superfície com menos e menores bolhas na superfície do que aquelas submetidas ao protocolo de passos múltiplos. Essa diferença fica bem evidente quando comparadas as imagens dos grupos Controle em aumento de 500x. Entretanto, ao analisarmos a superfície em maior aumento, verifica-se que a superfície das amostras processadas em passo único apresenta também irregularidades, tanto quanto quando submetido a protocolo de passos múltiplos de queima.

Após a ciclagem, as amostras apresentam superfície com irregularidades e deformações de superfície. Quanto às amostras processadas em passo único, a deformação na superfície aparenta ser relativa ao pistão de carga do equipamento, ficando com bordas contidas ao diâmetro do dispositivo. Porém, quando as amostras foram submetidas ao protocolo de passos múltiplos a superfície apresenta deformações irregulares, sem forma definida. É possível observar lascas na borda, provavelmente também devido ao ponto de carga gerado pelo ensaio de ciclagem termomecânica, porém sem definição, aparentando resultar em dano superficial maior.

Quando submetidas à escovação simulada, a cerâmica de dissilicato de lítio sujeita ao protocolo de passo único apresentou superfície com maior quantidade de ranhuras, com aparecimento de trincas, quando comparada com as amostras submetidas ao protocolo de passos múltiplos, que apresentaram superfície mais uniforme, porém com partículas livres, provavelmente geradas pela escovação com o dentifrício.

## DISCUSSÃO

As cerâmicas odontológicas de dissilicato de lítio têm demonstrado excelentes propriedades, como elevado desempenho estético e mecânico, trazendo versatilidade para o tratamento restaurador. Sendo assim, têm se tornado uma escolha frequente e cada vez mais difundida dentro da odontologia atual [28].

O sucesso clínico a longo prazo das cerâmicas de dissilicato de lítio depende de múltiplos fatores, entre eles destacam-se o seu processo de fabricação e o ambiente bucal. Na cavidade bucal, as restaurações cerâmicas estão sujeitas a mudanças de temperatura, cargas mastigatórias e a fatores externos como a abrasão causada por dentifrícios e escovação que podem alterar a sua microestrutura e conseqüentemente afetar negativamente as suas propriedades físicas e mecânicas [20, 29]. Além disso, as cerâmicas vítreas, como a cerâmica de dissilicato de lítio, precisam passar por um processo de cristalização durante a sua confecção. O processo é muito sensível já que ocorre a transformação da sua microestrutura [5,12]. Uma cristalização incompleta ou mais ciclos de queimas do que o recomendado, podem causar falhas na estrutura cerâmica diminuindo seu desempenho restaurador [5, 14, 15].

O presente estudo avaliou o efeito de dois protocolos de queima, protocolo de passos múltiplos, conforme indicado pelo fabricante no processo de cristalização e pigmentação da cerâmica; e protocolo de passo único, o utilizado por profissionais especializados na confecção das restaurações, os protéticos, mesmo sem evidência científica sedimentada. Foram analisadas resistência à flexão em três pontos e rugosidade de superfície da cerâmica, quando submetidas a envelhecimento por ciclagem termomecânica e escovação simulada. O estudo partiu da hipótese nula de que não haveria diferença nas propriedades testadas, independente do tipo de envelhecimento ou do processo de cristalização final da restauração.

Com base nos resultados obtidos, a hipótese nula deve ser rejeitada, pois os protocolos de envelhecimento causaram alteração nas propriedades avaliadas da cerâmica, em função dos protocolos de queima utilizados. No protocolo de queima de passos múltiplos, a cerâmica de dissilicato de lítio submetida à escovação teve menor resistência à flexão do que o grupo controle ( $p < 0,05$ ). Por outra parte, sem envelhecimento, a cerâmica de dissilicato de lítio teve menor rugosidade de superfície quando submetida a protocolo de queima de passos múltiplos do que a protocolo de passo único ( $p < 0,05$ ).

A rugosidade inicial das amostras foi diferente em função do protocolo de queima a que foram submetidas, quando cicladas, de forma que a rugosidade de superfície das amostras queimadas em protocolo de passo único foi maior do que a rugosidade após a queima em passos múltiplos ( $p < 0,05$ ). Também houve diferença na rugosidade final das cerâmicas submetidas à

escovação dependendo do protocolo de queima a que foram submetidas, de forma que quando aplicado o protocolo de passos múltiplos, houve menor rugosidade final que quando foram submetidas à queima por passo único ( $p < 0,05$ ).

