UNIVERSIDADE SANTO AMARO

Doutorado em Odontologia

Área de concentração em Implantodontia

Ellen Christine Rodrigues de Abreu

INFLUÊNCIA DO FLUXO DE TRABALHO E DO AJUSTE INTERNO NA DESADAPTAÇÃO MARGINAL E INTERNA DE COROAS DE DISSILICATO DE LÍTIO

São Paulo – SP

2024

Ellen Christine Rodrigues de Abreu

INFLUÊNCIA DO FLUXO DE TRABALHO E DO AJUSTE INTERNO NA DESADAPTAÇÃO MARGINAL E INTERNA DE COROAS DE DISSILICATO DE LÍTIO

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação *Stricto Sensu* da Universidade Santo Amaro – UNISA, como requisito parcial para obtenção do título de Doutor em Odontologia.
Orientador: Prof. Dr. William Cunha Brandt.
Coorientador: Prof. Dr. Roberto Chaib Stegun

São Paulo – SP

2024

A145i

Abreu, Ellen Christine Rodrigues de.
Influência do fluxo de trabalho e do ajuste interno na desadaptação marginal e interna de coroas de dessilicato de lítio / Ellen Christine Rodrigues de Abreu. – São Paulo, 2024.

58 p. : il., Color.
Orientador: Prof. Me. William Cunha Brandt.

Tese. (Doutorado em Odontologia) – Universidade Santo Amaro, 2024.
Bibliografia incluída.

1. Adaptação marginal dentária. 2. CAD-CAM. 3. Porcelana dentária. 4. Microtomografia por raio-X I. Brandt, William Cunha, orient. II. Universidade Santo Amaro. III. Título.

CDD 617.6

Elaborada pela Bibliotecária: Elisângela Silva Herênio CRB-8/6839

Ellen Christine Rodrigues de Abreu

INFLUÊNCIA DO FLUXO DE TRABALHO E DO AJUSTE INTERNO NA DESADAPTAÇÃO MARGINAL E INTERNA DE COROAS DE DISSILICATO DE LÍTIO

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação *Stricto Sensu* da Universidade Santo Amaro – UNISA, como requisito parcial para obtenção do título de Doutor em Odontologia.

Orientador: Prof. Dr. William Cunha Brandt.
Coorientador: Prof. Dr. Roberto Chaib Stegun

São Paulo, 25 de novembro de 2024

Banca Examinadora:

Prof. Dr. William Cunha Brandt

_____

Prof.ª Dra. Flavia Gonçalves

_____

Prof. Dr. Rafael Pino Vitti

_____

Prof. Dr. Roberto Chaib Stegun

_____

Prof. Dr. Sigmar de Mello Rode

_____

Conceito final: _____

DEDICATÓRIA

Dedico esta tese ao meu querido marido, **Alex Cemin**, pelo apoio incondicional e pela paciência que sempre demonstrou em todos os momentos dessa jornada. Por não me deixar desistir, por segurar as pontas em casa e cuidar dos nossos filhos com tanto amor e dedicação. Sua presença e força foram essenciais para que eu chegasse até aqui. Obrigada por estar ao meu lado!

Seguimos conquistando nossos sonhos. Te amo hoje, sempre e para sempre.

AGRADECIMENTOS

Agradeço aos meus amores, meu filhos amados, **João Augusto** e **Joaquim**, pela compreensão, amor e apoio em todos os momentos dessa jornada. Ao João Augusto por tentar compreender o mundo da pesquisa e se prontificar em me ajudar em vários momentos deste trabalho. Ao Joaquim por ser sempre gentil e bondoso mesmo nos momentos mais tensos. Estamos prontos para os próximos sonhos! Amo vocês incondicionalmente, hoje, sempre e para sempre!

Agradeço a minha família, pais e irmãos, por todo apoio, logística, paciência e amor dedicados a mim e aos nossos meninos, principalmente nos momentos de ausência. Em especial a minha mãe **Dn. Vera**, que sempre está presente e com os braços estendidos para acolher. Obrigada mãezinha!

Aos queridos professores da Pós-graduação da Universidade Santo Amaro, que sempre confiaram e apoiaram essa jornada. Vocês seguem sendo inspiração para vida toda. Obrigada **Prof. Dr. Wilson Roberto Sendyk, Profª. Dra. Angelica Castro Pimentel, Prof. Dr. Caio Vinicius Roman Torres, Profª. Dra. Debora Pallos, Profª. Dra. Fabiana Martins e Martins de Oliveira, Profª. Dra. Heloísa Fonseca Marão, Profª. Dra. Flávia Gonçalves, Profª. Dra. Luana Campos, Profª. Dra. Marcia Tanaka, Profª. Dra. Yeon Jung Kim, Prof. Dr. Gustavo Antonio Correa Momesso e Prof. Dr. Rafael Pino Vitti**, vocês são especiais!!!

Ao meu orientador, **Prof. Dr. William Cunha Brandt**, por sua dedicação, paciência e confiança em mim e na continuação desta pesquisa. Mais uma vez ele confiou, incentivou e acreditou que seria possível. Deu certo!! Espero ter respondido à altura toda a confiança depositada em mim e nessa pesquisa. Obrigada por sonhar comigo!!

Agradeço ao meu mestre e exemplo **Prof. Dr. Roberto Chaib Stegun**, que me inspira desde sempre. A sua presença em mais essa realização não tem preço! Obrigada por mais uma vez não hesitar em me apoiar e opinar sobre este estudo.

Agradeço ao **Prof. Dr. Sigmar de Melo Rode**, que não hesitou em estar presente neste momento tão importante. O senhor não imagina o quanto me inspira, e espero deixá-lo orgulhoso!

Ao **Prof. Wagner Nascimento**, que mais uma vez, esteve ao meu lado com sua amizade, apoio e carinho. Agradeço aos momentos em que dá ouvidos as minhas lamentações e me aconselha com palavras de incentivo.

Agradeço a minha "*best friend forever*" **Patricia Cintra Serpe** e sua linda família, por todo apoio, incentivo e por ser meu abrigo por meses. Agradeço o cuidado nos detalhes nos dias que fiquei na sua casa com bilhetes de bom dia, café da manhã, jantares e eternos bates papos! Amo tanto tudo isso! Juntas para sempre amiga!!

Ao amigo **Thierry Jácomo**, que dedicou seu precioso tempo para me acompanhar e auxiliar no alinhamento da pesquisa, descobrindo junto comigo como realizar e analisar as microtomografias. Foram dias e dias de pesquisa, tentativas e esforço para fazer acontecer. Sempre atento, perguntando o que era necessário, o que faltava, como estava o andamento. Este trabalho também é dele. E a querida amiga **Debora Macedo**, que sempre se prontificou a ajudar e apoiar. Amiga, seu crescimento e suas conquistas são minhas realizações também. Amo vocês bebês.

Aos colegas da turma de Doutorado, que precisaram ter muita paciência com a minha falta de paciência. Em especial a **Luciana Katty**, que se tornou uma grande amiga, fazendo o possível para estar presente nos momentos especiais. A sua energia é cativante e espero que nossa amizade seja para sempre.

Agradeço aos professores do **GEROS** (Grupo de Estudos em Reabilitação Oral de Santos) pelo apoio e compreensão. **Jorge de Sá Barbosa**, obrigada pela oportunidade de fazer parte deste grupo seleto de professores. **Henrique Tuzzolo Neto, Sandro Taira Camba e Ivan Pereira** obrigada pelo acolhimento.

Agradeço a **Kellen Antunes** minha prima, secretária e confidente por sua paciência. Sem a sua ajuda na organização do consultório, seria tudo mais difícil. Obrigada prima!

Agradeço aos **alunos da Especialização em Próteses Dentárias da Universidade Metropolitana de Santos**. Cada um de vocês ocupa um lugar especial no meu coração. É por vocês que busco constantemente estar mais atualizada e preparada para oferecer o melhor de mim nesta carreira que tanto amo.

Agradeço a técnica de laboratório **Simone Gomes Ferreira**, responsável pelo laboratório de microtomografia computadorizada do Departamento de Genética e Biologia Evolutiva do Instituto de Biociências da **Universidade de São Paulo**, por me auxiliar na obtenção das imagens, pelos testes piloto e por me ensinar sobre essa tecnologia fascinante. Aprendi mais do que eu podia imaginar.

Ao técnico **Marcos**, responsável pelo laboratório de Materiais Dentários da Faculdade de Odontologia de Piracicaba da **Universidade Estadual de Campinas**, por me receber mais uma vez e deixar o microscópio preparado para minha pesquisa. Obrigada pelas orientações.

Obrigada **Deus**, por me guiar e sustentar até aqui!

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de financiamento 001.

“Pela persistência e fé respaldadas na sinceridade dos que creem na perfectibilidade humana, não tardará que o impossível mude-se no difícil e este no possível, a depender tão só do que tenhamos no íntimo.

Não importam e nem se contam tropeços da caminhada, o importante é caminhar na perseguição consciente da meta a atingir-se mesmo que custosa e, por vezes, aparentemente inatingível.”

Walter Miguel

RESUMO

A adequada adaptação marginal e interna de coroas cerâmicas está associada à longevidade e funcionalidade das reabilitações protéticas. A odontologia digital tem proporcionado reabilitações com planejamentos prévios e controle das etapas de desenvolvimento clínico e protético. O objetivo neste estudo foi avaliar a influência de diferentes fluxos de trabalho (analógico, híbrido e digital) e ajustes internos na desadaptação marginal e interna de coroas de dissilicato de lítio. Foram confeccionadas 50 coroas em dissilicato de lítio, distribuídas em cinco grupos (n=10): G1A (controle): fluxo analógico / troquel gesso / coroa prensada; G2H: fluxo híbrido / troquel gesso e digital / coroa fresada; G3H: fluxo híbrido / troquel digital e impresso / coroa prensada; G4H: fluxo híbrido / troquel digital / enceramento impresso / coroa prensada; G5D: fluxo digital / troquel digital / coroa fresada. Uma matriz metálica com preparo para coroa total foi desenvolvida em software 3D e fresada em CoCr. A desadaptação marginal foi analisada, pré e após ajustes internos, por meio de estereomicroscópio em triplicata considerando 4 pontos a partir da metade de cada face, com a coroa assentada sobre a matriz. Para avaliação da desadaptação interna, foi utilizado um silicone por adição (Fit Checker Advanced) indicado para checagem de margens. As películas foram analisadas através de microtomografia computadorizada e as medições realizadas em software para arquivos DICOM. Foram analisados 3 cortes no sentido mesio-distal (central, 1mm sentido vestibular e 1mm sentido lingual). Os pontos de medição foram: parede mesial e distal: 1mm, 3mm, 5mm no sentido ocluso-apical; parede oclusal: centro da parede oclusal e 2mm em direção ao centro partindo da parede mesial e distal. Totalizando assim 9 pontos em cada corte. Após as primeiras medições, os pontos de interferências (ausência do silicone por adição) foram identificados e ajustes internos com ponta diamantada foram realizados. As películas de silicone foram refeitas e reanalisadas. Todas as películas foram incluídas em um silicone por adição (técnica de réplica) para avaliação da desadaptação interna e os mesmos pontos analisados por micro-TC foram analisados em estereomicroscópio. O teste de Shapiro-Wilk foi aplicado para avaliar a normalidade dos dados, seguido pelo teste de ANOVA para análise de variância por 2 fatores e teste de Tukey para comparações múltiplas, com nível de significância de 5%. Os resultados iniciais mostraram que o grupo G4H apresentou os menores valores de desadaptação marginal, enquanto o grupo G3H registrou os maiores valores, ambos sem diferenças estatísticas com o grupo controle. Após os ajustes internos, todos os grupos apresentaram reduções nos valores de desadaptação marginal, com o grupo G3H diferindo estatisticamente do grupo controle. Para a desadaptação interna, a Micro-TC identificou o G5D com os menores valores antes e após ajustes não diferindo estatisticamente do grupo controle. G3H apresentou maiores valores antes e após ajustes internos não diferindo estatisticamente do grupo controle após ajustes. Concluiu-se neste estudo que tanto o fluxo analógico quanto o digital são eficazes na adaptação marginal e interna, com os ajustes internos podendo promover uma melhora na adaptação de coroas de dissilicato de lítio.

Palavras chaves: Adaptação marginal dentária. CAD-CAM. Porcelana dentária. Microtomografia por Raio-X.

ABSTRACT

The adequate marginal and internal adaptation of ceramic crowns is associated with the longevity and functionality of prosthetic rehabilitations. Digital dentistry has provided rehabilitations with prior planning and control of the clinical and prosthetic development stages. The objective of this study was to evaluate the influence of different workflows (analog, hybrid and digital) and internal adjustments on the marginal and internal maladaptation of lithium disilicate crowns. Fifty lithium disilicate crowns were manufactured and distributed into five groups (n=10): G1A (control): analog flow/plaster die/pressed crown; G2H: hybrid flow/plaster and digital die/milled crown; G3H: hybrid flow/digital and printed die/pressed crown; G4H: hybrid flow/digital die/printed waxing/pressed crown; G5D: digital flow/digital die/milled crown. A metal matrix with preparation for a full crown was developed in 3D software and milled in CoCr. The marginal misfit was analyzed, before and after internal adjustments, by means of a stereomicroscope in triplicate considering 4 points from the middle of each face, with the crown seated on the matrix. To evaluate the internal misfit, an addition silicone (Fit Checker Advanced) indicated for checking margins was used. The films were analyzed through computed microtomography and the measurements were performed in software for DICOM files. Three sections were analyzed in the mesiodistal direction (central, 1 mm in the vestibular direction and 1 mm in the lingual direction). The measurement points were: mesial and distal wall: 1 mm, 3 mm, 5 mm in the occlusoapical direction; occlusal wall: center of the occlusal wall and 2 mm towards the center starting from the mesial and distal wall. Thus, a total of 9 points in each section. After the first measurements, the interference points (absence of addition silicone) were identified and internal adjustments were made with a diamond bur. The silicone films were remade and reanalyzed. All films were embedded in an addition silicone (replica technique) to evaluate internal misfit and the same points analyzed by micro-CT were analyzed under a stereomicroscope. The Shapiro-Wilk test was applied to evaluate the normality of the data, followed by the ANOVA test for analysis of variance by 2 factors and the Tukey test for multiple comparisons, with a significance level of 5%. The initial results showed that the G4H group presented the lowest marginal misfit values, while the G3H group registered the highest values, both without statistical differences with the control group. After the internal adjustments, all groups presented reductions in the marginal misfit values, with the G3H group differing statistically from the control group. For internal misfit, Micro-CT identified G5D with the lowest values before and after adjustments, not differing statistically from the control group. G3H presented higher values before and after internal adjustments, not differing statistically from the control group after adjustments. It was concluded in this study that both analog and digital flows are effective in marginal and internal adaptation, with internal adjustments being able to promote an improvement in the adaptation of lithium disilicate crowns.

