



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
"JÚLIO DE MESQUITA FILHO"
Campus de São José dos Campos
Instituto de Ciência e Tecnologia

LUCAS EIGI BORGES TANAKA

**CARACTERIZAÇÃO DE RESINA IMPRESSA PARA CONFEÇÃO DE
RESTAURAÇÕES DEFINITIVAS**

2023

LUCAS EIGI BORGES TANAKA

**CARACTERIZAÇÃO DE RESINA IMPRESSA PARA CONFEÇÃO DE
RESTAURAÇÕES DEFINITIVAS**

Dissertação apresentada ao Instituto de Ciência e Tecnologia, Universidade Estadual Paulista (Unesp), Campus de São José dos Campos, como parte dos requisitos para a obtenção do título de MESTRE, pelo Programa de Pós- Graduação em CIÊNCIAS APLICADAS À SAÚDE BUCAL.

Área: Prótese Dentária Linha de pesquisa: Desempenho de materiais reabilitadores impressos protéticos.

Orientadora: Pesquisadora II Dra. Renata Marques de Melo Marinho

Coorientadora: Dra. Camila da Silva Rodrigues

São José dos Campos

2023

IMPACTO POTENCIAL DESTA PESQUISA

O presente estudo tem como objetivo avaliar a possibilidade da ampla utilização de restaurações em resina composta confeccionadas através do fluxo digital por meio da manufatura aditiva, podendo servir de referência para corroborar sua utilização ou para indicar onde deve ser aprimorada a confecção das restaurações impressas para o mercado.

POTENTIAL IMPACT OF THIS RESEARCH

The present study aims to evaluate the possibility of the wide use of composite resin restorations made through the digital flow through additive manufacturing, which can serve as a reference to corroborate its use or to indicate where the manufacture of printed restorations should be improved for the Marketplace.

BANCA EXAMINADORA

Pesquisadora II Dra. Renata Marques de Melo Marinho (Orientador)

Universidade Estadual Paulista (Unesp)

Instituto de Ciência e Tecnologia

Campus de São José dos Campos

Prof. Dr. Alexandre Luiz Souto Borges

Universidade Estadual Paulista (Unesp)

Instituto de Ciência e Tecnologia

Campus de São José dos Campos

Prof. Dr. Tiago Moreira Bastos Campos

Instituto Tecnológico da Aeronáutica

Departamento de Física

São José dos Campos, 22 de Março de 2023.

Instituto de Ciência e Tecnologia [internet]. Normalização de tese e dissertação [acesso em 2023]. Disponível em <http://www.ict.unesp.br/biblioteca/normalizacao>.

Apresentação gráfica e normalização de acordo com as normas estabelecidas pelo Serviço de Normalização de Documentos da Seção Técnica de Referência e Atendimento ao Usuário e Documentação (STRAUD).

Tanaka, Lucas Eigi Borges

Caracterização de resina impressa para restaurações definitivas
/ Lucas Eigi Borges Tanaka. - São José dos Campos : [s.n.], 2023.
66 f. : il.

Dissertação (Mestrado) - Pós-Graduação em Ciências Aplicadas à Saúde Bucal -
Universidade Estadual Paulista (Unesp), Instituto de Ciência e Tecnologia,
São José dos Campos, 2023.

Orientadora: Renata Marques de Melo Marinho

Coorientador: Camila da Silva Rodrigues

1. Resina Impressa. 2. Propriedades Mecânicas. 3. Propriedades Ópticas. 4.
Desgaste. I. Marinho, Renata Marques de Melo, orient. II. Rodrigues, Camila
da Silva, coorient. III. Universidade Estadual Paulista (Unesp), Instituto
de Ciência e Tecnologia, São José dos Campos. IV. Universidade Estadual
Paulista 'Júlio de Mesquita Filho' - Unesp. V. Universidade Estadual
Paulista (Unesp). VI. Título.

DEDICATÓRIA

Este trabalho só pode ser realizado por conta de todo o apoio que eu recebi. Por esse motivo, dedico esse trabalho a Deus, a minha família, a Universidade Estadual Paulista, minha amada UNESP, e a todas as pessoas que nela tive a honra de conhecer. Sou grato à todos que participaram deste processo, que legitimamente dedico à cada pessoa que está e esteve comigo.

Para todas as pessoas a quem dedico o meu trabalho, ciente de que sem elas, nada disso seria possível, dedico em especial ao meu primo/irmão **Pedro**, que nos deixou durante o início do meu mestrado. Pedro, meu irmão, de onde você estiver, espero que esteja sentindo orgulho de mim.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus por ter me dado saúde, forças e a oportunidade de realizar este trabalho e durante toda a minha trajetória ter vivido junto às pessoas que tanto valorizo e que contribuíram nesta importante etapa da minha formação.

À Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” - UNESP, minha casa de formação na graduação e na pós-graduação, na figura de todos os professores e funcionários. Nela, aprendi a admirar mais a docência, sonho da minha vida, por conta de incríveis mestres que tive a oportunidade de conhecer e me inspirar, assim como tive a luz de me encontrar com profissionais, desde os técnicos até os funcionários da manutenção e limpeza, que diariamente exerciam suas funções com afinco, auxiliando em diversas situações ou se preocupando “Se limpar o laboratório agora iria atrapalhar”. Sinto imenso orgulho de onde me formei.