No presente estudo foi realizada a análise de variação da rugosidade ( $\Delta Ra$ ). O grupo controle não foi submetido a envelhecimento, não sendo assim realizadas leituras finais de rugosidade, apenas as iniciais. Dessa forma, foram comparadas as variações de rugosidade apenas das amostras envelhecidas (Tabela 2). Essa avaliação demonstrou não haver diferenças significativas entre a variação de rugosidade, independente do protocolo de queima.

Materiais odontológicos com múltiplas fases, como o dissilicato de lítio que apresenta fase vítrea e fase cristalina, devem ser cuidadosamente processados, pois suas fases irão reagir de forma diferente durante os tratamentos térmicos. Muitas vezes as cerâmicas odontológicas precisam passar por múltiplos tratamentos térmicos para modificação da cor e contorno [31].

Após cada ciclo de queima, as cerâmicas são resfriadas até a temperatura ambiente. Essas mudanças de temperatura podem gerar tensões na estrutura das cerâmicas vítreas, alterando a sua estrutura e por conseguinte, diminuindo a sua resistência à fratura [32]. No entanto, no presente estudo, após análise dos resultados de resistência à flexão, percebe-se que não houve diferença entre os protocolos de cristalização, independente do envelhecimento. Aparentemente o número de queimas não seria significativo para a cerâmica de dissilicato de lítio. Estudos prévios [33, 17] obtiveram resultados semelhantes ao avaliarem a resistência à flexão da cerâmica de dissilicato de lítio. Sucessivas queimas não alteraram as propriedades mecânicas da cerâmica [34] Isso deve-se ao fato de não ocorrer uma alteração na integridade interna dos materiais mesmo com a formação de trincas causadas pelos tratamentos térmicos, como observado em todos os grupos por MEV (Quadro 1 e 2) [34]. Essa característica superficial pode ser justificada pela alteração da densidade e porosidade da cerâmica quando submetida a protocolo de passos múltiplos, que demonstraram maiores irregularidades na superfície das amostras no grupo Controle [48].

No presente estudo, foram simuladas condições similares que ocorrem *in vivo* na cavidade bucal e que podem alterar a resistência do material ao longo prazo [35]. A cerâmica foi submetida a escovação em uma máquina de escovação, simulando a abrasão gerada pelas cerdas da escova dental e os dentifrícios durante a higiene bucal [36]. Também foi realizado ciclo termomecânico, reproduzindo a mastigação e as mudanças de temperatura no meio bucal que podem causar tensões que levam a formação de trincas [37]. Esses métodos de envelhecimento são considerados os melhores para avaliar a resistência à flexão de materiais cerâmicos odontológicos, obtendo resultados confiáveis [38].

Apesar disso, a resistência à flexão da cerâmica de dissilicato de lítio submetida a protocolo de passo único não foi alterada após envelhecimento. Contrariamente, o protocolo de passos múltiplos, que é recomendado pelo fabricante, não se mostrou vantajoso já que diante de um processo de escovação apresentou uma diminuição na resistência à flexão. De acordo com Alper et al. (2018) a cerâmica de dissilicato de lítio submetida a uma única queima apresenta valores mais altos de tenacidade e dureza comparado com aquela submetida a três ou quatro tratamentos térmicos [31]. Isto poderia explicar os resultados obtidos, visto que a tenacidade está relacionada ao nível de tensão elástica que pode ser alcançada em torno da extremidade de uma fissura antes da fratura ser iniciada [39]. As amostras do protocolo de passo único apresentariam maior capacidade de deformação plástica necessitando de valores mais altos de tensão para fraturar. Pelo contrário, a cerâmica submetida a protocolo passos múltiplos teria menor tenacidade e o desgaste provocado pelas cerdas da escova e as partículas abrasivas do dentífrício [36] teriam contribuído para a diminuição da resistência à flexão.