Keywords: Dental marginal adaptation. CAD-CAM. Dental porcelain. X-Ray Microtomography.

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Distribuição dos troquéis em cada grupo, conforme o processamento laboratorial..... 29

Tabela 2 - Média e desvio padrão em µm, dos valores de desadaptação marginal por estereomicroscópio..... 38

Tabela 3 - Média e desvio padrão em µm, dos valores de desadaptação interna por Micro-TC..... 39

Tabela 4 - Média e desvio padrão em µm, dos valores de desadaptação interna por técnica da réplica..... 40

LISTA DE ABREVIATURAS

CAD-CAM computer aided design – computer aided manufactoring

DM desadaptação marginal

3D três dimensões

STL standard triangle language ou standard tessellation language

SLA stereolithography (estereolitografia por laser)

DLP digital light projector (processamento digital de luz)

M média

DV desvio padrão

Micro-TC microtomografia computadorizada

LISTA DE SÍMBOLOS

µm	**micrômetro**
mm	**milímetros**
α	**alfa**
CoCr	**cobalto - cromo**
°C	**grau Celsius**
°	**grau**
BAR	**unidade de pressão**
kV	**quilovolt (tensão elétrica)**
µA	**microampere (corrente elétrica)**
Al	**alumínio**
N	**Newton**
MPa	**Mega pascal**

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - (a) Matriz desenhada em software 3D; (b) Parâmetros de preparo de coroa unitária

Figura 2 - Matriz fresada e adaptada para evitar rotação da coroa protética

Figura 3 - (a) Molde em silicone Virtual (Ivoclar Vivadent); (b) Troquel em gesso tipo IV; (c) Modelo escaneado (arquivo STL)

Figura 4 - (a) IPS e-max Press - Ivoclar Vivadent; (b) IPS e-max CAD - Ivoclar Vivadent

Figura 5 - Fluxograma de distribuição dos troquéis por fluxo de processamento

Figura 6 - (a) Microscópio Olympus STM (Olympus Corporation – USA) e sistema de medição Olympus MMDC 201; (b) Marcação do meio da face vestibular para leitura

Figura 7 - (a) Coroa em dissilicato de lítio, matriz e película; (b) película com rasgamento na parede axial.

Figura 8 - (a) Microtomógrafo SkyScan 1176, Bruker; (b) disposição das películas para leitura no micro tomógrafo

Figura 9 - (a) Corte coronal: 3 cortes no sentido mesio-distal (central, 1 mm sentido vestibular e 1 mm sentido lingual); (b) corte axial: 9 pontos de medição sendo: parede mesial e distal: 1 mm, 3 mm, 5 mm no sentido ocluso-apical (linhas amarelas); parede oclusal: centro da parede oclusal e 2 mm em direção ao centro partindo da parede mesial e distal (linhas verdes)

Figura 10 - (a) Pontos de interferência identificados; (b) ponta diamantada Precision PM880R média (American Burrs)

Figura 11 - (a) Marcação da margem; (b)desgaste realizado em 45°; (c) ponta diamantada Precision PM830 média (American Burrs)

Figura 12 - (a) Caixa retangular projetada em software 3D e impressa em filamento; (b) corte mesio-distal; (c) películas incluídas em silicone por adição denso e leve

Figura 13 - (a) Pontos de medição; (b) imagem da réplica em microscopia

Figura 14 - Imagens microtomográficas, antes e após os ajustes internos.

Figura 15 - Análise microscópica; (a) G1A: antes - 163,3µm (11,0), depois – 86,8µm (27,3); (b) G3H: antes - 661,8µm (62,0), depois – 327,8µm (156,6); (c) G4H: antes - 18,1µm (7,8), depois – 138,1µm (53,3)

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO..... 18

2 REVISÃO DA LITERATURA..... 19

2.1 Adaptação marginal e interna de coroas cerâmicas..... 19

2.2 Dissilicato de lítio..... 21

2.3 Tecnologia CAD-CAM..... 23

2.4 Formas de análise..... 25

3 MATERIAL E MÉTODO..... 28

3.1 Obtenção dos Corpos de Prova..... 28

3.2 Medições..... 32

3.2.1 Desadaptação marginal..... 32

3.2.2 Desadaptação Interna..... 32

3.3 Ajustes Internos..... 34

3.4 Preparo das Réplicas..... 36

3.5 Análise Estatística..... 37

4 RESULTADOS..... 37

5 DISCUSSÃO..... 42

6 CONCLUSÃO..... 48

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS..... 49

1. INTRODUÇÃO

O fluxo digital engloba uma série de etapas, desde a captura de imagens intraorais tridimensionais até a produção computadorizada das coroas em cerâmica [1-3]. A abordagem fundamentada em tecnologia digital tem demonstrado alta precisão na replicação da anatomia dentária e na obtenção de um ajuste oclusal adequado, reduzindo a necessidade de ajustes e retrabalhos [4,5]. No entanto, apesar desses avanços, a precisão das interfaces marginais e internas ainda apresenta desafios consideráveis, uma vez que discrepâncias nessas áreas podem conduzir a implicações como a infiltração bacteriana e dissolução do cimento, resultando em cárie secundária e prejudicando a longevidade da reabilitação [1,6-10].

Algumas pesquisas demonstram resultados superiores em relação a adaptação marginal e interna de coroas cerâmicas quando a tecnologia CAD-CAM é aplicada, mas outras apresentam resultados semelhantes ao fluxo analógico, não superando a técnica convencional [11]. Além disso, devido ao alto custo de equipamentos para que o cirurgião-dentista ou laboratório protético trabalhem integralmente no fluxo digital, fluxos híbridos de trabalho surgiram com a inclusão de uma impressora 3D. Somando assim, mais variáveis no processamento de uma coroa cerâmica e novos fluxos de trabalho [3,12].

As coroas em cerâmica livres de metal têm desempenhado um papel proeminente na odontologia atual devido à sua estética e resistência mecânica. Os progressos alcançados em termos de materiais cerâmicos e tecnologias aplicadas para a confecção dessas restaurações são crescentes, mas ainda é possível que ocorram problemas como desadaptações marginais e internas das peças protéticas, impactando na longevidade e funcionalidade das mesmas [13-17]. O dissilicato de lítio é uma cerâmica versátil, pois além de apresentar biocompatibilidade, resistência mecânica e estética, ela pode ser trabalhada tanto no fluxo analógico quanto no digital [18-20].

As inovações tecnológicas na pesquisa odontológica, tais como a microtomografia computadorizada (micro-TC), têm trazido uma maior acuidade para a análise da adaptação das coroas cerâmicas [15,21-25]. Essa metodologia, tem sido empregada na avaliação de falhas e fraturas em materiais dentários e, ainda tem

destacado um potencial na detecção e avaliação de desajustes marginais e internos em coroas cerâmicas odontológicas [23,26]. Os resultados apontam a utilidade desse método para a adequação e padronização de parâmetros clínicos e protéticos no contexto do sistema CAD-CAM, principalmente na questão de uma adequada desadaptação marginal e interna [13]. Aliado a isto, a utilização de materiais com aplicação clínica, como o Fit Checker Advanced, um silicone por adição indicado para avaliar a adaptação marginal e interna de coroas cerâmicas, podem resultar em um controle da espessura do filme de cimento resinoso, promovendo a identificação de pontos de interferência que podem ser ajustados com uma maior precisão, melhorando assim a uniformidade da camada de cimento [27,28].

Assim, o objetivo do presente trabalho foi avaliar a desadaptação marginal e interna de coroas unitárias de dissilicato de lítio, antes e após a realização de ajustes internos, utilizando recursos digitais e analógicos para obtenção do modelo de trabalho e confecção da coroa cerâmica.

As hipóteses de trabalho foram que os diferentes métodos digitais resultariam em menores valores de desadaptação marginal e interna das coroas de dissilicato de lítio em relação ao método analógico, e que a realização de ajustes internos nas coroas cerâmicas promoveria menores valores de desadaptação marginal e interna.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1 ADAPTAÇÃO MARGINAL E INTERNA DE COROAS CERÂMICAS

A adaptação marginal e interna das restaurações dentárias é um fator determinante para a longevidade e o sucesso clínico dessas intervenções[29]. A adaptação marginal refere-se à precisão com que a restauração se ajusta às margens do dente, enquanto a adaptação interna está relacionada ao encaixe da restauração sobre a estrutura dentária subjacente [12,22]. Imperfeições nesses ajustes podem provocar micro infiltração marginal, descoloração, acúmulo de placa, cáries secundárias, entre outros problemas, comprometendo a saúde bucal a longo prazo [13-16.] Além disso, a presença de um espaço adequado para o cimento resinoso é

fundamental para garantir uma distribuição uniforme das forças mastigatórias e aumentar a resistência à fratura da restauração [22].

A relação entre a margem interna e a espessura do cimento resinoso exerce uma influência significativa na resistência mecânica das coroas de dissilicato de lítio. Pesquisas indicam que tanto a espessura da coroa quanto a camada de cimento resinoso desempenham papéis fundamentais na determinação da resistência à fratura e da força de adesão [30,31]. Aumentos na espessura oclusal das coroas de dissilicato de lítio estão correlacionados a uma maior resistência à fratura; por exemplo, coroas com espessura de 1,5 mm apresentaram uma resistência à fratura maior, em comparação com aquelas de 0,8 mm [32]. Além disso, a espessura da camada de cimento resinoso também afeta a resistência ao cisalhamento, com um estudo revelando que a resistência ao cisalhamento aumentou com a espessura do cimento [33].

Por outro lado, o tipo de cimento resinoso pode influenciar o ajuste interno das corroas cerâmicas, com diferenças significativas sendo observadas nas medições dependendo do tipo de cimento utilizado [34]. Tratamentos de superfície e modificações no dissilicato de lítio podem aprimorar a força de adesão, indicando que a qualidade da margem interna é crucial para um desempenho mecânico ideal [35]. Em contraste, embora materiais mais espessos geralmente melhorem a resistência, uma espessura excessiva pode reduzir o grau de conversão do cimento resinoso, comprometendo potencialmente a força de adesão [36]. Portanto, é necessário encontrar um equilíbrio entre a espessura e a qualidade da margem interna para otimizar as propriedades mecânicas das coroas de dissilicato de lítio.

As técnicas de enceramento, sejam manuais ou digitais, exercem uma influência significativa na adaptação das margens. Taha et al. demonstraram que a modelagem manual em cera pode resultar em um ajuste marginal superior em comparação com técnicas digitais, embora esta diferença dependa da habilidade do técnico e da complexidade do caso [37]. Por outro lado, Guachetá et al. mostraram que a impressão 3D do enceramento digital (CAD), quando comparada à modelagem manual, oferece resultados comparáveis em termos de adaptação marginal e interna, com a vantagem de ser menos dependente da habilidade manual e mais reprodutível [38].

A introdução da odontologia digital tem demonstrado um aumento significativo na precisão das margens das restaurações, contudo, a eficácia dessa tecnologia depende da correta aplicação de conceitos fundamentais, como o preparo adequado do remanescente dentário, o afastamento gengival e a manutenção da saúde periodontal, além do domínio técnico das ferramentas digitais utilizadas [39]. A curva de aprendizado e a aplicação prática dessas tecnologias são cruciais para a otimização dos resultados clínicos [3,12].

2.2 DISSILICATO DE LÍTIO

A odontologia restauradora tem experimentado um avanço significativo no uso de cerâmicas dentárias, que se destacam pela sua combinação de propriedades estéticas, biocompatibilidade e resistência mecânica [40,41]. Dentre os materiais cerâmicos utilizados, o dissilicato de lítio (Li2Si2O5) ganhou destaque devido às suas propriedades ópticas superiores e elevada resistência mecânica [18,42]. O uso de cerâmicas na odontologia remonta ao final do século XIX, com a introdução da coroa de porcelana "jacket" por Charles H. Land em 1889, que permaneceu em uso até meados do século XX. A evolução das metalo-cerâmicas nos anos 1950, desenvolvidas por Abraham Weinstein, trouxe melhorias em resistência, embora comprometesse a estética devido à opacidade da camada de cobertura metálica [19]. Com o avanço das décadas, surgiram novas formulações, como as porcelanas aluminizadas e as cerâmicas reforçadas com leucita e dissilicato de lítio. Essas inovações permitiram o desenvolvimento de restaurações que combinam resistência mecânica com excelentes propriedades estéticas [20].

O dissilicato de lítio, introduzido comercialmente através do sistema IPS e.Max, é uma cerâmica vítrea amplamente utilizada devido às suas propriedades mecânicas e estéticas superiores. Este material é composto por 65% de cristais de dissilicato de lítio em uma matriz vítrea, o que resulta em uma microestrutura que impede a propagação de trincas e confere alta resistência à flexão43 [51]. Além disso, o dissilicato de lítio apresenta uma excelente biocompatibilidade, especialmente com os tecidos moles, e é capaz de manter a saúde gengival ao redor das margens das restaurações. Estudos clínicos demonstraram que o dissilicato de lítio possui taxas de sobrevivência comparáveis às das restaurações metalo-cerâmicas tradicionais, com destaque para coroas unitárias e facetas laminadas [44].

O advento da odontologia digital, especialmente a tecnologia CAD/CAM, revolucionou a forma como as restaurações cerâmicas são projetadas e fabricadas. O dissilicato de lítio, devido à sua usinabilidade e propriedades mecânicas, se tornou um material de escolha para restaurações CAD/CAM. O IPS e.Max CAD, por exemplo, permite a confecção de restaurações com alta precisão e excelente ajuste marginal [43]. A odontologia digital também facilitou a personalização das restaurações, permitindo a reprodução fiel das características ópticas dos dentes naturais. Além disso, o uso de sistemas CAD/CAM tem mostrado reduzir o tempo clínico e aumentar a previsibilidade dos tratamentos, contribuindo para melhores resultados estéticos e funcionais [18].

Apesar dos avanços significativos, o dissilicato de lítio ainda enfrenta desafios, como o desgaste em contato com esmalte natural e a necessidade de técnicas de cimentação adequadas para maximizar sua durabilidade. Um estudo comparativo revelou que a zircônia, por exemplo, pode causar desgaste significativo no dissilicato de lítio, o que é um fator crítico a ser considerado ao selecionar materiais para reabilitações onde o dissilicato de lítio é utilizado [45]. Além disso, tratamentos superficiais, como a aplicação de ácido fluorídrico seguida de silano, ou o uso de primers cerâmicos auto-condicionantes, podem influenciar significativamente a força de adesão, especialmente após o envelhecimento simulado [46]. A viscosidade do cimento resinoso utilizado na cimentação também pode impactar a eficácia da adesão, sendo necessário equilibrar a penetração nas irregularidades da superfície, após o tratamento de superfície e a resistência mecânica da interface adesiva [46].