Ao Programa de Pós-graduação em Ciências Aplicadas à Saúde Bucal, onde fiz amigos e tive a oportunidade de aprender com grandes profissionais da Docência e Pesquisa.

À minha orientadora, **Pesquisadora II Dra. Renata Marques de Melo Marinho**, que aceitou a missão de me orientar e fez de forma séria e responsável, mas igualmente amistosa e serena. Desejo à todos que um dia ingressem em uma pós-graduação que possam ter uma orientação admirável como eu tive.

À minha coorientadora, **Doutora Camila da Silva Rodrigues**, que igualmente me honra com a orientação, sendo fundamental na minha formação como pesquisador, no desenvolvimento desse trabalho e na paciência ao me ensinar muito do que hoje sei e espero ter a oportunidade de poder propagar com igual maestria. Sou contemplado por toda orientação que tive ao decorrer do trabalho e da minha pós-graduação.

À minha banca examinadora, **Professor Adjunto Doutor Alexandre Luiz Souto Borges**, professor que desde a graduação admirei pela competência, didática, afinco e seriedade, tal qual pelo bom convívio entre os demais alunos, tanto da graduação quanto da pós-graduação. Prova viva que profissionalismo pode coexistir com bom humor.

E ao **Professor Doutor Tiago Moreira Bastos Campos**, profissional que admiro por sua

inteligência, capacidade, esforço e dedicação ao trabalho. Sou grato por toda a ajuda técnica, científica e conselhos dados, assim como pela amistosidade e acessibilidade.

À minha família, a qual destaco algumas pessoas que foram fundamentais na minha formação e na minha trajetória.

À minha mãe, **Melina**, por todo amor e suporte dado, se fazendo presente mesmo à distância sempre que precisei.

Ao meu pai, **Alexandre**, por sempre me apoiar, me incentivar e torcer por mim, comemorando todas as minhas vitórias e conquistas.

Aos meu avós, **Fernando** e **Keiko**, por todo o carinho dado, por serem meus apoiadores e por permitirem que eu pudesse me dedicar aos estudos e seguir meu sonho desde sempre.

Aos meus irmãos, **Kenzo** e **Davi**, que me inspiram diariamente com pureza e alegria e que me alegram ao dizer que se inspiram em mim.

À minha amada namorada, **Gabriella**, por todo companheirismo, incentivo, apoio e por carinhosamente me suportar nos momentos mais difíceis e de dificuldade. Sinto muito orgulho de poder estar construindo minha vida ao seu lado.

À todos os meus companheiros de pós-graduação, em especial:

À **Clarice**, minha companheira e dupla de graduação, de pós e de vida, sempre disposta a me ajudar em todas as situações que precisei. É uma honra ser seu contemporâneo e fazer parte do mesmo grupo que você.

À **Talita**, minha amiga que sempre me ajudou em todos os aspectos, sempre de bom humor apesar de todos os obstáculos. Por você, tenho não somente grande carinho mas uma imensa admiração.

À empresa **Smart Dent**, que viabilizou este trabalho, cedendo os materiais que possibilitaram a realização desse estudo. É um orgulho poder contribuir com uma empresa que busca inovação, principalmente se tratando de uma empresa nacional.

RESUMO

Tanaka, LEB. Caracterização de resina impressa para restaurações definitivas [dissertação]. São José dos Campos (SP): Universidade Estadual Paulista (Unesp), Instituto de Ciência e Tecnologia; 2023.

Este estudo teve como objetivo avaliar o comportamento de uma resina composta feita por impressão 3D (BPC 66, Smart Dent, São Carlos, Brasil), submetidas a diversos testes mecânicos, comparada com uma resina composta usinável (Grandio Blocs, Voco GmbH, Cuxhaven, Alemanha). Os espécimes foram submetidos aos testes de Dureza Knoop ($n=5$), desgaste ($n=10$), resistência à flexão ($n=25$), módulo de elasticidade ($n=3$), a alteração de cor e translucidez ($n=15$), rugosidade ($n=15$) e resistência de união ($n=15$). Também foram analisados em microscopia eletrônica de varredura (MEV) para determinação da estrutura. Os valores de dureza (132,76 (16,32) HK - Grandio e 35,87 (2,78) HK – impressa), resistência à flexão (172,17 (26,99) MPa - Grandio e 88,69 (8,39) MPa - impressa) e alteração de cor/ translucidez de 1,86 (0,31)/0,06 - Grandio e 3,73 (0,36)/9,16 - impressa e profundidade de desgaste (24,97 mm (3,60) - Grandio e 7,16 mm (2,84) - impressa) foram estatisticamente diferentes. Não foram observadas diferenças estatísticas para a rugosidade média (R_a) entre os materiais. Para a resistência de união, observou-se os valores de 16,23 (3,68) MPa para o cimento Bifix (Voco GmbH, Cuxhaven, Alemanha) e 25,33 (3,86) MPa para o cimento Variolink (Ivoclar Vivadent, Schaan, Liechtenstein) na resina impressa e 17,96 (4,88) MPa para o cimento Bifix e 20,76 (8,38) MPa para o cimento Variolink na Grandio. De um lado, o fator material não afetou a resistência adesiva ($p=0,75$), mas o fator cimento afetou ($p=0,05$), não sendo observada interação significativa entre os fatores ($p=0,07$). A melhor dispersão e o maior tamanho das partículas inorgânicas na Grandio foram contrastados com partículas aglomeradas e de menor dimensão da resina impressa, em microscopia eletrônica de varredura. Dessa forma, as propriedades mecânicas e estabilidade de cor da resina usinável ainda foram superiores às da resina impressa, provavelmente devido à maior quantidade e dispersão de partículas inorgânicas da resina usinável.