As cerâmicas de dissilicato de lítio submetidas ao protocolo de passos múltiplos obtiveram menor rugosidade inicial do que aquelas submetidas ao protocolo de passo único. De acordo com Aurélio et al. (2016) [40], a queima prolongada da cerâmica de dissilicato de lítio pode curar as trincas presentes na cerâmica, gerando assim uma menor rugosidade. No entanto, após a ciclagem, não houve diferença entre os protocolos de queima. Vasiliu et al. (2019) [20] afirmam que a ciclagem termomecânica pode aumentar a rugosidade da superfície das cerâmicas. Dessa maneira, a rugosidade da cerâmica de dissilicato de lítio submetida a protocolo de passos múltiplos aumentou após ciclagem, como observado através da MEV pela presença maiores deformações na superfície da cerâmica (Quadro 2), obtendo valores finais similares à cerâmica submetida a protocolo de passo único.

Um resultado inverso foi encontrado para a cerâmica de dissilicato de lítio submetidas à escovação simulada visto que, após escovação, a cerâmica submetida a protocolo de passos múltiplos apresentou menor rugosidade do que aquela submetida a protocolo de passo único, como visto nas imagens obtidas por MEV. A cerâmica submetida a protocolo de passos múltiplos apresentou uma superfície mais uniforme e com menor número de trincas após escovação comparado com o protocolo de passo único (Quadro 1 e 2).

O efeito da escovação na rugosidade de superfície das cerâmicas vítreas é controverso. Alguns estudos apontam o efeito abrasivo da escovação na superfície das cerâmicas. A ação das cerdas juntamente com os dentífrícios promove um desgaste profundo na camada de glaze tornando a superfície mais áspera, sendo mais homogêneo e com a presença de um padrão uniforme de desgaste nas cerâmicas de dissilicato de lítio [41, 2]. Contrariamente, outros autores [42, 43, 44] demonstraram que as vitrocerâmicas apresentaram maior resistência ao desgaste e

menor rugosidade após escovação quando comparado a outros materiais dentários, resultando em um polimento da superfície. Nima et al. [45] encontraram também que a escovação promoveu o desgaste apenas das maiores irregularidades resultando numa superfície mais polida.

Aker et al. (1980) [46] investigaram como diferentes métodos de aplicação da camada de glaze podem alterar o processo de desgaste de cerâmicas feldspáticas. Em seu estudo demonstraram a importância de uma camada de glaze corretamente aplicada para diminuição do desgaste do pigmento e conseqüentemente da cerâmica, já que foi necessário o dobro do tempo para causar o mesmo desgaste de uma amostra sem uma camada protetora de glaze. O mesmo princípio pode ter acontecido nas cerâmicas de dissilicato de lítio. No presente trabalho, o dobro de camadas de pigmento e uma camada adicional de glaze foram aplicados no protocolo de passos múltiplos podendo assim ter proporcionado uma maior proteção da cerâmica de dissilicato de lítio quando comparado ao protocolo de passo único no qual foi realizado apenas uma única camada de pigmento e glaze em um mesmo passo. Sendo assim, o polimento proporcionado pela escovação, a diminuição de trincas promovida por múltiplas queimas e a quantidade de camadas e pigmento e glaze poderiam justificar os resultados obtidos da rugosidade de superfície da cerâmica de dissilicato de lítio submetida ao protocolo de passos múltiplos e escovação.

Ao avaliar a variação da rugosidade de superfície da cerâmica após os protocolos de queima e envelhecimento por escovação e ciclagem termomecânica, as amostras não obtiveram alteração de rugosidade. Tal resultado revela que ambos os protocolos de queima são válidos para serem executados sem que haja alterações superficiais significativas.

O presente estudo *in vitro* simulou condições clínicas às quais uma restauração cerâmica é submetida, no entanto, tem suas limitações. A cavidade bucal é um ambiente complexo e outros fatores, como a dieta alimentar e o fluxo salivar [47] por exemplo, podem alterar o pH bucal afetando também as propriedades mecânicas da cerâmica de dissilicato de lítio. Desta forma, estudos *in situ* são necessários para confirmar o desempenho clínico da cerâmica. Além disso, a falta de uma leitura final de rugosidade no grupo controle após 24 horas em água destilada, não possibilitou comparar a variação de rugosidade com os demais grupos.

Os resultados obtidos revelam que protocolos mais simples e rápidos para o dia-a-dia clínico podem ser uma excelente alternativa sem que ocorram falhas nas restaurações cerâmicas por possíveis alterações nas suas propriedades mecânicas e físicas, mesmo reproduzindo artificialmente condições que ocorrem na cavidade bucal e que poderiam influenciar negativamente nos resultados.