Estudos retrospectivos de longo prazo revelaram que as coroas e próteses parciais fixas de dissilicato de lítio têm uma taxa de sucesso variada dependendo da localização e do tipo de restauração, com uma maior taxa de falha observada em áreas posteriores devido à maior carga oclusal [44]. O artigo de Bacchi et al, (*"Advances in Ceramics for Dental Applications"*) fornece uma visão abrangente das propriedades mecânicas e estéticas dos materiais cerâmicos modernos, destacando o dissilicato de lítio como um material que combina estética superior com uma resistência mecânica suficiente para aplicações em áreas de alta demanda. A possibilidade de ajustar a translucidez do dissilicato de lítio para atender a diferentes necessidades estéticas

também é uma inovação importante que melhora a versatilidade clínica desse material [18].

2.3 TECNOLOGIA CAD-CAM

A tecnologia CAD-CAM tornou-se um componente essencial da odontologia atual, permitindo a criação de restaurações dentárias com níveis de precisão e eficiência sem precedentes. Desde os primeiros desenvolvimentos nos anos 1980, com sistemas como o CEREC, a tecnologia evoluiu significativamente, transformando-se em uma ferramenta indispensável na prática odontológica moderna [9]. A evolução do CAD-CAM foi impulsionada por avanços em várias áreas da tecnologia digital, incluindo o escaneamento intraoral, impressão 3D, softwares de design e fresadoras [6]. Os escâneres intraorais são fundamentais no início do fluxo de trabalho digital, capturando a anatomia bucal do paciente em três dimensões. Esses dispositivos oferecem uma precisão significativa, medida em termos de veracidade ("*trueness*") e precisão ("*precision*"), sendo comparáveis às técnicas tradicionais de moldagem, especialmente em casos de próteses unitárias e parciais [4,16]. Contudo, a precisão dos escâneres intraorais pode variar conforme o sistema utilizado e tende a diminuir em escaneamentos de arcos completos devido à maior área escaneada, o que pode resultar em distorções cumulativas [25,46].

A precisão e a qualidade das restaurações fabricadas digitalmente também dependem das impressoras 3D e fresadoras utilizadas no processo. As fresadoras CAD-CAM, em particular, têm sido amplamente reconhecidas por sua capacidade de produzir coroas, próteses fixas e outras restaurações com alta precisão, utilizando materiais como dissilicato de lítio e zircônia [48]. Estudos comparativos mostram que as fresadoras oferecem desempenho superior ou equivalente às técnicas tradicionais, especialmente na fabricação de restaurações definitivas [22,49]. Essas tecnologias permitem a criação de restaurações cada vez mais precisas e personalizadas, utilizando fresadoras de múltiplos eixos para esculpir coroas a partir de blocos cerâmicos. O estudo de Sadid-Zadeh et al. comparou a adaptação marginal de coroas de dissilicato de lítio fabricadas por diferentes técnicas de fresagem, incluindo fresadoras de 3 e 5 eixos. Os resultados mostraram que as coroas fresadas com uma máquina de 3 eixos apresentaram o menor desvio marginal (77,2 µm), enquanto as de 5 eixos também apresentaram valores dentro dos limites clinicamente aceitáveis,

mas com ligeiras variações [50]. Isso demonstra que a escolha do equipamento pode influenciar a precisão do ajuste marginal, com fresadoras de mais eixos oferecendo potencialmente maior precisão em áreas de difícil acesso.

Impressoras 3D, por outro lado, têm se destacado na produção de modelos e guias cirúrgicos, além de próteses provisórias, demonstrando uma adaptação marginal aceitável em muitos casos [51]. As impressoras 3D, particularmente aquelas que utilizam tecnologia de estereolitografia (SLA) e processamento digital de luz (DLP), destacam-se na fabricação de coroas provisórias e permanentes com excelente adaptação marginal [52,53]. Estudos como os de Son et al. e Memari et al. indicam que as coroas impressas em 3D podem alcançar precisão comparável às fabricadas por fresagem, com a vantagem de reduzir o desperdício de material e o custo de produção. A digitalização e a impressão 3D oferecem uma previsibilidade e consistência que são difíceis de replicar com métodos convencionais [52,53]. No entanto, distorções podem ser ocasionadas por falta de calibração da impressora, tempo de cura inadequada, tipo de resina, espessura da camada, ângulo de impressão e falta de conhecimento técnico do equipamento [12,54,55].

Os softwares CAD desempenham um papel central nesse fluxo de trabalho digital, permitindo aos dentistas e técnicos criarem designs personalizados com precisão milimétrica. Esses programas são equipados com algoritmos avançados que otimizam a adaptação marginal das restaurações, ajustando o espaço para cimento e minimizando o risco de falhas [7]. A integração dos softwares CAD com outros sistemas digitais, como tomografias computadorizadas, possibilita a criação de um modelo digital completo do paciente, facilitando o planejamento e execução dos tratamentos [2].

Assim, a integração da tecnologia CAD-CAM no fluxo de trabalho odontológico digital representa uma evolução significativa na prática odontológica atual. Com o uso de escâneres intraorais, impressoras 3D, fresadoras e softwares avançados, é possível obter resultados clínicos superiores em termos de precisão, eficiência e satisfação do paciente. À medida que a tecnologia continua a evoluir, espera-se que o fluxo de trabalho digital se torne o padrão na odontologia, proporcionando tratamentos ainda mais personalizados e eficazes [4,7,48]. Ainda, vale ressaltar que a precisão dos sistemas CAD-CAM pode ser afetada por vários fatores, incluindo a

qualidade do escaneamento, a configuração do espaço para cimento e o tipo de material utilizado [25,51].

2.4 FORMAS DE ANÁLISE

A Micro-TC é uma técnica de imagem avançada que utiliza raios-X para criar imagens bidimensionais e tridimensionais de alta resolução de estruturas internas, sem a necessidade de destruição das amostras. A tecnologia, amplamente utilizada em diversas áreas da ciência, incluindo a odontologia, permite a avaliação detalhada de tecidos biológicos e materiais dentários com uma precisão inigualável [13,56,57]. Diferente de outras técnicas de imagem, como a tomografia convencional, a Micro-TC fornece uma resolução espacial significativamente superior, o que a torna uma ferramenta poderosa para o estudo de estruturas minuciosas e complexas [56-59].

Na odontologia clínica e de pesquisa, a Micro-TC tem se destacado como uma ferramenta essencial para a análise de diversos aspectos relacionados à saúde bucal e ao desempenho de materiais odontológicos [59]. Sua aplicação abrange desde a avaliação da morfologia e densidade de tecidos dentários até o estudo da adaptação de restaurações dentárias, como coroas cerâmicas [13,15,58]. O uso da Micro-TC permite a análise não destrutiva de amostras, possibilitando a avaliação repetida ao longo do tempo, o que é particularmente útil em estudos longitudinais e de desgaste de materiais [58,59].

Uma das principais vantagens da Micro-TC é a capacidade de fornecer informações detalhadas sobre a adaptação marginal e interna de coroas protéticas. Estudos como os de Riccitiello et al. e Duqum et al. demonstram que essa tecnologia é capaz de avaliar com precisão a discrepância entre a coroa e o dente preparado, tanto nas margens quanto nas superfícies internas. Esses parâmetros são críticos para o sucesso clínico das restaurações, uma vez que discrepâncias marginais podem levar a falhas na reabilitação protética [15,25].

A Micro-TC também permite a comparação entre diferentes materiais e métodos de fabricação de coroas, como observado nos estudos de Ferrairo et al. e Dauti et al., onde foram comparadas coroas de dissilicato de lítio e zircônia, fabricadas por técnicas CAD-CAM e prensagem a quente [22,24]. Esses estudos mostraram que,

embora todas as coroas analisadas apresentassem adaptações dentro de limites clinicamente aceitáveis, havia variações significativas na precisão das margens e na distribuição do cimento dependendo do material e do método de fabricação utilizado [22,24]. Essas informações são valiosas para os profissionais de odontologia ao escolherem os materiais e técnicas mais adequados para cada caso clínico. Além disso, a Micro-TC tem sido utilizada para avaliar a eficácia de diferentes técnicas de escaneamento digital e de impressão, como investigado por De Freitas et al. e Queiroz et al. Esses estudos destacam como a tecnologia digital pode influenciar a adaptação final das coroas, oferecendo parâmetros para otimizar os fluxos de trabalho digitais para melhorar os resultados clínicos [13,57].

As melhorias que as pesquisas com Micro-TC podem trazer para a odontologia são substanciais, particularmente em termos de parâmetros clínicos. Ao permitir uma avaliação detalhada e precisa da adaptação marginal e interna, a Micro-TC contribui para o desenvolvimento de protocolos para produção de restaurações dentárias com melhor desempenho e maior longevidade [13]. Esses parâmetros resultantes das pesquisas, auxiliam na prevenção de falhas em restaurações, permitindo intervenções preventivas e melhorando a satisfação dos pacientes. Sua capacidade de fornecer imagens de alta resolução e análises precisas contribui para avanços significativos na fabricação e avaliação de coroas protéticas, com implicações diretas na melhoria dos padrões clínicos e na qualidade dos tratamentos oferecidos aos pacientes [57].

A técnica de réplica é amplamente utilizada na avaliação da adaptação marginal e do ajuste interno de restaurações dentárias, sendo considerada uma metodologia confiável e acessível para medir discrepâncias. Este método utiliza silicones de baixa e alta viscosidade para replicar o espaço do cimento e garantir a estabilização da camada durante a análise. A réplica permite capturar detalhes precisos da superfície dentária, que são importantes para a avaliação da adaptação marginal [60]. Em estudos comparativos, a técnica de réplica demonstrou forte correlação com a tomografia de coerência óptica, comprovando sua eficácia na medição de discrepâncias marginais [61,62].

A simplicidade do método de réplica, associada ao baixo custo e à reprodutibilidade, contribui para sua ampla aceitação, especialmente em estudos in vitro. No entanto, algumas limitações foram identificadas, como a padronização das

áreas analisadas, a possibilidade de laceramento do filme de silicone e a restrição das medições a pontos específicos, o que pode não representar a adaptação geral da restauração [22]. Apesar disso, essa técnica oferece resultados dentro de parâmetros clinicamente aceitáveis para coroas dentárias, especialmente no que se refere à adaptação marginal e ao espaço interno.

Quando comparada a outras metodologias, como a microtomografia computadorizada, a técnica de réplica apresentou equivalência em termos de eficácia, com uma forte correlação entre os resultados obtidos por ambas as abordagens [22]. A micro-TC, contudo, oferece maior detalhamento ao possibilitar análises volumétricas e a visualização completa do espaço de cimento, enquanto a técnica de réplica se limita a cortes e pontos definidos. Em estudos que avaliaram restaurações metalocerâmicas e totalmente cerâmicas, a técnica de réplica revelou lacunas marginais clinicamente aceitáveis, reforçando sua relevância na prática clínica [63]. Além disso, a literatura sugere que, embora a técnica de réplica seja uma ferramenta valiosa, seu uso combinado com métodos mais avançados pode oferecer uma análise ainda mais robusta e precisa.

Uma abordagem interessante que complementa a técnica de réplica é o uso do material Fit Checker como um meio de ajuste para desadaptações. Este material de silicone é reconhecido por sua capacidade de revelar áreas de interferência no ajuste de restaurações antes da cimentação final, proporcionando informações adicionais sobre o espaço entre a restauração e o preparo dentário. Estudos indicam que o Fit Checker, sob cargas específicas, pode oferecer uma espessura de filme suficientemente fina para simular o comportamento do cimento de cimentação. Essa característica permite que o Fit Checker atue como um ensaio pré-cimentação, aumentando a precisão da avaliação do ajuste marginal e interno [28].

Portanto, a técnica de réplica permanece uma escolha consolidada para a pesquisa e avaliação de restaurações dentárias, especialmente devido à sua acessibilidade e reprodutibilidade. Contudo, suas limitações devem ser consideradas no planejamento experimental, e o uso de abordagens complementares, como o Fit Checker, pode ser vantajoso em contextos que exijam maior detalhamento e precisão nas análises.

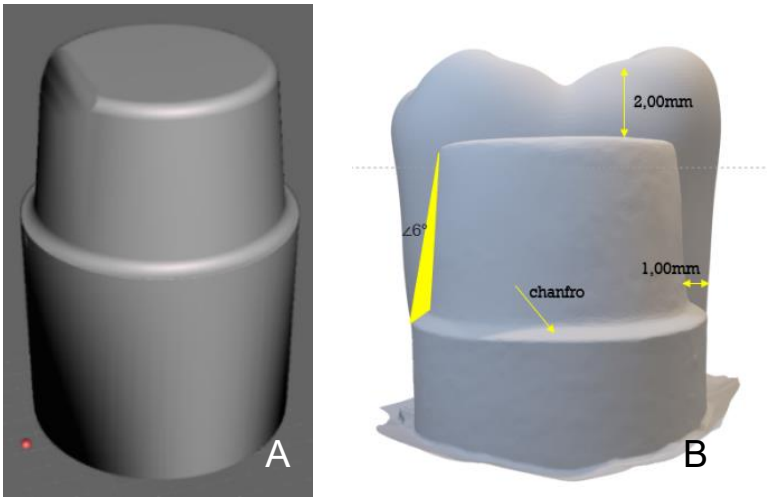
Em suma, o dissilicato de lítio representa um marco importante na evolução das cerâmicas odontológicas, combinando estética, resistência e biocompatibilidade em um material versátil e eficaz. Sua integração com a odontologia digital através de tecnologias CAD/CAM não apenas aprimorou a qualidade das restaurações, mas também aumentou a eficiência dos processos clínicos. Os estudos que utilizam a micro-TC associada a odontologia digital e as cerâmicas odontológicas, contribuem para que as reabilitações sejam cada vez mais precisas, levando a uma maior longevidade e satisfação do paciente. No entanto, a pesquisa contínua é necessária para enfrentar os desafios remanescentes e explorar todo o potencial dos materiais e tecnologias na odontologia restauradora.