Palavras-chave: Resina impressa; propriedades mecânicas; propriedades ópticas; desgaste.

ABSTRACT

Tanaka, LEB. Characterization of imprinted resin for definitive restorations. São José dos Campos (SP): São Paulo State University (Unesp), Institute of Science and Technology; 2023.

This study aimed to evaluate the behavior of a composite resin made by 3D printing (BPC 66, Smart Dent, São Carlos, Brazil), subjected to several mechanical tests, compared with a machinable composite resin (Grandio Blocs, Voco GmbH, Cuxhaven, Germany). The specimens were submitted to Knoop Hardness (n=5), wear (n=10), flexural strength (n=25), modulus of elasticity (n=3), color change and translucency (n=15) tests., roughness (n=15) and bond strength (n=15). They were also analyzed by scanning electron microscopy (SEM) to determine the structure. Hardness values (132.76 (16.32) HK- Grandio and 35.87 (2.78) HK - printed), flexural strength (172.17 (26.99) MPa - Grandio and 88.69 (8.39) MPa - printed) and color/translucency change of 1.86 (0.31)/0.06 - Grandio and 3.73 (0.36)/9.16-printed and depth of wear (24 .97 mm (3.60) - grandiose and 7.16 mm (2.84) - printed) were statistically different. No statistical differences were observed for mean roughness (Ra) between materials. For bond strength, values of 16.23 (3.68) MPa were observed for Bifix cement (Voco GmbH, Cuxhaven, Germany) and 25.33 (3.86) MPa for Variolink cement (Ivoclar Vivadent, Schaan, Liechtenstein) in printed resin and 17.96 (4.88) MPa for Bifix cement and 20.76 (8.38) MPa for Variolink cement in Grandio. On the one hand, the material factor did not affect bond strength ($p=0.75$), but the cement factor did ($p=0.05$), with no significant interaction between the factors being observed ($p=0.07$). The better dispersion and larger size of the inorganic particles in the Grandio were contrasted with the agglomerated and smaller particles of the printed resin, in scanning electron microscopy. Thus, the mechanical properties and color stability of the machinable resin were still superior to those of the printed resin, probably due to the greater amount and dispersion of inorganic particles in the machinable resin.

Keywords: Printed resin; mechanical properties; optical properties; wear.

SUMÁRIO

RESUMO.....	9
ABSTRACT.....	10
1 INTRODUÇÃO	12
2 REVISÃO DE LITERATURA.....	14
2.1 Polímeros Odontológicos.....	14
2.2 Fluxo Digital e os Desafios Gerais do Sistema CAD/CAM	15
2.3 Resinas para Manufatura Subtrativa.....	18
3 PROPOSIÇÃO	22
4 MATERIAL E MÉTODOS.....	23
4.1 Confeção dos Corpos de Prova	23
4.2 Microdureza	25
4.3 Desgaste.....	26
4.4 Resistência à flexão	29
4.5 Propriedades Ópticas	30
4.6 Rugosidade.....	32
4.7 Módulo de Elasticidade e Coeficiente de Poisson	33
4.8 Resistência Adesiva.....	34
5 RESULTADOS.....	37
5.1 Composição Química.....	37
5.2 Dureza.....	41
5.3 Resistência à Flexão	41
5.4 Desgaste.....	43
5.5 Módulo de Elasticidade.....	46
5.6 Propriedades Ópticas	46
5.7 Rugosidade.....	47
5.8 Resistência Adesiva.....	48
6 DISCUSSÃO.....	49
7 CONCLUSÃO	55
REFERÊNCIAS.....	56

1 INTRODUÇÃO

A utilização de resinas compostas para a confecção de restaurações odontológicas, tanto diretas quanto indiretas, é uma técnica consolidada e popular dentro da odontologia. O amplo uso desse material deve-se à associação com técnicas conservadoras, em que, na técnica direta, não há necessidade de desgaste da estrutura dental, e também devido ao material apresentar módulo de elasticidade próximo ao da dentina (Pongprueksa et al., 2008).

Estudos prévios relatam que a técnica indireta se mostrou mais adequada para resolução de casos em que as cavidades tem maior extensão (Hirata 1998; Medina et al., 2012), já que o material apresenta maior grau de conversão, melhor resistência flexural e dureza (Borba et al., 2009), até mesmo quando armazenada por longos períodos (Alves et al., 2013). As resinas indiretas também apresentam maior durabilidade de propriedades estéticas, como fluorescência e opalescência (Yu et al., 2013) e brilho (Ardu et al., 2020). A superioridade das propriedades da técnica indireta está relacionada com seu maior grau de polimerização (Yamamoto et al., 2013) em comparação com a técnica direta. Entretanto, as resinas compostas apresentam características inerentes à sua composição, como baixa resistência ao desgaste e manchamento por maior absorção de líquidos e corantes (Souza et al., 2002), o que faz com que sejam objeto constante de estudo para obtenção de melhores resultados em curto e longo prazo. O advento da tecnologia CAD/CAM (*computer-aided design / computer-aided manufacturing*) permitiu novos caminhos ao cirurgião dentista quanto à realização de tratamentos odontológicos. Os blocos de resina composta para o sistema CAD/CAM mostraram um grande avanço devido à homogeneidade da composição, assim como sua polimerização em fábrica, sendo mais regular e maior, comparados aos executados em laboratório ou consultório.