## **CONCLUSÃO**

Os protocolos de queima não influenciaram na resistência à flexão nem na variação da rugosidade da cerâmica de dissilicato de lítio, mesmo após envelhecimento. No entanto, a escovação afetou negativamente a resistência à flexão e proporcionou uma superfície mais lisa da cerâmica submetida a protocolo de passos múltiplos.

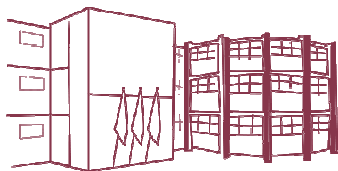
## REFERÊNCIAS

1. Aziz A, El-Mowafy O, Tenenbaum HC, Lawrence HP, Shokati B. Clinical performance of chairside monolithic lithium disilicate glass-ceramic CAD-CAM crowns. *J Esthet Restor Dent*. 2019 Nov;31(6):613-619. doi: 10.1111/jerd.12531. Epub 2019 Sep 29. PMID: 31565848.
2. Yuan JC, Barão VAR, Wee AG, Alfaro MF, Afshari FS, Sukotjo C. Effect of brushing and thermocycling on the shade and surface roughness of CAD-CAM ceramic restorations. *J Prosthet Dent*. 2018 Jun;119(6):1000-1006. doi: 10.1016/j.prosdent.2017.06.001. Epub 2017 Sep 29. PMID: 28965682.
3. Sulaiman TA, Delgado AJ, Donovan TE. Survival rate of lithium disilicate restorations at 4 years: A retrospective study. *J Prosthet Dent*. 2015 Sep;114(3):364-6. doi: 10.1016/j.prosdent.2015.04.011. Epub 2015 Jun 3. PMID: 26050028.
4. Zhang Y, Kelly JR. Dental Ceramics for Restoration and Metal Veneering. *Dent Clin North Am*. 2017 Oct;61(4):797-819. doi: 10.1016/j.cden.2017.06.005. PMID: 28886769; PMCID: PMC5657342.
5. Meng H, Xie H, Yang L, Chen B, Chen Y, Zhang H, et al. Effects of multiple firings on mechanical properties and bonding of lithium disilicate glass-ceramic. *J Mech Behav Biomed Mater* 2018;88:362–9. <https://doi.org/10.1016/j.jmbbm.2018.08.015>.
6. Amoroso AP, Ferreira MB, Torcato LB, Pellizer EP, Mazaro JVQ, Gennari Filho H. Cerâmicas Odontológicas: Propriedades, Indicações E Considerações Clínicas. *Rev Odontológica Araçatuba* 2012;33:19–25.
7. Li RW, Chow TW, Matinlinna JP. Ceramic dental biomaterials and CAD/CAM technology: state of the art. *J Prosthodont Res*. 2014 Oct;58(4):208-16. doi: 10.1016/j.jpor.2014.07.003. Epub 2014 Sep 22. PMID: 25172234.
8. Denry I, Holloway JA. Ceramics for Dental Applications: A Review. *Materials (Basel)*. 2010 Jan 11;3(1):351–68. doi: 10.3390/ma3010351. PMCID: PMC5525170.
9. Miranda JS, Barcellos ASP, Martinelli Lobo CM, Caneppele TME, Amaral M, Kimpara ET. Effect of staining and repeated firing on the surface and optical properties of lithium disilicate. *J Esthet Restor Dent* 2020;32:113–8. <https://doi.org/10.1111/jerd.12558>.
10. Gozneli R, Kazazoglu E, Ozkan Y. Flexural properties of leucite and lithium disilicate ceramic materials after repeated firings. *J Dent Sci* 2014;9:144–50. <https://doi.org/10.1016/j.jds.2013.02.019>.
11. Palla ES, Kontonasaki E, Kantiranis N, Papadopoulou L, Zorba T, Paraskevopoulos KM, Koidis P. Color stability of lithium disilicate ceramics after aging and immersion in common beverages. *J Prosthet Dent*. 2018 Apr;119(4):632-642. doi: 10.1016/j.prosdent.2017.04.031. Epub 2017 Sep 18. PMID: 28923549.
12. Tang X, Tang C, Su H, Luo H, Nakamura T, Yatani H. The effects of repeated heat-pressing on the mechanical properties and microstructure of IPS e.max Press. *J Mech Behav Biomed Mater*. 2014 Dec;40:390-396. doi: 10.1016/j.jmbbm.2014.09.016. Epub 2014 Sep 28. PMID: 25300063.
13. Albakry M, Guazzato M, Swain MV. Effect of sandblasting, grinding, polishing and glazing on the flexural strength of two pressable all-ceramic dental materials. *J Dent*. 2004 Feb;32(2):91-9. doi: 10.1016/j.jdent.2003.08.006. PMID: 14749080.