3. MATERIAL E MÉTODO

3.1 OBTENÇÃO DOS CORPOS DE PROVA

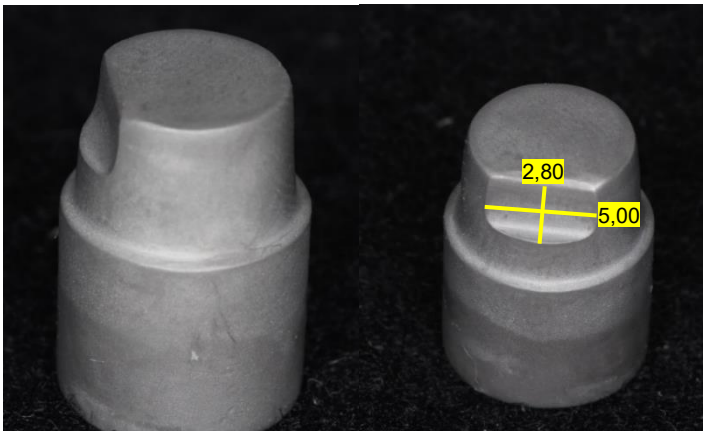
Para esta pesquisa, uma matriz foi desenhada em um software 3D (Fusion 360 - Autodesk), com dimensões de 17mm (A) x 10mm (L) e preparado para uma coroa total unitária com desgaste oclusal de 2 mm, desgaste axial de 1 mm na base do preparo, com término em chanfro e angulação de 6°, resultando assim em um preparo de 6mm (A) x 7mm (L), mantendo uma base de 9mm para manipulação da matriz. O arquivo digital foi salvo em STL e enviado ao laboratório para fresagem de um bloco metálico de CoCr (Ceramill Sintron - AmannGirrbach) (Figura 1). Este material foi selecionado devido a resistência ao desgaste e/ou esmagamento que poderia ocorrer durante a prova das coroas, pois somente uma matriz foi confeccionada. Após a fresagem, um recorte medindo 2,80 mm X 5,00 mm (A x L), foi feito com o objetivo de evitar a rotação da coroa e essa parede foi considerada a face vestibular (Figura 2).

Figura 1 - (a) Matriz desenhada em software 3D; (b) Figura demonstrativa dos parâmetros de preparo de coroa unitária



Fonte: O autor (2021)

Figura 2 - Matriz fresada e adaptada para evitar rotação da coroa protética

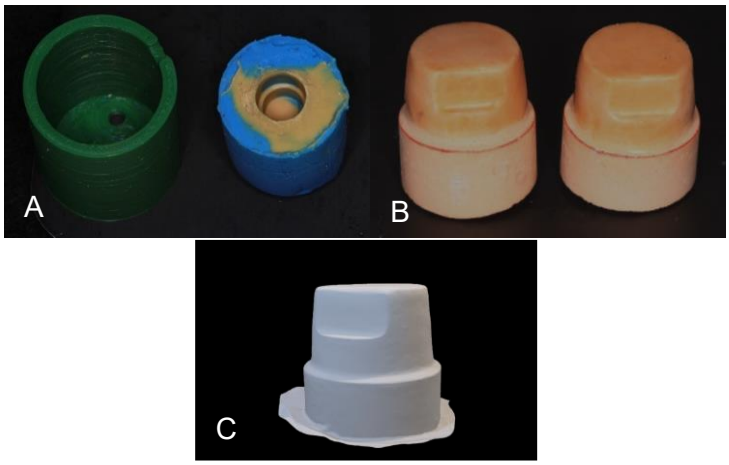


Fonte: O autor (2021)

A matriz foi moldada 20 vezes, com silicone por adição(Virtual , Ivoclar Vivadent) denso e leve, utilizando a técnica de dupla moldagem e proporções de acordo com as orientações do fabricante. Os moldes foram vazados com gesso tipo IV (Elite Rock – Zhermack), preparado em espatuladora a vácuo (Turbo Mix – EDG), respeitando as proporções indicadas pelo fabricante.

A mesma matriz foi escaneada 30 vezes, utilizando o escâner Cerec Omnicam 2 (Dentsply Sirona) gerando arquivos STL com software Cerec Connect SW 5.1.3 (Figura 3).

Figura 3 - (a) Molde em silicone Virtual (Ivoclar Vivadent); (b) Troquel em gesso tipo IV; (c) Modelo escaneado (arquivo STL)



Fonte: O autor (2021)

Os 20 modelos de gesso foram divididos em 2 grupos e os 30 arquivos STL distribuídos em 3 grupos, totalizando assim 50 troquéis (N=50). Cada grupo seguiu um fluxo laboratorial para confecção de uma coroa unitária em dissilicato de lítio, desde um processo totalmente analógico (grupo controle) até o totalmente digital (n=10), como mostrado na tabela 1.

Tabela 1 - Distribuição dos troquéis em cada grupo (n=10), conforme o processamento laboratorial.

GRUPOS	**PROCESSAMENTO**				
G1A Analógico	Moldagem	Modelo de gesso	Enceramento diagnóstico	Injeção	_____
G2H Híbrido	Moldagem	Modelo de gesso	Escaneamento do modelo	Enceramento digital	Fresagem
G3H Híbrido	Escaneamento	Impressão de modelo	Enceramento diagnóstico	Injeção	_____
G4H Híbrido	Escaneamento	Enceramento digital	Impressão do enceramento	Injeção	_____
G5D Digital	Escaneamento	Enceramento digital	Fresagem	_____	_____

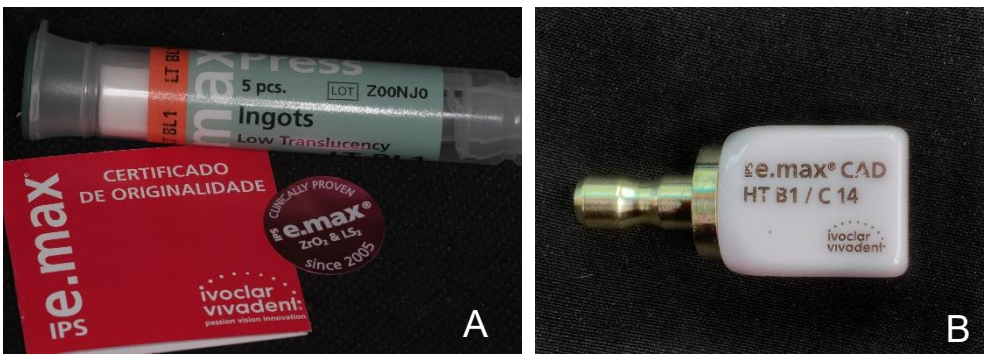
Fonte: O autor (2021)

O escaneamento do modelo de gesso do grupo G2H (n=10), foi realizado com o mesmo escâner da matriz (Cerec Omnicam 2 - Dentsply Sirona). A impressão de modelo do grupo G3H e impressão de enceramento do grupo G4H foram realizados na impressora 3D Anycubic Photon S (Anycubic) com tecnologia SLA-LCD, com resolução de camada de 50µm, e a resina utilizada foi a PriZma 3D Castable (MakerTech Labs). Todas as impressões foram imersas em álcool isopropílico por 5 minutos em uma lavadora (Wash and Cure – Anycubic), e após secagem, ficaram na curadora (Wash and Cure – Anycubic) com luz UV com 405nm de comprimento de onda, por 5 minutos como indicado pelo fabricante da resina.

O enceramento digital (CAD), dos grupos G2H, G4H e G5D foi realizado no software InLab SW 18.1 (Dentsply Sirona). O enceramento em cera, dos grupos G1A e G3H foi realizado pelo mesmo técnico em prótese dentária.

Para confecção das coroas de dissilicato de lítio, foram utilizadas 30 pastilhas IPS e-max Press - Ivoclar Vivadent (grupos G1A, G3H e G4H) e 20 blocos IPS e-max CAD - Ivoclar Vivadent (grupos G2H e G5D) (figura 4).

Figura 4 - (a) IPS e-max Press - Ivoclar Vivadent; (b) IPS e-max CAD - Ivoclar Vivadent



Fonte: O autor (2021)

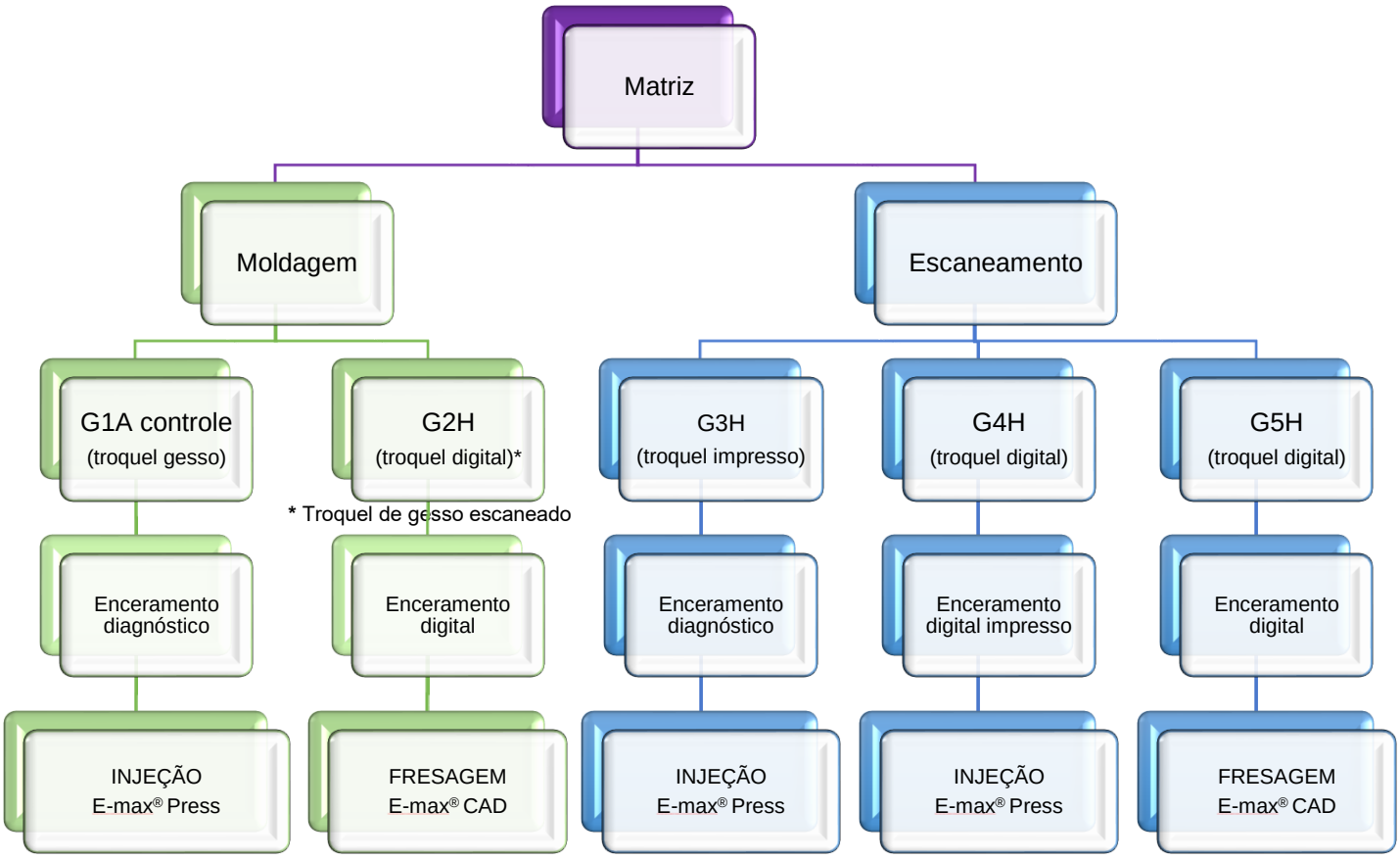
Em relação ao processo de injeção, após a montagem e fixação dos padrões (restaurações), que seriam injetados no anel de silicone, foi realizada a manipulação do revestimento Bellavest SH (BEGO Bremer Goldschlägerei), conforme instruções do fabricante. Em seguida, o revestimento foi vertido dentro do anel cuidadosamente para evitar a formação de bolhas de ar. Logo após o tempo de presa indicado pelo

fabricante do revestimento, o anel de silicone foi removido e o anel de revestimento foi levado ao forno próprio de aquecimento de anéis W-one (EDG), pré-aquecido a 700°C, para iniciar um processo de desidratação do revestimento (o que confere maior resistência para suportar a prensagem) e eliminação do padrão de cera e/ou resina (técnica da cera perdida) por 1 hora. Em seguida, o anel foi levado ao forno Multimat NTXpress (Dentsply Sirona) para a prensagem da pastilha. A temperatura inicial do forno foi de 700°C, sendo elevado 60°C por minuto, obtendo 920°C no processo final. O tempo total foi de 25 minutos, sendo 5 minutos para aquecimento, 15 minutos de elevação de temperatura e 5 minutos de pressão de 2,7 BAR sobre a pastilha. Finalizado o processo de prensagem, aguardou-se o resfriamento natural do anel para a desinclusão das peças. Foi utilizado jato de óxido de alumínio para remoção de todo o revestimento. Para remoção dos batoques, acabamento, evidenciação da anatomia e polimento, utilizou-se pontas diamantadas, pedras e borrachas, próprias para dissilicato de lítio.

O processo de fresagem, foi realizado na fresadora InLab MCXL (Dentsply Sirona), com 4 eixos e o tempo médio de fresagem para cada bloco foi de 9 minutos. Após o acabamento e polimento, foram sinterizadas no forno Multimat NTXpress (Dentsply Sirona), por 10 minutos, a uma temperatura inicial de 500°C, sendo elevado 95°C por minuto, atingindo 850°C final.

Inicialmente, nenhuma adaptação ou alívio da parte interna ou da margem das coroas foi realizada sobre a matriz. O técnico de prótese dentária somente trabalhou sobre os troqueis de gesso, impresso ou digital. As 50 coroas obtidas, foram numeradas e dispostas cada uma em seu grupo e então levadas para as medições iniciais das desadaptações marginais e internas (figura 5).

Figura 5 – Fluxograma de distribuição dos troquéis por fluxo de processamento



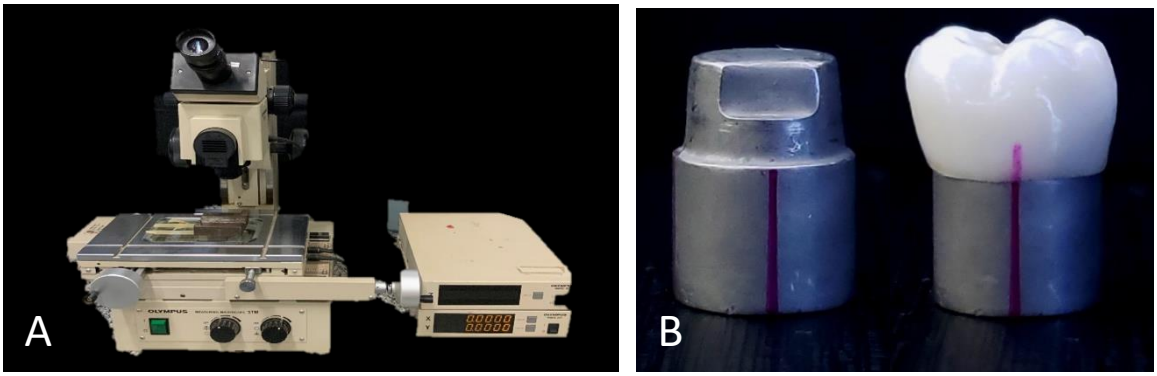
Fonte: O autor (2021)

3.2 MEDIÇÕES

3.2.1 DESADAPTAÇÃO MARGINAL

As medições pré e após ajustes internos da desadaptação marginal foram realizadas por meio de um estereomicroscópio ótico Olympus STM (Olympus Corporation – USA) com aumento de ×30 e o sistema de medição com o OLYMPUS MMDC 201 (figura 6a). Para tanto, as faces na matriz foram identificadas (vestibular, lingual, mesial e distal) e pontos para a medição determinados visualmente a partir da metade de cada face das amostras, ou seja, no meio das faces vestibular, lingual, mesial e distal (figura 6b). A leitura foi realizada em triplicata em cada face da coroa protética encaixada sobre a matriz [39].