Mais recentemente, tornou-se possível a impressão de resinas compostas, permitindo menor desperdício de material em comparação à técnica de desgaste dos blocos. Além disso, evitando defeitos superficiais deixados pela usinagem com pontas diamantadas, que podem ser deletérios para resistência flexural de materiais restauradores (Fraga et al., 2015; Fraga et al., 2017; May et al. 2021). São poucos os materiais restauradores passíveis de impressão no mercado odontológico. Tem-

se mostrado que as resinas compostas impressas suportam uma quantidade de carga comparável aos materiais resinosos fresados (Zimmermann et al., 2019). No entanto, ainda são necessários estudos para desenvolvimento de materiais mais resistentes e duradouros clinicamente.

Todo material restaurador, quando em função, sofrerá influências em suas propriedades, com a exposição as cargas mastigatórias, umidade, variações de pH e ação de microrganismos (Belli et al., 2014; Esquivel-Upshaw et al., 2013; Zhang et al., 2013). Assim, as características dos materiais restauradores são decisivas para prever o seu comportamento frente a tais fatores que, por sua vez, são decisivos no sucesso do tratamento reabilitador. Para isso, ensaios mecânicos *in vitro* são utilizados para avaliar as propriedades dos materiais restauradores, tendo em vista que estudos clínicos exigem maior tempo para execução e coleta de dados, além de fatores intrínsecos aos pacientes, como características biológicas e hábitos parafuncionais que podem ser mais difíceis de controlar (Bonfante Coelho et al., 2016).

Tendo em vista as vantagens que materiais promissores como as resinas compostas para impressão 3D podem oferecer para odontologia restauradora, estudos detalhados são necessários para entender o comportamento dos mesmos. Assim, o presente estudo investigará propriedades mecânicas, ópticas e de superfície, de um novo material restaurador resinoso impresso, comparando-o com uma resina composta usinável.

2 REVISÃO DE LITERATURA

Essa revisão de literatura é constituída de acordo com o tema deste estudo, sendo subdividida nos seguintes tópicos: Polímeros Odontológicos; Fluxo Digital; Resinas para Manufatura Subtrativa; Resinas para Manufatura Aditiva; Comparativo entre Resinas Fresadas e Resinas Impressas.

2.1 Polímeros Odontológicos

Materiais poliméricos são amplamente utilizados em nossa sociedade, nas mais diversas indústrias, não sendo diferente na Odontologia. Desde o seu uso para a manufatura de aparelhos protéticos, como bases de próteses e seus dentes, aparelhos ortodônticos, confecção de moldeiras individuais, assim como adesivos odontológicos e cimentos resinosos. Uma de suas utilizações mais conhecidas dentro da odontologia e foco desse estudo é a resina composta odontológica para confecção de restaurações. A primeira resina odontológica veio através do desenvolvimento do monômero Bisfenol A-glicidilmetacrilato, conhecido por sua sigla Bis-GMA (Bowen, 1956) e, desde então, as resinas compostas odontológicas seguem uma formulação similar, sendo compostas por uma matriz orgânica polimérica, partículas inorgânicas com carga de vidro, sílica, cristais ou óxidos metálicos e um agente de união silano (Anusavice, 2013). Embora tal composição siga este mesmo padrão desde o início de seu uso como material restaurador, até hoje estuda-se alterar alguns fatores para obter melhorias em suas propriedades mecânicas (Sulaiman et al., 2022), ópticas (del Rio et al., 2022) e biocompatibilidade (De Nys et al., 2022).

A resina composta direta mantém-se como um frequente material restaurador na prática clínica por conta de sua praticidade, versatilidade e longevidade quando bem aplicada. Estudos clínicos relatam restaurações de resina composta superando 30 anos em função (Rosa Rodolpho et al., 2022). Uma revisão sistemática também demonstrou que não há, apesar das propriedades da resina indireta previamente citadas, uma vantagem da técnica restauradora indireta convencional sobre a técnica direta (Azeem et al., 2018), assim como da técnica convencional comparando com a técnica de CAD/CAM, quanto as propriedades físicas, funcionais e estéticas (Torres et al., 2022), embora exista um crescente interesse pela pratica restauradora indireta

através fluxo digital por parte dos clínicos (Schlenz et al., 2020) e dos pacientes (Yuzbasioglu et al., 2014), por trazer algumas vantagens que serão citadas a seguir, sendo as restaurações em Resina Composta um dos materiais de eleição para a confecção de tais restaurações protéticas. Deve-se atentar, por sua vez, que a mudança do fluxo de trabalho convencional para o fluxo digital demanda uma curva de aprendizado e que alguns desafios eventualmente possam surgir por conta dessa alteração.

2.2 Fluxo Digital e os Desafios Gerais do Sistema CAD/CAM

Embora o auxílio computadorizado tanto no design da restauração, quanto em sua manufatura possa aparentar facilitar e simplificar o tratamento restaurador, muitos fatores antes não considerados nas confecções de restaurações diretas passam a ser relevantes nas restaurações CAD/CAM. Faz-se necessário compreender o funcionamento de tal sistema, as suas vantagens e desvantagens e onde o profissional pode encontrar desafios que não eram vistos antes através do fluxo convencional de trabalho.