14. Subaşı MG, Demir N, Kara Ö, Ozturk AN, Özel F. Mechanical properties of zirconia after different surface treatments and repeated firings. *J Adv Prosthodont*. 2014 Dec;6(6):462-7. doi: 10.4047/jap.2014.6.6.462. Epub 2014 Dec 17. PMID: 25551006; PMCID: PMC4279044.
15. Cho S-H, Nagy WW, Goodman JT, Solomon E, Koike M. The effect of multiple firings on the marginal integrity of pressable ceramic single crowns. *J Prosthet Dent* 2012;107:17–23. [https://doi.org/10.1016/S0022-3913\(12\)60011-0](https://doi.org/10.1016/S0022-3913(12)60011-0).
16. Yuan K, Wang F, Gao J, Sun X, Deng Z, Wang H, et al. Effect of sintering time on the microstructure, flexural strength and translucency of lithium disilicate glass-ceramics. *J Non CrystSolids*2013;362:7–13. <https://doi.org/10.1016/j.jnoncrysol.2012.11.010>.
17. Miranda JS, Barcellos AS de P, Campos TMB, Cesar PF, Amaral M, Kimpara ET. Effect of repeated firings and staining on the mechanical behavior and composition of lithium disilicate. *Dent Mater* 2020;36:e149–57. <https://doi.org/10.1016/j.dental.2020.02.003>.
18. Oh S-C, Dong J-K, Lüthy H, Schärer P. Strength and Microstructure of IPS Empress 2 Glass-Ceramic after Different Treatments. *Int J Prosthodont*2000;13:468–46872.
19. Aurélio IL, Prochnow C, Guilardi LF, Ramos GF, Bottino MA, May LG. The effect of extended glaze firing on the flexural fatigue strength of hard-machined ceramics. *J Prosthet Dent* 2018;120:755–61. <https://doi.org/10.1016/j.prosdent.2018.01.030>.
20. Vasiliu R-D, Porojan S-D, Bîrdeanu M-I, Uțu I-D, Porojan L. The Effect of Thermocycling and Surface Treatments on the Surface Roughness and Microhardness of Three Heat-Pressed Ceramics Systems. *Crystals*. 2020; 10(3):160. <https://doi.org/10.3390/cryst10030160>
21. Vasiliu RD, Porojan SD, Bîrdeanu MI, Porojan L. Effect of Thermocycling, Surface Treatments and Microstructure on the Optical Properties and Roughness of CAD-CAM and Heat-Pressed Glass Ceramics. *Materials (Basel)*. 2020 Jan 14;13(2):381. doi: 10.3390/ma13020381. PMID: 31947634; PMCID: PMC7014158.
22. Wang L, Garcia FC, Amarante de Araújo P, Franco EB, Mondelli RF. Wear resistance of packable resin composites after simulated toothbrushing test. *J Esthet Restor Dent*. 2004;16(5):303-14; discussion 314-5. doi: 10.1111/j.1708-8240.2004.tb00058.x. PMID: 15726799.
23. Tanoue N, Matsumura H, Atsuta M. Wear and surface roughness of current prosthetic composites after toothbrush/dentifrice abrasion. *J Prosthet Dent* 2000;84:93–7. <https://doi.org/10.1067/mpr.2000.107560>.
24. Kohal RJ, Wolkewitz M, Tsakona A. The effects of cyclic loading and preparation on the fracture strength of zirconium-dioxide implants: An in vitro investigation. *Clin Oral Implants Res* 2011;22:808–14. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0501.2010.02067.x>.
25. Richmond R, Macfarlane T V, McCord JF. An Evaluation Of The surface changes in PMMA biomaterial formulations as a result of toothbrush/dentifrice abrasion. *Dent Mater*2004;20:124–32. [https://doi.org/10.1016/S0109-5641\(03\)00083-6](https://doi.org/10.1016/S0109-5641(03)00083-6).
26. Wiegand A, Kuhn M, Sener B, Roos M, Attin T. Abrasion of eroded dentin caused by toothpastes lurrries of different abrasivity and toothbrushes of different filament diameter. *J Dent* 2009;37:480–4. <https://doi.org/10.1016/j.jdent.2009.03.005>.
27. Tavares LDN, Zancopé K, Silva ACA, Raposo LHA, Soares CJ, Neves FD. Microstructural and mechanical analysis of two CAD-CAM lithium disilicate glass-