Figura 6 – (a) Microscópio Olympus STM (Olympus Corporation – USA) e sistema de medição Olympus MMDC 201; (b) Marcação do meio da face vestibular para leitura



Fonte: O autor (2021)

3.2.2 DESADAPTAÇÃO INTERNA

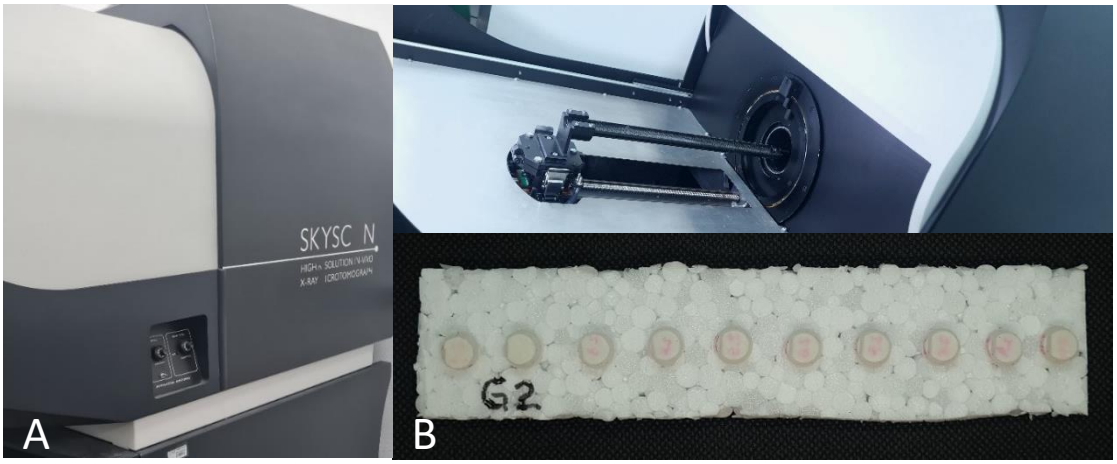
Para avaliação pré e após ajustes internos da desadaptação interna, foi utilizado um silicone por adição (Fit Checker Advanced, GC Internacional) indicado para verificação de interferências e ajustes internos. Este foi aplicado com pistola e ponta misturadora 1:1 na parte interna da coroa e então posicionado sobre o modelo padrão sob pressão digital por 20 segundos por um operador calibrado. A pressão aplicada foi calibrada em uma balança digital para que o peso aplicado fosse padronizado (média de 1,8Kg). Após os 20 segundos, os excessos foram removidos com uma lâmina de bisturi, com o objetivo de preservar a borda marginal do silicone. Após o tempo de presa, indicada pelo fabricante, a coroa foi removida e a película de silicone foi analisada visualmente a fim de se observar e identificar os pontos que indicam interferências (ausência de silicone) no assentamento da coroa (figura 7).

Figura 7 - (a) Coroa em dissilicato de lítio, matriz e película; (b) película com rasgamento na parede axial.

Fonte: O autor (2024)

As películas foram levadas à micro-TC (SkyScan 1176; Bruker, Kontich, Bélgica) (figura 8). Os parâmetros utilizados para a aquisição das imagens foram: voltagem 39 kV, corrente de 468 µA, rotação da imagem em 360°, filtro de Al 0,2 mm e tamanho de pixel 18,50 µm. O escaneamento de cada película durou 11 minutos aproximadamente. A reconstrução da imagem foi realizada pelo software NRecon 1.7.4.6 (Bruker, Kontich, Bélgica), e o tempo de reconstrução de cada corte foi de aproximadamente 0,28 segundos. Após a reconstrução, as imagens foram convertidas em arquivos DICOM, utilizando o software DicomCT versão 2.1 (Bruker, Kontich, Bélgica).

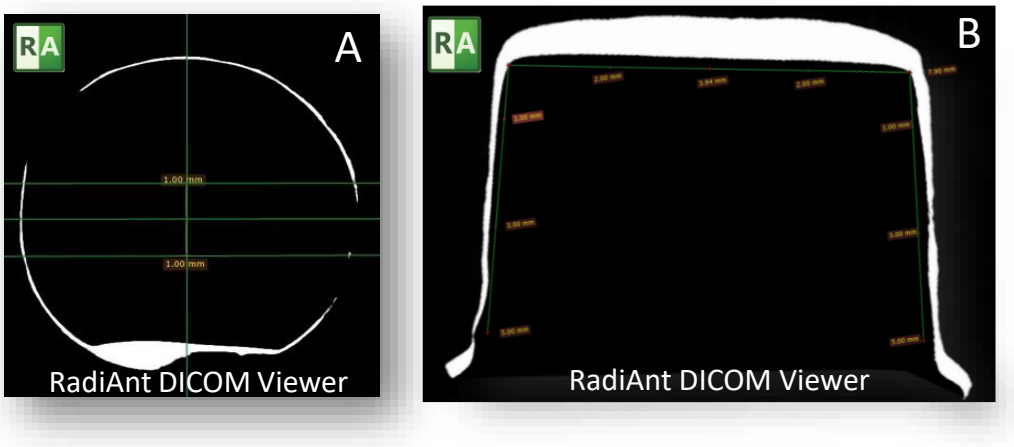
Figura 8 - (a) Microtomógrafo SkyScan 1176, Bruker; (b) disposição das películas para leitura no microtomógrafo



Fonte: autor (2024)

A espessura da película foi analisada e medida pelo software RadiAnt DICOM Viewer, versão 2024.1 (Medixant, Poznan, Poland). Foram analisados 3 cortes no sentido mesio-distal (central, 1 mm sentido vestibular e 1 mm sentido lingual) (figura 9a). Os pontos de medição foram: parede mesial e distal: 1 mm, 3 mm, 5 mm no sentido ocluso-apical; parede oclusal: centro da parede oclusal e 2mm em direção ao centro partindo da parede mesial e distal. Totalizando assim 9 pontos em cada corte (figura 9b). Para o cálculo da desadaptação interna foi considerada a média dos 27 pontos analisados por película.

Figura 9 - (a) Corte coronal: 3 cortes no sentido mesio-distal (central, 1 mm sentido vestibular e 1 mm sentido lingual); (b) corte axial: 9 pontos de medição sendo: parede mesial e distal: 1 mm, 3 mm, 5 mm no sentido ocluso-apical (linhas amarelas); parede oclusal: centro da parede oclusal e 2 mm em direção ao centro partindo da parede mesial e distal (linhas verdes)

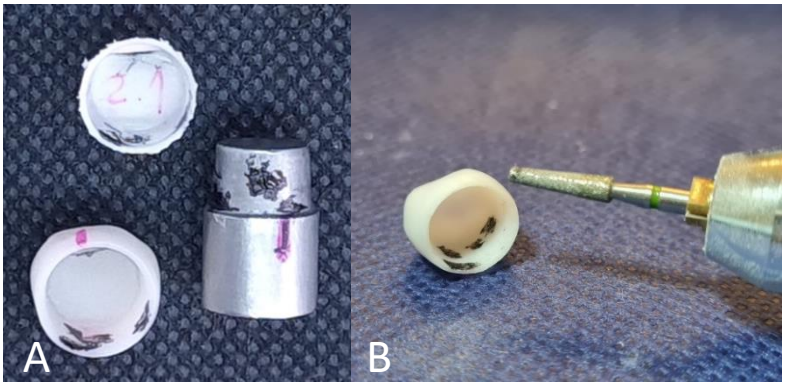


Fonte: O autor (2024)

3.3 AJUSTES INTERNOS

Após a obtenção das películas de silicone das 50 amostras e a medição inicial da espessura, os pontos de interferências (ausência de silicone) foram identificados e marcados nas coroas, com um marcador permanente na cor preta (Pilot Pen do Brasil, São Paulo -SP, Brasil) (figura 10a) e então desgastados com o auxílio de uma ponta diamantada (Precision PM880R média, American Burrs, Palhoça - SC, Brazil) para peça reta, em baixa rotação, sem refrigeração (figura 10b). Para fins de padronização, o processo de ajuste interno foi realizado uma única vez.

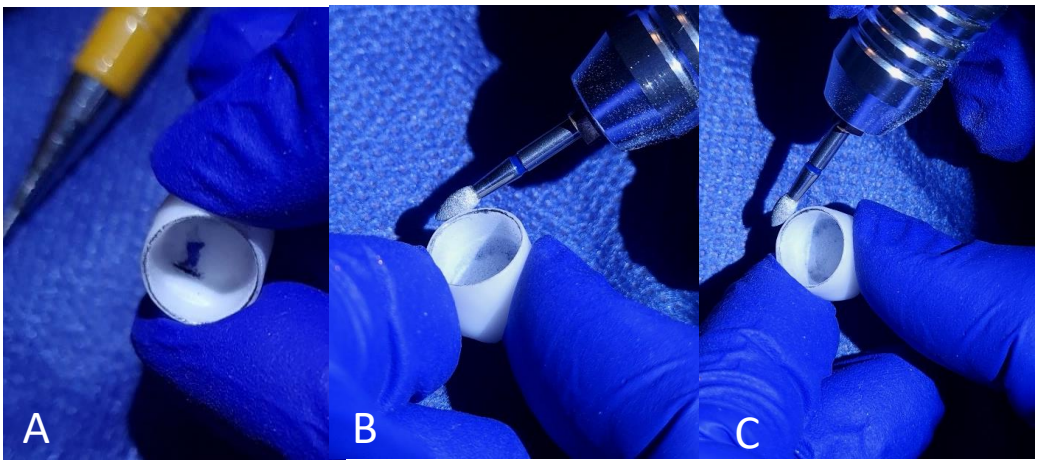
Figura 10 - (a) Pontos de interferência identificados; (b) ponta diamantada Precision PM880R média (American Burrs)



Fonte: O autor (2024)

Após as primeiras medições, o grupo 4 apresentou inicialmente um sobrecontorno marginal. Este foi identificado e a margem real foi marcada com uma lapiseira 0.7. Foi realizado um desgaste cuidadoso desse excesso com uma ponta diamantada (Precision PM830 média, American Burrs, Palhoça - SC, Brazil)) em 45°, com o auxílio de uma lupa com aumento de 3x, para que a visualização da desadaptação real fosse possível (figura 11).

Figura 11 - (a) Marcação da margem; (b) desgaste realizado em 45°; (c) ponta diamantada Precision PM830 média (American Burrs)



Fonte: O autor (2024)

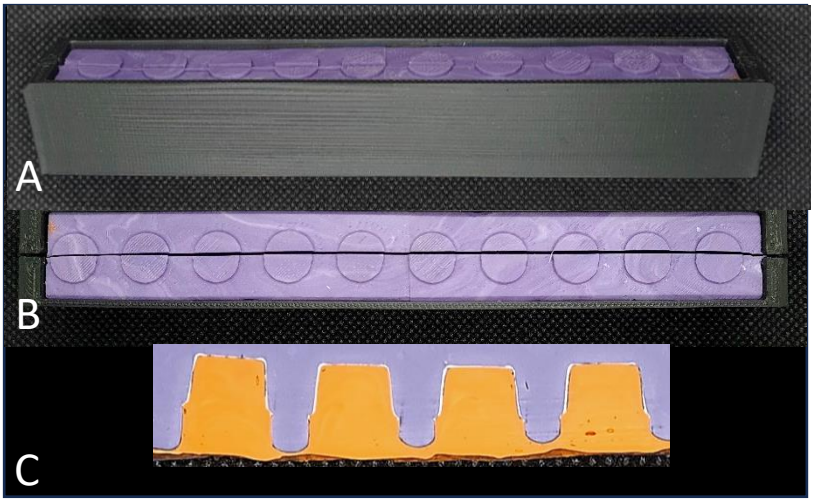
Após os desgastes mencionados, as 50 coroas receberam uma nova película de silicone e as medições, tanto em microscópio quanto em Micro-TC, foram refeitas como já descrito no tópico 3.2 - Medições.

Os dados iniciais e finais foram tabulados e analisados estatisticamente.

3.4 PREPARO DAS RÉPLICAS

Todas as películas, após as análises em Micro-TC, foram incluídas em silicone por adição denso (SilicOne, FGM Dental Group, Joinville - SC, Brasil), em uma caixa retangular projetada em um software 3D (Shapr3D, Shapr3D Zrt, Budapeste, Hungria) e impressa em filamento. Para permitir que todas ficassem alinhadas, elas foram posicionadas sobre 10 troqueis de gesso alinhados e presos em uma base de silicone, para dar suporte no momento da inclusão. Após a remoção dos troqueis de gesso, todas foram preenchidas com silicone por adição leve (SilicOne light body, FGM Dental Group, Joinville - SC, Brasil). Após o tempo de presa indicado pelo fabricante, cada grupo foi cortado no sentido mesio distal, no ponto mais central do sentido vestíbulo lingual (figura 12) com uma lâmina de estilete nova**.**

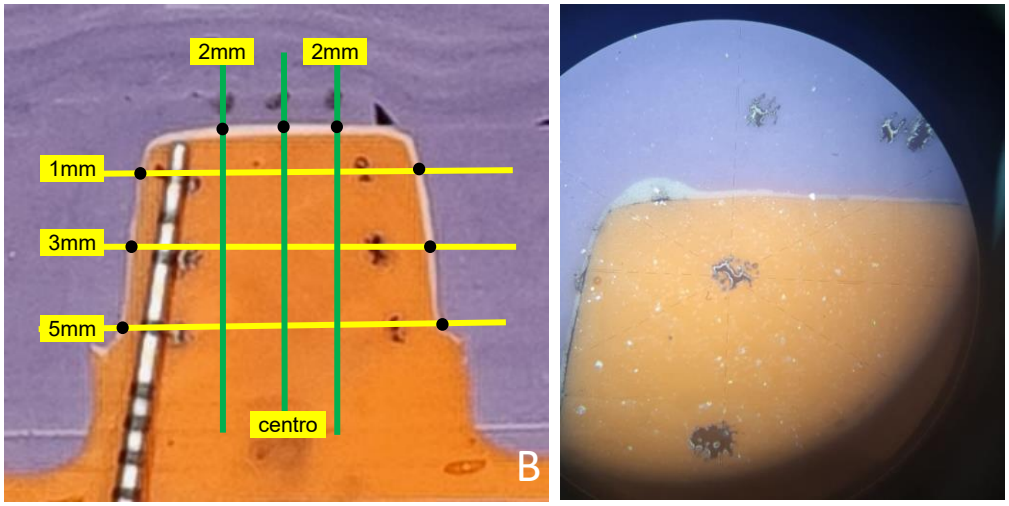
Figura 12 - (a) Caixa retangular projetada em software 3D e impressa em filamento; (b) corte mesio-distal; (c) películas incluídas em silicone por adição denso e leve.