A utilização do sistema CAD/CAM na indústria teve seu início na década de 1930, para a confecção precisa de peças para utilização da indústria aeronáutica, e tem sido amplamente utilizada desde então para a confecção de componentes de múltiplas indústrias, entretanto somente no final da década de 1970 tivemos a sua introdução na Odontologia (Correia et al., 2006).

O sistema CAD (Computer Aided Design) /CAM (Computer Aided Manufacturing) consiste na captura de uma imagem através de um scanner utilizando luz para realizar a captura, a confecção da peça por auxílio de um software e a manufatura da peça através de uma fresadora (manufatura subtrativa) ou de uma impressora (manufatura aditiva).

A captura da imagem é obtida através do registro de pontos de luz, que se transformam em uma imagem tridimensional. Temos basicamente quatro princípios para a captura: triangulação, amostragem ativa de onda frontal, imagem confocal paralela e espelhamento a laser (Di Fiore et al. 2019). Compreendendo que a obtenção de imagem é intimamente correlacionada com a utilização de luz, o cirurgião-dentista deve se atentar não somente a técnica de escaneamento e o scanner utilizado, mas a fatores como a luminosidade da sala do consultório, luzes externas e luz do refletor (Revilla-León et al., 2019; Revilla-León et al., 2020; Koseoglu

et al., 2021), além da umidade da cavidade oral, tendo em vista o diferente índice de refração de luz da saliva (Gómez-Polo et al., 2022).

Os softwares para interpretação e desenho das próteses possuem diferentes formas de funcionamento. É possível variar o tipo de arquivo que utilizam para tais funções, além de algumas diferenças substanciais em seus sistemas. O principal formato de arquivo utilizado nos softwares é o STL (Standard Tessellation Language), que é um sistema de coordenadas cartesianas que conecta pontos triangularmente para formar uma malha.

A confecção das restaurações ocorre por meio de um processo subtrativo ou de um processo aditivo. O processo subtrativo consiste na redução de um bloco através de uma fresadora até que se torne uma restauração, podendo ser cerâmicas, como a zircônia (Alves et al., 2022), dissilicatos e cerâmicas feldspáticas (Campanelli de Moraes et al., 2021), metais nobres e ligas metálicas (Revilla-León et al., 2021), resinas para provisórios (Sidhom et al., 2022), ou o objeto de interesse do presente estudo, resinas compostas para restaurações definitivas (Grassi et al., 2022) (Ruse et al., 2014). O processo aditivo, conhecido como impressão, possui mecanismo contrário, pois nesse ocorre a formação do material através de camadas uniformes e justapostas (Donmez et al., 2022). Ainda há a possibilidade da combinação das duas técnicas, podendo-se obter resultados promissores para as propriedades mecânicas do material restaurador (Giugovaz et al., 2022).

Trabalhar com o fluxo digital permite ao cirurgião-dentista que os mesmos tratamentos oferecidos pelo tratamento reabilitador convencional sejam realizados de forma diferente. Estudos mostram que a precisão e acurácia da moldagem digital é similar (Albanchez-Gonzáles et al., 2022; D'haese et al., 2022) ou até mesmo superior (Lee et al., 2022) ao da moldagem convencional na maioria dos casos, sendo moldagens de edentulismos extensos os casos mais desafiadores (Hayama et al., 2018), devido à ausência de referência. Ainda, há preferência dos pacientes pelo fluxo digital (Manicone et al. 2021; Kekez et al. 2022). Além de funcionar como ferramenta de obtenção de modelo digital, o escaneamento permite rápida e direta comunicação visual com o paciente, servindo de ferramenta de marketing para o profissional.

Embora o profissional passe a dispor de novas ferramentas e possibilidades para a realização do tratamento reabilitador, o mesmo passa a se deparar com problemas não antes encontrados no fluxo convencional de trabalho. O cirurgião dentista passa a ter que se atentar com a má adaptação da peça, que pode ser advindo de um indevido preparo do dente previamente ao escaneamento (Turkyilmaz et al., 2022), da ausência de acurácia do escaneamento, tanto pelo scanner (Ellakany et al., 2021), pelo software de design (Lee et al., 2022), por imperícia do cirurgião

dentista no momento do escaneamento e da confecção digital da restauração (No-Cortes et al., 2022). Tais desafios podem ser encontrados tanto nos materiais fresados quanto impressos.

Algumas características são exclusivas das restaurações fresadas ou das restaurações impressas. Uma das características exclusivas das restaurações fresadas é que a acurácia do detalhamento da restauração é ditada pelo tamanho da menor fresa que compõe a fresadora (Jeong et al., 2018) (Kim et al., 2018) enquanto a precisão da manufatura das restaurações impressas é dependente das impressoras (Nulty et al., 2022; Kim et al., 2022) e do parâmetro de impressão, como a espessura das camadas (Abdullah et al., 2022).

Sendo as restaurações fresadas as restaurações predominantemente utilizadas nas confecções de restaurações definitivas CAD/CAM, por conta da técnica ser a primeira a ser explorada para tal finalidade, há um maior número de materiais para fresagem do que para impressão no mercado. Será discutido nos próximos tópicos as propriedades dos Materiais poliméricos para CAD/CAM, nos tópicos Resinas para Manufatura Subtrativa e Resinas para Manufatura Aditiva.