- reinforced ceramics. *Braz Oral Res* 2020;34:1–10. <https://doi.org/10.1590/1807-3107BOR-2020.VOL34.0004>.
28. Zarone F, Di Mauro MI, Ausiello P, Ruggiero G, Sorrentino R. Current status on lithium disilicate and zirconia: a narrative review. *BMC Oral Health*. 2019 Jul 4;19(1):134. doi: 10.1186/s12903-019-0838-x. PMID: 31272441; PMCID: PMC6610968.
  29. Wang, Fu, Gao, Jing, Wang, Hui, & Chen, Ji-hua (2010). Flexural strength and translucent characteristics of lithium disilicate glass-ceramics with different P2O5 content. *Materials and Design*, 31(7), 3270-3274. doi:10.1016/j.matdes.2010.02.013.
  30. Özdemir H, Özdoğan A. The effect of heat treatments applied to superstructure porcelain on the mechanical properties and microstructure of lithium disilicate glass ceramics. *Dent Mater J*. 2018 Jan 30;37(1):24-32. doi: 10.4012/dmj.2016-365. Epub 2017 Apr 26. PMID: 28450675.
  31. Aurélio IL, Fraga S, Dorneles LS, Bottino MA, May LG. Extended glaze firing improves flexural strength of a glass ceramic. *Dent Mater*. 2015 Dec;31(12):e316-24. doi: 10.1016/j.dental.2015.10.012. PMID: 26599302.
  32. Ozdogan A, Ozdemir H. Effects of multiple firing processes on the mechanical properties of lithium disilicate glass-ceramics produced by two different production techniques. *J Prosthet Dent*. 2021 Mar;125(3):527.e1-527.e7. doi: 10.1016/j.prosdent.2020.10.016. Epub 2020 Nov 23. PMID: 33243470.
  33. Belli R, Lohbauer U, Goetz-Neunhoffer F, Hurlé K. Crack-healing during two-stage crystallization of biomedical lithium (di)silicate glass-ceramics. *Dent Mater*. 2019 Aug;35(8):1130-1145. doi: 10.1016/j.dental.2019.05.013. Epub 2019 May 24. PMID: 31133402.
  34. Yin R, Jang YS, Lee MH, Bae TS. Comparative Evaluation of Mechanical Properties and Wear Ability of Five CAD/CAM Dental Blocks. *Materials (Basel)*. 2019 Jul 12;12(14):2252. doi: 10.3390/ma12142252. PMID: 31336968; PMCID: PMC6678169.
  35. Queiroz , A. S. de; Santos , I. R. dos .; Martins, V. da M. .; Andrade , C. M. de O. .; Dietrich, L.; Nascimento , F. .; Reis , T. A. dos . The influence of toothpaste on the abrasivity of dental structure: a narrative review. *Research, Society and Development, [S. l.]*, v. 10, n. 14, p. e210101421985, 2021. DOI: 10.33448/rsd-v10i14.21985.
  36. Salem, S., Asaad, R. (2020). 'Effect of Thermodynamic Aging on Colour Stability, Roughness and Flexural Strength of Two CAD/CAM Lithium Disilicate Glass Ceramics', *Egyptian Dental Journal*, 66(Issue 4 - October (Fixed Prosthodontics, Removable Prosthodontics and Dental Materials)), pp. 2661-2671. doi: 10.21608/edj.2020.42658.1258.
  37. Mijoska A, Popovska M. Evaluation of different in vitro testing methods for mechanical properties of veneer ceramics. *Pril (Makedon Akad Nauk Umet Odd Med Nauki)*. 2015;36(1):225-30. PMID: 26076795.
  38. Pagani, Clovis; Miranda, Carolina Baptista; Bottino, Marco Cícero. Avaliação da tenacidade à fratura de diferentes sistemas cerâmicos. *Journal Of Applied Oral Science : Revista Fob*, v. 11, n. 1, p. 69-75, 2003.
  39. Aurélio, Iana & Dorneles, Lucio & May, Liliana. (2017). Extended glaze firing on ceramics for hard machining: Crack healing, residual stresses, optical and microstructural aspects. *Dental Materials*. 33. 226-240. 10.1016/j.dental.2016.12.002.