Fonte: O autor (2024)

Os mesmos pontos do corte central analisados nas microtomografias foram avaliados no mesmo estereomicroscópio ótico Olympus STM (Olympus Corporation – USA) com aumento de ×30 e o sistema de medição com o OLYMPUS MMDC 201. Uma única medição foi realizada nos 9 pontos de cada amostra (figura 13).

Figura 13 - (a) Pontos de medição; (b) imagem da réplica em microscopia



Fonte: O autor (2024)

3.5 ANÁLISE ESTATÍSTICA

Previamente as análises, os dados de desadaptação marginal (µm) foram avaliados quanto à normalidade pelo teste de Shapiro-Wilk. Em seguida, submetidos à análise de variância (ANOVA) a dois critérios. Os fatores do estudo foram a técnica de obtenção da coroa (grupos analógico, híbridos e digital) e o tempo (antes e após ajustes internos). As comparações múltiplas foram efetuadas pelo teste de Tukey. Os cálculos estatísticos foram conduzidos adotando-se o nível de significância de 5% ($\alpha = 0,05$), no programa SigmaStat 15.0 (Systat Software Inc., San Jose, California, EUA).

4. RESULTADOS

A tabela 2 mostra os valores médios e o desvio padrão da desadaptação marginal das coroas em dissilicato de lítio utilizando recursos analógicos e digitais antes e após ajustes internos quando um estereomicroscópio ótico foi usado.

Tabela 2 - Média e desvio padrão em µm, dos valores de desadaptação marginal por estereomicroscópio.

Grupos	Troquel	E-max®	Original	Após ajuste interno
G1A (Controle)	Gesso	Press	163,3 (75,9) A, ab	86,8 (27,3) A, a
G2H	Gesso / Digital	CAD	218,0 (40,8) A, b	127,1 (26,9) A, a
G3H	Resina (impressão)	Press	661,8 (268,5) B, b	327,8 (156,6) A, b
G4H	Digital	Press	18,1 (7,8) A, a	138,1 (53,3) B, a
G5D	Digital	CAD	236,5 (92,0) B, b	109,4 (59,9) A, a

*Letras diferentes mostram diferenças estatisticamente diferentes. Letras maiúscula comparação na linha e letras minúsculas comparação na coluna.

De acordo com a análise estatística dos resultados, quando avaliada a desadaptação marginal com o estereomicroscópio das peças originais, G4H mostrou os menores valores de desadaptação marginal diferindo estatisticamente de G2H, G5D e G3H que mostraram os maiores valores de desadaptação marginal não diferindo entre si. G1A (controle) mostrou resultados intermediários não diferindo dos outros grupos. Após a realização dos ajustes internos na peça, todos os grupos apresentaram valores de desadaptação marginal semelhantes, com exceção de G3H que manteve os maiores valores.

Quando avaliado a desadaptação marginal das peças originais e após os ajustes internos, G1A e G2H não mostraram diferença nos valores. G3H e G5D mostraram menores valores de desadaptação marginal após a realização dos ajustes internos, enquanto G4H mostrou menor desadaptação marginal da peça original.

A tabela 3 mostra os valores médios e o desvio padrão da desadaptação interna das coroas em dissilicato de lítio utilizando recursos analógicos e digitais antes e após ajustes internos quando a micro-TC foi usada.

Tabela 3 - Média e desvio padrão em µm, dos valores de desadaptação interna por Micro-TC.

Grupos	Troquel	E-max®	Original	Após ajuste interno
G1A (Controle)	Gesso	Press	250,4 (81,5) A, a	212,8 (36,8) A, ab
G2H	Gesso / Digital	CAD	222,6 (98,7) A, a	182,9 (21,6) A, ab
G3H	Resina (impressão)	Press	429,1 (178,7) B, b	245,3 (80,5) A, b
G4H	Digital	Press	170,4 (27,8) A, a	199,1 (20,0) A, ab
G5D	Digital	CAD	144,9 (40,7) A, a	129,5 (18,6) A, a

*Letras diferentes mostram diferenças estatisticamente diferentes. Letras maiúscula comparação na linha e letras minúsculas comparação na coluna.

Quando avaliada a desadaptação interna pela micro-TC das peças originais, todos os grupos mostraram valores semelhantes, com exceção do G3H que mostrou os maiores valores de desadaptação interna. Após a realização dos ajustes internos na peça, G5D mostrou valores de desadaptação interna menores que G3H, enquanto todos os outros grupos mostraram valores intermediários não diferendo dos demais grupos avaliados.

Quando avaliada a desadaptação interna pela micro-TC das peças originais e após os ajustes internos, todos os grupos avaliados mostraram valores de desadaptação interna semelhantes entre si. A exceção foi G3H que mostrou menores valores de desadaptação interna após a realização dos ajustes internos.

A tabela 4 mostra os valores médios e o desvio padrão da desadaptação marginal das coroas em dissilicato de lítio utilizando recursos analógicos e digitais antes e após ajustes internos quando películas de silicone foi usado.

Tabela 4 - Média e desvio padrão em µm, dos valores de desadaptação interna por técnica da réplica.

Grupos	Troquel	E-max®	Original	Após ajuste interno
G1A (Controle)	Gesso	Press	184,2 (75,1) A, a	187,4 (4,4) A, ab
G2H	Gesso / Digital	CAD	142,3 (48,3) A, a	131,7 (19,7) A, ab
G3H	Resina (impressão)	Press	366,7 (149,8) B, b	205,8 (70,8) A, b
G4H	Digital	Press	204,3 (61,8) B, a	139,9 (28,9) A, ab
G5D	Digital	CAD	133,1 (36,6) A, a	115,9 (36,4) A, a

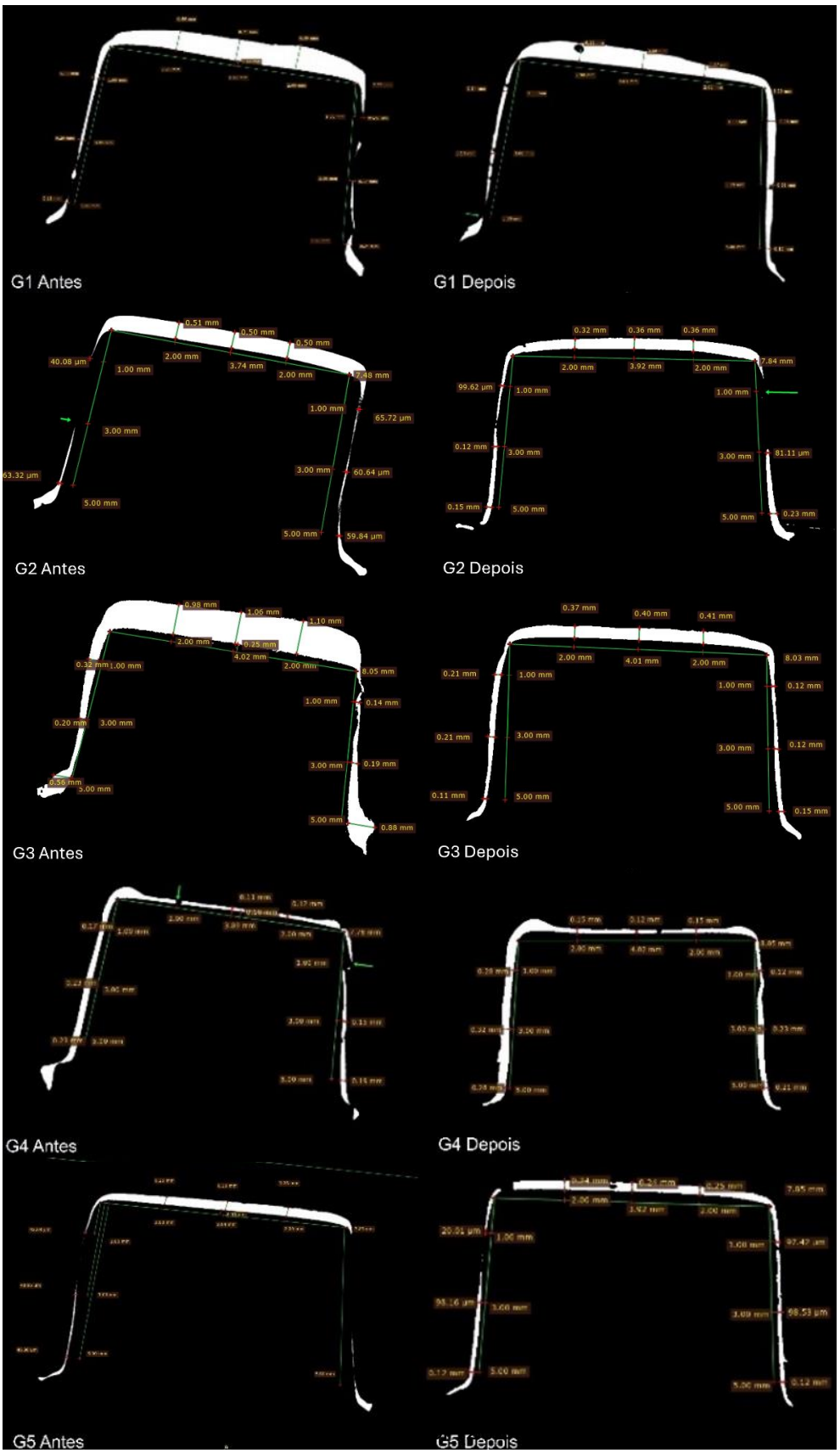
Letras diferentes mostram diferenças estatisticamente diferentes. Letras maiúscula comparação na linha e letras minúscula comparações na coluna.

Quando avaliada a desadaptação interna pela película de silicone das peças originais, todos os grupos mostraram valores semelhantes, com exceção do G3H que mostrou os maiores valores de desadaptação interna. Após a realização dos ajustes internos na peça, G5D mostrou valores de desadaptação interna menores que G3H, enquanto todos os outros grupos mostraram valores intermediários não diferendo dos demais grupos avaliados.

Quando avaliado a desadaptação interna pela película de silicone das peças originais e após os ajustes internos, todos os grupos avaliados mostraram valores de desadaptação interna semelhantes entre si. As exceções fora G3H e G4H que mostraram menores valores de desadaptação interna após a realização dos ajustes internos.

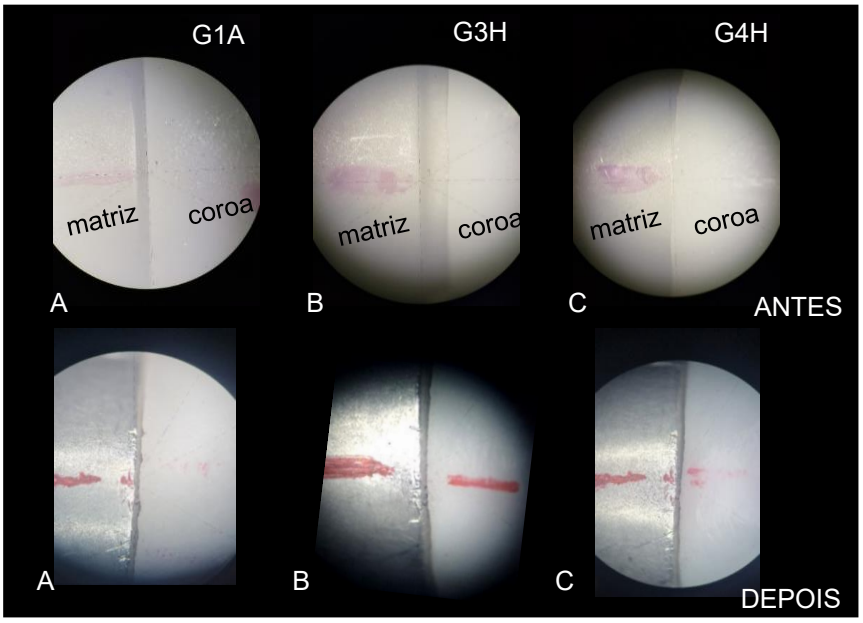
Quando observadas as imagens microtomográficas das películas dos grupos G1A, G4H e G5D, antes e após os ajustes internos, observa-se uma camada mais espessa na região oclusal nos grupos G1A e G5D, e uma melhor distribuição em todas as paredes no grupo G4H. Após os ajustes, observa-se uma diminuição na espessura da parede oclusal e uma melhor distribuição das paredes axiais. No grupo G4H, é possível observar o sobrecontorno antes dos ajustes na região marginal e a ausência após o ajuste (figura 14).

Figura 14 - Imagens microtomográficas, antes e após os ajustes internos.



Na análise microscópica da desadaptação marginal dos grupos G1A e G3H visualiza-se uma diminuição da desadaptação após os ajustes internos. O grupo G4H apresentava um sobrecontorno antes dos ajustes e após, é possível observar a desadaptação marginal real (figura 15).

Figura 15 - Análise microscópica; (a) G1A: antes - 163,3µm (75,9), depois – 86,8µm (27,3); (b) G3H: antes - 661,8µm (268,5), depois – 327,8µm (156,6); (c) G4H: antes - 18,1µm (7,8), depois – 138,1µm (53,3)



Fonte: O autor (2024)

5. DISCUSSÃO

Os resultados deste estudo rejeitam ambas as hipóteses propostas. A utilização do método analógico para confecção de coroas em dissilicato de lítio mostrou valores de desadaptação marginal e interna semelhantes aos métodos que utilizaram tecnologia digital. Apesar da observação de uma influência dos diferentes métodos de confecção das coroas de dissilicato de lítio (analógico, híbrido e totalmente digital) nas análises da desadaptação marginal e interna, o método digital não demonstrou superioridade em termos de desadaptação. Coroas confeccionadas através do fluxo digital completo apresentaram menores desadaptações marginais e internas em

comparação com o método híbrido, mas sem diferenças significativas com o analógico. Ainda, após os ajustes internos, os resultados demonstram uma melhora na desadaptação marginal e interna, no entanto sem diferenças estatísticas entre os grupos, com exceção do grupo G3H que resultou em uma diferença estatística na análise da desadaptação marginal quando comparado ao grupo controle (analógico), mas ainda com valor acima do preconizado na literatura. A metodologia deste estudo foi baseada na realidade clínica de laboratórios e consultórios odontológicos que por questões financeiras ainda não trabalham no fluxo totalmente digital, criando assim, os fluxos híbridos. Além disso, alguns procedimentos como a moldagem e a pressão digital da coroa no momento da confecção da película também foram baseados em uma rotina clínica.