2.3 Resinas para Manufatura Subtrativa

Dentre os materiais que podem ser utilizados para confeccionar restaurações por meio da manufatura subtrativa, temos dois principais grandes grupos: As cerâmicas e os compósitos resinosos, que é o foco desse estudos. O reabilitador, por sua vez, deve selecionar o material mais adequado para a necessidade de seu paciente. Ao comparamos esses dois grupos de materiais usináveis já consolidados no mercado, resinas para fresagem e cerâmicas, podemos observar algumas diferenças em seus comportamentos.

As resinas usináveis apresentam pior resistência mecânica quando comparadas a materiais cerâmicos (Wendler et al., 2020). Apesar disso, resinas compostas para usinagem podem apresentar comportamento em fadiga superior a algumas cerâmicas vítreas devido à sua menor fragilidade (Venturini et al., 2019). O mesmo vale para resistência ao desgaste, onde cerâmicas vítreas de Dissilicato de Lítio apresentaram maior resistência ao desgaste que as resinas usináveis, mas também maior desgaste ao dente antagonista (Laborie et al., 2022), sendo as resinas compostas preferíveis para evitar o desgaste do dente antagonista (Sellan et al., 2021). A distribuição de tensões ao longo da restauração mostrou-se mais uniforme em resinas usináveis (Zheng et al., 2022). Tem-se, entretanto, que a perda de resistência mecânica após exposição a substâncias ácidas se dá de forma mais significativa nas resinas usináveis (Colombo et al., 2019). As resinas usináveis, conforme sua composição, podem apresentar valores em suas propriedades mecânicas bem divergentes entre si (Grzebieluch et al., 2021), sendo a quantidade de carga inorgânica intimamente correlacionada a maior dureza e módulo de elasticidade (Alamouch et al., 2018).

Ao comparar a propriedade óptica de compósitos resinosos com o de materiais cerâmicos, observou-se uma maior alteração de cor nas resinas, sendo que quanto maior o conteúdo resinoso no compósito, maior a alteração de cor quando exposto a substâncias pigmentantes (Aydin et al., 2020), sendo o vinho a substância responsável por mais pigmentar esses materiais (Seyidaliyeva et al., 2020), podendo se atribuir ao álcool prejudicar a matriz resinosa (Arocha et al., 2013; Ardu et al. 2010). Tem-se, a despeito do assunto, que quanto maior o grau de polimerização da resina, menor a sua alteração de cor (Lee et al., 2021).

2.4 Resinas para Manufatura Aditiva

Como já exposto previamente, as resinas para manufatura aditiva, também conhecidas como resinas para impressão, são materiais relativamente novos no mercado.

Podemos dividir as formas de manufatura aditiva em sete tipos: estereolitografia, jateamento de material, extrusão de material ou modelagem de deposição fundida, jateamento de ligante, fusão em leito de pó, laminação de folhas e deposição direta de energia, sendo os três primeiros tipos os de interesse para a manufatura aditiva de resinas compostas (Revilla-Léon et al., 2018).

A estereolitografia consiste na imersão de uma plataforma em resina líquida polimerizada por laser ultravioleta (UV), em que o laser desenha cada seção transversal do objeto para formar as camadas. Após a polimerização de cada camada, a plataforma desce uma distância igual a medida de espessura da camada, permitindo que a resina não curada cubra a camada anterior. Esse processo é repetido várias vezes até que o objeto seja completamente impresso.

O Jateamento do material também pode ser chamada de impressão de múltiplos jatos ou polyjet Printing (PP). A técnica consiste na injeção de resina líquida através de diversos bicos e posteriormente a polimerização através de luz UV (Stansbury et al., 2016).

A técnica de extrusão de material, também chamada de modelagem de deposição fundida (FDM) é um método baseado na extrusão de um material termoplástico. O material é puxado, aquecido e posteriormente depositado camada por camada. O tubo pode se mover horizontalmente, enquanto a plataforma se move verticalmente após cada camada ser depositada (Cailleaux et al., 2020). O processo para manufaturar um objeto impresso seguirá sempre a seguinte ordem: aquisição da imagem, processamento da imagem, fabricação do objeto por meio de técnica de impressão e processo pós cura (Singh et al., 2013; Fahad et al., 2013)

Resinas para confecção de provisórios (Giannetti et al., 2022), guias cirúrgicos (Keßler et al., 2022) e placas (Berli et al., 2020) já possuem maior espaço no mercado odontológico, apresentando resultados satisfatórios quando comparados aos outros métodos de confecção prévios, enquanto impressão de bases de prótese (Al-Qarni et al., 2022) e resina composta para manufatura aditiva de restaurações definitivas necessita de mais estudos para adentrar efetivamente na prática clínica. Com o

interesse das empresas em promover o material ideal para impressão de restaurações definitivas, alguns materiais foram lançados, entretanto há grande variabilidade em suas propriedades. Quando se compara algumas resinas para impressão disponíveis no mercado, obtém-se valores de diferença estatística relevante quanto a resistência ao desgaste (Takada et al., 2022) e de microdureza (Al-Haj Husain et al., 2022). Os autores apontam essas diferenças como consequência das diferentes composições das resinas.