40. Willers, AE, da Silva, BTF, Siriani, LK, Cesar, PF, Matos, AB. Effect of erosive and abrasive challenges on the glaze layer applied to ceramic materials. *J Esthet Restor Dent*. 2020; 32: 815– 822. <https://doi.org/10.1111/jerd.12643>
41. De Andrade GS, Augusto MG, Simões BV, Pagani C, Saavedra GSFA, Bresciani E. Impact of simulated toothbrushing on surface properties of chairside CAD-CAM materials: An in vitro study. *J Prosthet Dent*. 2021 Mar;125(3):469.e1-469.e6. doi: 10.1016/j.prosdent.2020.08.028. Epub 2020 Dec 2. PMID: 33279154.
42. Roselino Lde M, Cruvinel DR, Chinelatti MA, Pires-de-Souza Fde C. Effect of brushing and accelerated ageing on color stability and surface roughness of composites. *J Dent*. 2013 Nov;41 Suppl 5:e54-61. doi: 10.1016/j.jdent.2013.07.005. Epub 2013 Jul 11. PMID: 23851131.
43. Anil N, Bolay S. Effect of toothbrushing on the material loss, roughness, and color of intrinsically and extrinsically stained porcelain used in metal-ceramic restorations: an in vitro study. *Int J Prosthodont*. 2002 Sep-Oct;15(5):483-7. PMID: 12375465.
44. Nima G, Lugo-Varillas JG, Soto J, Faraoni JJ, Palma-Dibb RG, Correa-Medina A, Giannini M. Effect of toothbrushing on the surface of enamel, direct and indirect CAD/CAM restorative materials. *Int J Prosthodont*. 2021 July/August;34(4):473–481. doi: 10.11607/ijp.6594. Epub 2021 Feb 26. PMID: 33651025.
45. Aker DA, Aker JR, Sorensen SE. Toothbrush abrasion of color-corrective porcelain stains applied to porcelain-fused-to-metal restorations. *J Prosthet Dent*. 1980 Aug;44(2):161-3. doi: 10.1016/0022-3913(80)90130-4. PMID: 6157021.
46. Al-Thobity AM, Gad MM, Farooq I, Alshahrani AS, Al-Dulaijan YA. Acid Effects on the Physical Properties of Different CAD/CAM Ceramic Materials: An in Vitro Analysis. *J Prosthodont*. 2021 Feb;30(2):135-141. doi: 10.1111/jopr.13232. Epub 2020 Aug 19. PMID: 32744393.
47. Tang X, Tang C, Su H, Luo H, Nakamura T, Yatani H. The effects of repeated heat-pressing on the mechanical properties and microstructure of IPS e.max Press. *J Mech Behav Biomed Mater*. 2014 Dec;40:390-396. doi: 10.1016/j.jmbbm.2014.09.016. Epub 2014 Sep 28. PMID: 25300063.



### Folha de Informação

Em consonância com a Resolução CoCEx-CoG nº 7.497/2018, informamos que a Comissão de Graduação da Faculdade de Odontologia de Ribeirão Preto da Universidade de São Paulo (FORP/USP) em sua 531ª Reunião Ordinária, realizada em 03 de junho de 2024, **aprovou**, fundamentando-se na sugestão da Subcomissão para Avaliação dos Trabalhos de Conclusão de Curso (TCCs) da Unidade, **a inclusão deste trabalho na Biblioteca Digital de Trabalhos Acadêmicos da USP (BDTA).**

Cumpre-nos destacar que a disponibilização deste trabalho na BDTA foi autorizada pelos autores (estudante e docente orientador), conforme menção constante no trabalho e documentação existente no Serviço de Graduação da FORP.

Ribeirão Preto, 03 de junho de 2024.

**Prof. Dr. Michel Reis Messoria**  
Presidente da Comissão de Graduação  
FORP/USP