Embora a literatura estabeleça como clinicamente aceitável uma lacuna marginal de até 120 µm [21,26,64-66], muitos estudos com sistemas CAD/CAM têm demonstrado resultados com valores inferiores a esse limite. Sugerindo que esses sistemas otimizam a precisão do ajuste marginal, frequentemente resultando em espessuras de cimento resinoso menores, o que pode contribuir para a longevidade das reabilitações protéticas [14,22,67-68]. Assim, embora o valor de 120 µm continue sendo amplamente utilizado como parâmetro de referência, os avanços na tecnologia digital oferecem a possibilidade de alcançar resultados ainda mais precisos, promovendo melhores resultados clínicos. Deve-se destacar que o estudo de McLean e Fraunhoufer, amplamente citado na literatura como referência para o limite aceitável de desadaptação marginal em coroas protéticas, foi conduzido com copings metálicos [64]. Ainda, o estudo de Yu et al., baseado na ISO4049:2019, cita que a espessura do filme de materiais de cimentação não deve exceder 50µm, embora isso nem sempre seja indicado pelos fabricantes [69]. Assim, novos estudos são necessários para se alcançar um consenso sobre a desadaptação ideal, levando em consideração a carga de cimento resinoso, a resistência mecânica do material escolhido e a microbiota oral, além do tipo e espessura da cerâmica.

O estudo de Patel et al, corrobora os resultados da presente pesquisa, afirmando que as técnicas digitais são comparáveis ao analógico e de que ainda não há evidências suficientes para afirmar que um método seja superior ao outro [11]. O mesmo pode ser visto no estudo da Dolev et al, que não encontraram diferenças entre

os métodos (prensagem a quente e CAD-CAM), mas os resultados obtidos estão abaixo dos 120µm [70], que neste estudo somente foi observado em alguns grupos após a realização de ajustes internos.

O estudo de Riccitielo et al [15], apresentou resultados diferentes do presente estudo, pois as coroas CAD-CAM foram superiores as prensadas, em termos de adaptação marginal. No entanto, observou-se uma camada mais espessa nas paredes oclusais e mais finas nas paredes proximais, o que condiz com os achados da atual pesquisa (figura 14). Estudos apontam que camadas mais espessas de cimento podem ser prejudiciais a resistência mecânica, resistência de união e grau de conversão do cimento das coroas de dissilicato de lítio [71-73]. Somente o grupo G4H apresentou uma espessura de camada oclusal menor, comparado aos outros grupos. Neste grupo, o enceramento digital (CAD) foi impresso e este resultado pode estar relacionado com o espaçamento digital que foi controlado pelo software (50µm). Os achados de Ottoni et al.[48], demonstram que a impressão do enceramento digital resultou em menores espessuras da desadaptação interna da parede oclusal, sugerindo que um processo mais controlado pode ser obtido e que associado a técnica de prensagem, as coroas de dissilicato de lítio podem apresentar melhores adaptações do que as confeccionadas por CAD-CAM. Ainda, o estudo de Alsheri et al [74], tem resultados comparáveis a esta presente pesquisa, onde o grupo G1A, com enceramento manual no fluxo analógico resultou em melhores adaptações marginais, principalmente após os ajustes internos, seguido pelo grupo totalmente digital (G5D).

Os grupos G1A, G2H e G5D, apresentam em seus fluxos de trabalho a moldagem com silicone de adição, escaneamento, troquel de gesso, troquel digital (CAM), injeção e fresagem e não apresentaram diferenças estatísticas entre si na desadaptação marginal e interna, demonstrando não haver influência destes fatores nos resultados obtidos nestes grupos. Assim como o tipo da cerâmica, lingote ou bloco, não influenciou os resultados obtidos. No entanto, estudos como o de Seelbach et al. e Lee et al. demonstraram que os métodos digitais CAD-CAM oferecem uma adaptação marginal e interna superior em comparação com as técnicas analógicas [49,75]. Esses estudos mostraram que coroas fabricadas digitalmente apresentam melhores valores de discrepância marginal, o que pode estar relacionado à eliminação de variáveis como a contração do material de moldagem e/ou a expansão do gesso,

comuns no método convencional [49,75,76]. Ainda, relataram que o uso de escâneres intraorais, quando comparado às impressões convencionais, resultam em adaptações marginais mais precisas, concluindo que a tecnologia CAD-CAM têm demonstrado um desempenho consistente e previsível, reduzindo erros humanos durante o processo de fabricação [75]. É importante ressaltar que a odontologia digital não se resume a uma única tecnologia ou técnica, mas sim a um conjunto integrado de procedimentos, técnicas e equipamentos que, quando aplicados de maneira harmoniosa, buscam melhorar os resultados das reabilitações dentárias, proporcionando maior previsibilidade e longevidade aos tratamentos.

A realização de ajuste interno nas coroas cerâmicas demonstrou ser uma intervenção eficaz para melhorar ainda mais a adaptação das coroas. Como mostrado em estudos prévios [31,49], esses ajustes permitiram a identificação de interferências na interface entre o preparo e a restauração, resultando em menores valores de desadaptação marginal e interna. Esses achados são coerentes com a literatura, que aponta os ajustes internos como um fator determinante para a longevidade e o sucesso clínico das restaurações cerâmicas, promovendo uma melhor espessura e uniformidade da camada de cimento [75,76]. O silicone por adição utilizado neste estudo para a análise de interferências e espessura da desadaptação da margem interna foi o Fit Checker Advanced (Automix), escolhido pela sua aplicabilidade prática. A pesquisa focou em avaliar as margens de maneira a fornecer informações aplicáveis à rotina clínica. A técnica de réplica se mostrou eficiente nesse aspecto, como também demonstrado em estudos anteriores [22,49,75], onde o uso de silicone por adição foi eficaz. O Fit Checker, além de apresentar bom escoamento, manteve a estabilidade e mostrou pontos de interferências precisos nas regiões com contato nas paredes axiais e oclusal das coroas de dissilicato de lítio, algo que outros materiais testados durante o projeto piloto não conseguiram alcançar. As dificuldades de escoamento e/ou rasgamento observadas com outros materiais reforçam os achados de Habib et al. e Kious et al., que concluíram que o Fit Checker apresentou uma película satisfatória para análise da margem interna [27,28]. Além disso, os desgastes controlados realizados nas paredes internas das coroas resultaram em melhorias nas desadaptações marginais em todos os grupos estudados, evidenciando a eficiência desse material para ajustes clínicos.

No grupo G4, além dos desgastes de interferências internas, desgastes da região de sobrecontorno foram realizados. O objetivo deste desgaste era para que a visualização da desadaptação marginal real fosse possível. Os resultados encontrados demonstraram que o desgaste foi preciso e que a desadaptação marginal se apresentava compatível com os outros grupos (inicial: 18,1µm / final: 138,1 µm). Neste grupo, foi realizada a impressão do enceramento digital (CAM) em resina calcinável, para posterior injeção do lingote. Este enceramento não foi provado sobre a matriz e não havia troquel impresso deste grupo. Ajustes antes da injeção poderiam proporcionar melhores adaptações marginais e internas e a eliminação do sobrecontorno. Para isso seria necessário a impressão do modelo de trabalho. No grupo G3H, um troquel foi impresso para posterior enceramento manual da coroa e injeção do lingote de dissilicato de lítio. Este grupo resultou nas maiores desadaptações marginais e internas. Após os ajustes internos, verificou-se uma melhora significativa na desadaptação marginal e interna, mas ainda não satisfatória (DM: 327,8µm / DI: 245,3µm), se considerarmos 120µm como um limite aceitável para a desadaptação [64]. Ambos os grupos G3H e G4H, apresentaram inicialmente as maiores e menores discrepâncias (figura 15). A introdução de fluxos híbridos, que envolvem o uso de impressoras 3D, adiciona um nível adicional de complexidade. Embora Guachetá et al. tenham demonstrado que impressoras 3D podem produzir restaurações com adaptação marginal comparável às técnicas de enceramento manual [38], os resultados da presente pesquisa indicam que, em termos de desadaptação marginal e interna, os fluxos híbridos não foram tão precisos quanto os fluxos digital e analógico. Esses achados sugerem que a tecnologia de impressão 3D, embora promissora, ainda pode introduzir variabilidades no processo que impactam a precisão das restaurações. Os resultados iniciais da desadaptação marginal, descritas em pesquisa prévia [12], demonstrou as discrepâncias dos grupos G3H e G4H, sugerindo que problemas com a calibração do equipamento, parâmetros de impressão, tempo de cura, tipo da resina entre outros podem influenciar nos resultados encontrados. Os estudos de Tian et al. e Rungrojwittayakul et al, corroboram essa afirmação [54,55].

A análise dos resultados obtidos através da Micro-TC demonstra sua superioridade em relação à técnica de réplica com silicone na avaliação da adaptação interna e marginal de coroas cerâmicas por permitir a obtenção de imagens

tridimensionais detalhadas, fornecendo medições precisas e não destrutivas das espessuras de película de silicone e dos espaços entre a coroa e o dente preparado. Conforme observado nos estudos de Duqum et al. e Riccitiello et al., a Micro-TC foi eficaz em identificar discrepâncias marginais e internas que podem impactar o desempenho clínico das coroas, principalmente em termos de infiltração marginal e falhas adesivas [15,25]. Ao comparar com a técnica de réplica, a Micro-TC apresentou vantagem ao permitir a visualização direta de áreas críticas que poderiam passar despercebidas na avaliação bidimensional por estereomicroscopia. A técnica de réplica, embora amplamente utilizada e de menor custo, mostrou limitações na identificação precisa de pequenas irregularidades ou variações na adaptação interna, como indicado no estudo de Ferrairo et al. [22]. Os resultados indicam que, embora ambas as técnicas sejam válidas para avaliação da adaptação protética, a Micro-TC oferece uma visão mais abrangente e detalhada, possibilitando ajustes mais precisos da desadaptação das coroas cerâmicas. Isso é crucial para garantir a longevidade das restaurações e minimizar complicações clínicas futuras, como infiltrações e falhas estruturais. Assim, a Micro-TC se consolida como uma ferramenta de referência para avaliação de coroas protéticas, permitindo a identificação precoce de pontos de falha e facilitando ajustes mais eficazes, conforme demonstrado pela redução das discrepâncias internas após a avaliação pós-ajustes (G1A, G2H, G3H e G5D). Contudo, a técnica de réplica tem a sua indicação para análises clínicas, visto que o cirurgião-dentista pode aplicá-la no dia a dia de forma prática, enquanto a Micro-TC é mais direcionada para pesquisas, devido ao alto custo e complexidade do equipamento. Os resultados obtidos em estudos que utilizam a Micro-TC fornecem parâmetros valiosos na produção de coroas cerâmicas, especialmente em questões relacionadas à odontologia digital [56,59].

Este estudo, embora tenha produzido resultados significativos, apresenta algumas limitações que precisam ser levadas em consideração. Primeiramente, por se tratar de uma pesquisa in vitro, a ausência de condições bucais reais, como a presença de saliva, variações de temperatura, forças mastigatórias e outros fatores fisiológicos, pode influenciar na aplicabilidade dos resultados na prática clínica. Além disso, a técnica de moldagem, assim como o processo de escaneamento digital, podem ser afetados por esses fatores clínicos, o que sugere que estudos futuros devam considerar a inclusão de modelos in vivo para melhor simular o ambiente oral.

Outra limitação importante é a técnica de réplica utilizada. Embora a técnica de réplica com silicone tenha sido validada em estudos anteriores, ela apresenta limitações, como o risco de rasgamento em áreas de película fina, o que pode comprometer a integridade da amostra. Esse fator pode influenciar a precisão das medições, especialmente em regiões críticas, como as margens axiais e oclusais das coroas. Para minimizar esse efeito, investigações futuras devem explorar materiais de réplica alternativos que proporcionem maior estabilidade, além de considerar ajustes nas técnicas de aplicação. Além disso, a escolha de cortes tomográficos exclusivamente no sentido mesio-distal pode limitar a avaliação tridimensional completa da adaptação das coroas. Estudos futuros poderiam incluir cortes em diferentes planos para uma análise mais abrangente da adaptação marginal e interna. Ainda, o uso de tecnologias mais avançadas, como a micro-TC de alta resolução, poderia fornecer informações ainda mais detalhadas sobre a adaptação e potencialmente revelar discrepâncias não detectadas com a metodologia atual.

No contexto da odontologia digital, o avanço de tecnologias como impressoras 3D e sistemas CAD-CAM deve ser constantemente revisitado em novos estudos. Embora promissora, a impressão 3D ainda apresenta desafios, como a variação na precisão dos parâmetros de impressão, calibração dos equipamentos e a variabilidade dos materiais atualmente utilizados nesta tecnologia[54]. Esses fatores podem impactar diretamente na adaptação marginal e interna das restaurações. Portanto, há uma necessidade de estudos que avaliem o impacto dessas variáveis e busquem otimizar os processos de impressão 3D para que possam competir, em termos de precisão, com os fluxos digitais completos e híbridos.

CONCLUSÃO

Com base nos resultados deste estudo, conclui-se que o fluxo analógico e o digital não apresentaram diferenças nas desadaptações marginais e internas de coroas de dissilicato de lítio, com os ajustes internos podendo diminuir as desadaptações.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Sawase T, Kuroshima S. The current clinical relevancy of intraoral scanners in implant dentistry. Dent Mater J. 2020;39(1):57-61.

2. Aswani K, Wankhade S, Khalikar A, Deogade S. Accuracy of an intraoral digital impression: A review. J Indian Prosthodont Soc. 2020;20(1):27.

3. Cortes ARG. Digital versus conventional workflow in oral rehabilitations: Status. Appl Sci. 2022;12:3710.

4. Abduo J. Accuracy of intraoral scanners: A systematic review of influencing factors. Eur J Prosthodont Restor Dent. 2018;26:101-21.

5. Mangano F, Gandolfi A, Luongo G, Logozzo S. Intraoral scanners in dentistry: A review of the current literature. BMC Oral Health. 2017;17(1):149.

6. Bernardes SR, Tiossi R. Tecnologia CAD/CAM aplicada a prótese dentária e sobre implantes. Jornal ILAPEO. 2012;6(1):8-13.

7. Papadiochou S, Pissiotis AL. Marginal adaptation and CAD-CAM technology: A systematic review of restorative material and fabrication techniques. J Prosthet Dent. 2018;119(4):545-51.

8. Miyazaki T, Hotta Y, Kunii J, Kuriyama S, Tamaki Y. A review of dental CAD/CAM: Status and future perspectives from 20 years of experience. Dent Mater J. 2009;28(1):44-56.