Um dos resultados mais promissores das resinas impressas, por sua vez, é a sua alta resistência ao desgaste quando comparada aos materiais convencionais. Isso se deve a composição desse material na maioria das vezes homogênea (Prause et al., 2022), ao contrário dos materiais resinosos para fresagem que, por sua vez, contam muitas vezes com uma alta quantidade de carga inorgânica adicionada.

Um dos grandes desafios que a impressão odontológica acaba encontrando é a utilização de impressoras adequadas, em parâmetros adequados. Há impressoras que satisfazem os requisitos para a utilização clínica das restaurações impressas (Nulty et al., 2022), entretanto a popularização da impressão para uso recreativo e o crescente aumento de impressoras 3D no mercado, assim como a má utilização e desatenção nos parâmetros de impressão podem causar resultados deletérios nas propriedades desses materiais. A má polimerização do material pode liberar componentes químicos como fotoiniciadores e monômeros residuais, podendo causar problemas locais e sistêmicos (Manojlovic et al., 2017). Além disso, mostrou-se que o protocolo profilático pós impressão tem influência no grau de conversão e propriedades mecânicas desse material.

Ainda há grande necessidade e espaço para os estudos das propriedades ópticas dos materiais resinosos impressos (Espinhar et al., 2022), sendo tal fator compreensível visto que é uma modalidade de material relativamente novo no mercado. Alguns fatores como a pós cura e termociclagem influenciaram nas propriedades ópticas (Cor e translucidez), assim como na microdureza e resistência flexural do material (Chang et al., 2022).

2.5 Comparativo entre Resinas Fresadas e Resinas Impressas.

O foco do presente estudo é avaliar e comparar as propriedades mecânicas e ópticas de um material resinoso para fresagem com um material para impressão. Deve-se ter a compreensão que estudos comparativos entre resinas para fresagem e

resinas impressas tem como objetivo validar através da comparação entre um grupo de material consolidado no mercado e um grupo promissor, entretanto suas características acabam sendo bem divergentes.

Até o dado momento, poucos estudos foram realizados, devido à baixa quantidade de materiais para a impressão no mercado, mas já foi possível observar resultados promissores quanto as propriedades mecânicas, embora diferenças estatísticas significantes entre os materiais fresados e impressos tenham sido identificadas quanto a resistência à flexão, módulo de flexão e dureza vickers (Grzebieluch et al., 2021). O mesmo estudo de Grzebieluch ainda concluiu a influência que o sentido das forças de tensão possui nas camadas de impressão, devendo ser aplicadas ao longo e não através das camadas.

Quando comparamos as propriedades ópticas dos materiais, nos deparamos com uma melhor estabilidade de cor das resinas usináveis e resinas acrílicas ativadas termicamente quando comparada a das resinas impressas (Dimitrova et al., 2022).

Até o dado momento, o uso das resinas impressas se mostra promissor como material restaurador. No entanto, suas propriedades mecânicas e estéticas e acurácia dimensional são os atuais grandes obstáculos da consolidação desse material no mercado odontológico (Della Bona et al., 2021).

3 PROPOSIÇÃO

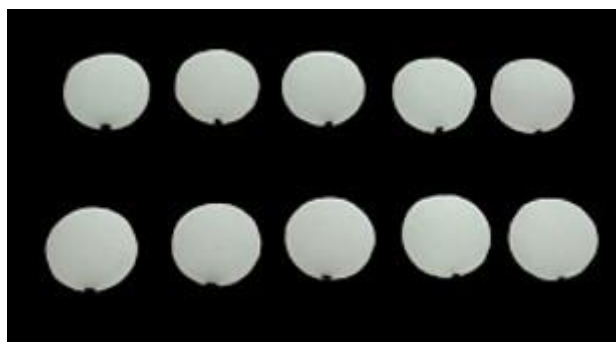
Avaliar a composição, as propriedades mecânicas, ópticas e de união ao cimento resinoso da resina composta impressa, comparando-a com as propriedades de um material resinoso para fresagem, de composição semelhante. A hipótese de nulidade testada foi: “Não serão observadas diferenças significativas nas propriedades mecânicas , ópticas e de união ao cimento resinoso entre o material resinoso para fresagem e o material para impressão”.

4 MATERIAL E MÉTODOS

4.1 Confecção dos Corpos de Prova

As resinas BPC 33 e BPC 66 (Smart Dent, São Carlos, Brasil) foram impressas pela empresa Smart Dent utilizando a impressora Anycubic Photon Mono, tendo o tempo de impressão por camada de 12 s, tempo de base de 35 s, 6 camadas de base, e tendo a espessura de camada de 50 µm. A limpeza ultrasônica foi realizada com ultrassom Codyson CD4862, utilizando etanol, tendo tempo de limpeza de 3 minutos, em temperatura ambiente. A pós-cura foi realizada com o fotopolimerizador EDG Magnabox, sendo de 10 minutos para os discos de diâmetro de 10 × 1,5 mm e 20 minutos para as peças de 60 × 30 × 5 mm. As amostras foram enviadas para a realização dos estudos em discos (Figura 1) e em barras (Figura 2).

Figura 1 – Amostra de Resina BPC 66 em disco



Fonte: Elaborada pelo autor.