9. Davidowitz G, Kotick PG. The use of CAD/CAM in dentistry. Dent Clin North Am. 2011;55(3):559-70.

10. Casagrande GE. Fluxo digital e a experiência Chairside [monografia]. Curitiba: Faculdade ILAPEO; 2020.

11. Patel T, Nathwani N, Fine P, Leung A. A scoping review of marginal and internal fit accuracy of lithium disilicate restorations. Dent J. 2022;10(12):236.

12. Abreu ECR, Jacomo TS, Macedo DS, Costa WGS, Stegun RC, Brandt WC. Marginal discrepancy of lithium disilicate crowns made with digital and conventional technologies. J Prosthet Dent. 2023. doi:10.1016/j.prosdent.2023.09.031.

13. De Freitas BN, Tonin BSH, Macedo AP, Santos TMP, De Mattos MGC, Hotta TH, et al. Adaptation accuracy of milled lithium disilicate crowns: A 2D and 3D microCT analysis. J Esthet Restor Dent. 2020;32(4):403-9.

14. Azar B, Eckert S, Kunkela J, Ingr T, Mounajjed R. The marginal fit of lithium disilicate crowns: Press vs. CAD/CAM. Braz Oral Res. 2018;32:e001.

15. Riccitiello F, Amato M, Leone R, Spagnuolo G, Sorrentino R. In vitro evaluation of the marginal fit and internal adaptation of zirconia and lithium disilicate single crowns: Micro-CT comparison between different manufacturing procedures. Open Dent J. 2018;12(1):160-72.

16. Kihara H, Hatakeyama W, Komine F, Takafuji K, Takahashi T, Yokota J, et al. Accuracy and practicality of intraoral scanner in dentistry: A literature review. J Prosthodont Res. 2020;64(2):109-13.

17. Mounajjed R, Layton DM, Azar B. The marginal fit of E.max Press and E.max CAD lithium disilicate restorations: A critical review. Dent Mater J. 2016;35(6):835-44.

18. Bacchi A, Cesar PF. Advances in ceramics for dental applications. Dent Clin North Am. 2022;66(4):591-602.

19. Helvey G. A history of dental ceramics. Compend Contin Educ Dent. 2010;31(4):1-3.

20. McLean JW. Evolution of dental ceramics in the twentieth century. J Prosthet Dent. 2001;85(1):61-6.

21. Kim JH, Jeong JH, Lee JH, Cho HW. Fit of lithium disilicate crowns fabricated from conventional and digital impressions assessed with micro-CT. J Prosthet Dent. 2016;116(4):551-7.

22. Ferrairo BM, Piras FF, Lima FF, Honório HM, Duarte MAH, Borges AFS, et al. Comparison of marginal adaptation and internal fit of monolithic lithium disilicate crowns produced by four different CAD/CAM systems. Clin Oral Investig. 2020;24(11):3965-76.

23. Neves FD, Prado CJ, Prudente MS, Carneiro TAPN, Zancopé K, Davi LR, et al. Micro-computed tomography evaluation of marginal fit of lithium disilicate crowns fabricated by using chairside CAD/CAM systems or the heat-pressing technique. J Prosthet Dent. 2014;112(5):1134-40.

24. Dauti R, Cvikl B, Lilaj B, Heimel P, Moritz A, Schedle A. Micro-CT evaluation of marginal and internal fit of cemented polymer infiltrated ceramic network material crowns manufactured after conventional and digital impressions. J Prosthodont Res. 2019;63(1):40-6.

25. Duqum IS, Brenes C, Mendonca G, Carneiro TAPN, Cooper LF. Marginal fit evaluation of CAD/CAM all ceramic crowns obtained by two digital workflows: An in vitro study using micro-CT technology. J Prosthodont. 2019;28(10):1037-43.

26. Contrepois M, Soenen A, Bartala M, Laviole O. Marginal adaptation of ceramic crowns: A systematic review. J Prosthet Dent. 2013;110(6):447-54.

27. Habib SR, Ansari AS, Bajunaid SO, Alshahrani A, Javed MQ. Evaluation of film thickness of crown disclosing agents and their comparison with cement film thickness after final cementation. Eur J Dent. 2020;14(2):224-32.

28. Kious AR, Myers ML, Brackett WW, Haywood VB. Film thickness of crown disclosing material and its relevance to cementation. J Prosthet Dent. 2014;112(5):1246-9.

29. Ahlholm P, Sipilä K, Vallittu P, et al. Digital versus conventional impressions in fixed prosthodontics: A review. J Prosthodont. 2018;27:35-41.

30. Zeltner M, Sailer I, Mühlemann S, Özcan M, Hämmerle CHF, Benic GI. Randomized controlled within-subject evaluation of digital and conventional workflows

for the fabrication of lithium disilicate single crowns. Part III: marginal and internal fit. J Prosthet Dent. 2017;117(3):354-362.

31. Hasanzade M, Moharrami M, Alikhasi M. How adjustment could affect internal and marginal adaptation of CAD/CAM crowns made with different materials. J Adv Prosthodont. 2020;12(6):344-50.

32. Jurado CA, Davila CE, Davila A, et al. Influence of occlusal thickness on the fracture resistance of chairside milled lithium disilicate posterior full-coverage single-unit prostheses containing virgilite: A comparative in vitro study. J Prosthodont. 2024. doi:10.1111/jopr.13870.

33. Alrabeah G, Alomar S, Almutairi A, Alali H, ArRejaie A. Analysis of the effect of thermocycling on bonding cements to zirconia. Saudi Dent J. 2023;35(6):734-40.

34. Samy N, Al-Zordk W, Elsherbini A, Özcan M, Sakrana AA. Does resin cement type and cement preheating influence the marginal and internal fit of lithium disilicate single crowns? Materials (Basel). 2022;15(2):424.

35. Georgiadou G, Kouros P, Dionysopoulos D, Mourouzis P, Tolidis K. Evaluation of shear bond strength of resin cement on the surface of a lithium disilicate glass-ceramic restorative material after various surface treatments. Appl Sci. 2023;13(21):11927.

36. Queiroz ME, Maluly-Proni AT, Tsutsumi MSC, et al. Influence of thickness and degree of opacity of lithium disilicate on the degree of conversion and bond strength of resin cements. J Mech Behav Biomed Mater. 2023;143:105934.

37. Taha D, Nour M, Zohdy M, El-Etreby A, Hamdy A, Salah T. The effect of different wax pattern fabrication techniques on the marginal fit of customized lithium disilicate implant abutments. J Prosthodont. 2019;28(8):1-6.

38. Guachetá L, Stevens CD, Tamayo Cardona JA, Murgueitio R. Comparison of marginal and internal fit of pressed lithium disilicate veneers fabricated via a manual waxing technique versus a 3D printed technique. J Esthet Restor Dent. 2020;32(6):1-6.

39. Abreu ECR, Ferreira VC, Olivieri KAN, Brandt WC. Marginal gap of zirconia and lithium disilicate frameworks produced by the CAD-CAM technique through a comparator microscope–in vitro analysis. Braz Dent Sci. 2024;27(1).

40. Pereira RM, Ribas RG, Montanheiro TL, Schatkoski VM, Rodrigues KF, Kito LT, et al. An engineering perspective of ceramics applied in dental reconstructions. J Appl Oral Sci. 2023;31:e20220421. Published 2023 Feb 20.

41. Gomes EA, Assunção WG, Rocha EP, Santos PH. Cerâmicas odontológicas: o estado atual. Cerâmica. 2008; 54:319-25.

42. Silva LHD, Lima E, Miranda RBP, Favero SS, Lohbauer U, Cesar PF. Dental ceramics: a review of new materials and processing methods. Braz Oral Res. 2017;31(suppl 1)

43. Willard A, Chu TM. The science and application of IPS e.Max dental ceramic. Kaohsiung J Med Sci. 2018;34(4):238-42.

44. Abdulrahman S, Von See C, Talabani R, Abdulateef D. Evaluation of the clinical success of four different types of lithium disilicate ceramic restorations: A retrospective study. BMC Oral Health. 2021;21:625.

45. Shah K, Lawson NC, Sayed Ahmed A, et al. Wear of lithium disilicate opposed by various ceramic materials. J Esthet Restor Dent. 2024;36(2):356-62.

46. Dapieve KS, Pilecco RO, Temp RW, Villetti MA, Pereira GKR, Valandro LF. Adhesion to lithium disilicate glass-ceramics after aging: Resin viscosity and ceramic surface treatment effects. J Mech Behav Biomed Mater. 2023;142:105819.

47. Kwong B, Dudley J. A comparison of the marginal gaps of lithium disilicate crowns fabricated by two different intraoral scanners. Aust Dent J. 2020;65(2):150-7.

48. Ottoni R, Salazar Marocho SM, Griggs JA, Borba M. CAD/CAM versus 3D-printing/pressed lithium disilicate monolithic crowns: Adaptation and fatigue behavior. J Dent. 2022;123:104181.

49. Seelbach P, Brueckel C, Wöstmann B. Accuracy of digital and conventional impression techniques and workflow. Clin Oral Investig. 2013;17(7):1759-64.

50. Sadid-Zadeh R, Li R, Miller LM, Simon M. Effect of fabrication technique on the marginal discrepancy and resistance of lithium disilicate crowns: An in vitro study. J Prosthodont. 2019;28(9):1005-10.

51. Özçelik TB, Yilmaz B, Şeker E, Shah K. Marginal adaptation of provisional CAD/CAM restorations fabricated using various simulated digital cement space settings. Int J Oral Maxillofac Implants. 2018;33(5):1064-9.

52. Son YT, Son KBD, Lee KB. Marginal and internal fit of interim crowns fabricated with 3D printing and milling method. J Dent Rehabil Appl Sci. 2020;36(4):254-61.

53. Memari Y, Mohajerfar M, Armin A, Kamalian F, Rezayani V, Beyabanaki E. Marginal adaptation of CAD/CAM all-ceramic crowns made by different impression methods: A literature review. J Prosthodont. 2018;27(7):764-70.

54. Tian Y, Chen C, Xu X, Wang J, Hou X, Li K, et al. A review of 3D printing in dentistry: Technologies, affecting factors, and applications. Scanning. 2021;2021:1-19.

55. Rungrojwittayakul O, Kan JY, Shiozaki K, Swamidass RS, Goodacre BJ, Goodacre CJ, et al. Accuracy of 3D printed models created by two technologies of printers with different designs of model base. J Prosthodont. 2020;29(2):124-8.

56. Santos TMP, Ferreira CG, Araújo OMO, Machado AS, Silva ASS, Lopes RT. Methodology to analyze the marginal fit of odontological crowns through tridimensional parameters using X-ray microCT technique. Radiat Phys Chem. 2020; 167:108290.

57. Queiroz PJB, Silva AKM, Freitas SLR, Assis BM, Silva LAF. Microtomografia computadorizada: Princípios de funcionamento e utilização em amostras biológicas. Enciclopédia Biosfera. 2019;16(29):1073-91.

58. Swain MV, Xue J. State of the art of micro-CT applications in dental research. Int J Oral Sci. 2009;1(4):177-88.

59. Ghavami-Lahiji M, Tayefeh Davalloo R, Tajziehchi G, Shams P. Micro-computed tomography in preventive and restorative dental research: A review. Imaging Sci Dent. 2021;51(4):341-50.

60. Absi EG, Addy M, Adams D. Dentine hypersensitivity. The development and evaluation of a replica technique to study sensitive and non-sensitive cervical dentine. J Clin Periodontol. 1989;16(3):190-195.

61. Wu J, Xie H, Sadr A, Chung KH. Evaluation of Internal Fit and Marginal Adaptation of Provisional Crowns Fabricated with Three Different Techniques Sensors (Basel). 2021;21(3):740. Published 2021 Jan 22.

62. Ayse Gozde T, Metin S, Mubin U. Evaluation of adaptation of ceramic inlays using optical coherence tomography and replica technique. Braz Oral Res. 2018;32:e005. Published 2018 Feb 1.

63. Ghahremanloo, A., Movahedzadeh, M., & Rashid, AJ. The evaluation and comparison of marginal adaptation in metal ceramic and all ceramic restorations fabricated by two methods: CAD/CAM and conventional. Journal of Dental Materials & Techniques, 2018; 7(2).

64. McLean J, von Fraunhofer J. The estimation of cement film thickness by an in vivo technique. Br Dent J. 1971;131(3):107-11.

65. Baig MR, Tan KB-C, Nicholls JI. Evaluation of the marginal fit of a zirconia ceramic computer-aided machined (CAM) crown system. J Prosthet Dent. 2010;104(4):216-27.

66. Björn AL, Björn H, Grkovic B. Marginal fit of restorations and its relation to periodontal bone level. II. Crowns. Odontol Revy. 1970;21(3):337-46.

67. Abdel-Azim T, Rogers K, Elathamna E, Zandinejad A, Metz M, Morton D. Comparison of the marginal fit of lithium disilicate crowns fabricated with CAD/CAM technology by using conventional impressions and two intraoral digital scanners. J Prosthet Dent. 2015;114(4):554-9.

68. Mously HA, Finkelman M, Zandparsa R, Hirayama H. Marginal and internal adaptation of ceramic crown restorations fabricated with CAD/CAM technology and the heat-press technique. J Prosthet Dent. 2014;112(2):249-56.

69. Yu S, Kim SH, Lee JB, Han JS, Yeo IS, Ha SR, et al. Effect of working time on the film thickness of dental resin cements. J Korean Acad Prosthodont. 2015;53(4):325-9.

70. Dolev E, Bitterman Y, Meirowitz A. Comparison of marginal fit between CAD-CAM and hot-press lithium disilicate crowns. J Prosthet Dent. 2019;121(1):124-8.

71. Tribst JPM, Dos Santos AFC, da Cruz Santos G, da Silva Leite LS, Lozada JC, Silva-Concílio LR, et al. Effect of cement layer thickness on the immediate and long-term bond strength and residual stress between lithium disilicate glass-ceramic and human dentin. Materials. 2021;14(18):5153.

72. Farag S, Afifi R. Effect of cement film thickness on the microshear bond strength of CAD/CAM lithium disilicate bonded to cervical and mid-coronal enamel. Egypt Dent J. 2022;68(3):2923-31.

73. Baldissara P, Koci B, Monaco C, Scotti N, Breschi L, Ciocca L. Fatigue failure and success rate of lithium disilicate table-tops as a function of cement thickness. J Prosthodont Res. 2021;65(4):528-34.

74. Alshehri S, Almuflehi N, Alotaibi S, Alqahtani S. Efeito de diferentes técnicas de fabricação de padrões de cera sobre o ajuste marginal de coroas de dissilicato de lítio. J Prosthet Dent. 2022;128(5):1-6.

75. Lee KB, Park CW, Kim KH, Kwon TY. Marginal and internal fit of all-ceramic crowns fabricated with two different CAD/CAM systems. Dent Mater J. 2008;27(3):422-6.

76. Demirel M, Donmez MB. Fabrication trueness and internal fit of different lithium disilicate ceramics according to post-milling firing and material type. J Dent. 2024;144:104987.