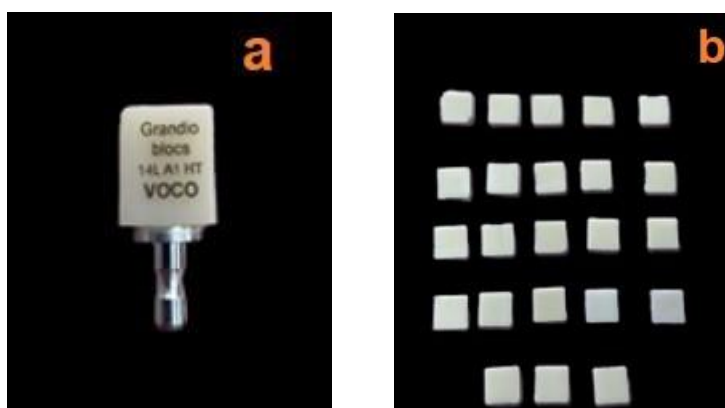
Figura 2 – Amostra de Resina BPC 66 em barra de dimensão 60 x 30 x 5mm



Fonte: Elaborada pelo autor.

Os espécimes do grupo controle foram obtidos a partir de blocos de resina Grandio Blocks (Voco GmbH, Cuxhaven, Alemanha) que foram cortados em fatias de 1,1 mm de espessura ou barras de 14x2,1x2,1 mm com disco diamantado em máquina de corte (Isomet® 1000, Precision Sectioning Saw, Buehler, Lake Bluff, Illinois, EUA) sob refrigeração constante. (Figura 3).

Figura 3a e b – Bloco de Grandio Blocs e espécimes obtidos



Legenda: a. Bloco de resina composta para fresagem Grandio Blocs previamente ao corte na máquina Isomet. b. Resina composta seccionada em espessura de 1,1mm na máquina Isomet.

Fonte: Elaborada pelo autor.

Para a realização de todos os testes, todas as amostras de resina impressa BPC 33 e 66 (Smart Dent, São Carlos, Brasil) e Grandio Blocs foram padronizadas através de redimensionamento de espessura de 1,1 mm com auxílio de uma politriz automática (EcoMet 250, Buehler, Illinois, EUA), com lixas d'água de granulação decrescente #600 e #1200 (30 s por lixa), sob refrigeração com água e polidas com protocolo de Discos de Lixa Soflex Pop-On (3M Dental Products, St Paul, Minnesota, Estados Unidos) em granulação fina e extra fina, junto ao polimento com pasta diamantada DiamondR (FGM, Joinville, Brasil). Após a realização do teste de dureza, a resina BPC 33 não foi mais utilizada no estudo por demonstrar desempenho bastante inferior ao da resina BPC 66.

4.1.1. Determinação da composição da resina experimental e do grupo controle

Determinou-se a microestrutura/composição química dos materiais por meio de MEV/EDS utilizando microscópio eletrônico de varredura (SEM, Vega3, Tescan, República Tcheca).

4.2 Microdureza

O teste de dureza Knoop foi realizado utilizando o microdurômetro HMV-G21DT (Shimadzu), aplicando-se uma carga HK 0,05 (490,3 mN) por 15 s. Foram realizadas 5 edentações em cada amostra (n = 5), totalizando 25 edentações por grupo. A dureza Knoop (HK) foi calculada com a Equação (1).

$$HK = P / A = P / C_p \cdot L^2 \quad (1)$$

Onde:

P = Carga Aplicada em kgf

A = Área superficial da impressão em mm²

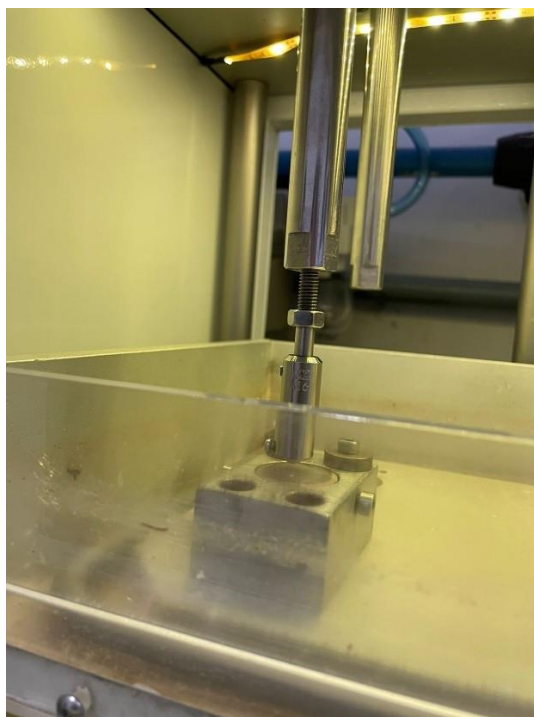
L = Comprimento da impressão em mm ao longo do maior eixo

C_p = Fator de correção relacionado ao formato do penetrador (idealmente 0,070279)

4.3 Desgaste

O teste de desgaste foi realizado em uma Cicladora Mecânica Érios ER 11000, utilizando 30N de carga, frequência de 4 Hz, deslizamento de 1mm (Figura 4) por 100.000 ciclos. Foi utilizado um antagonista esférico de esteatita com raio de 3 mm (Figura 5). Para o ensaio de desgaste, os espécimes foram incluídos em resina acrílica, conforme descrito para o ensaio de resistência adesiva.

Figura 4 – Cicladora mecânica realizando teste de desgaste



Fonte: Elaborada pelo autor.

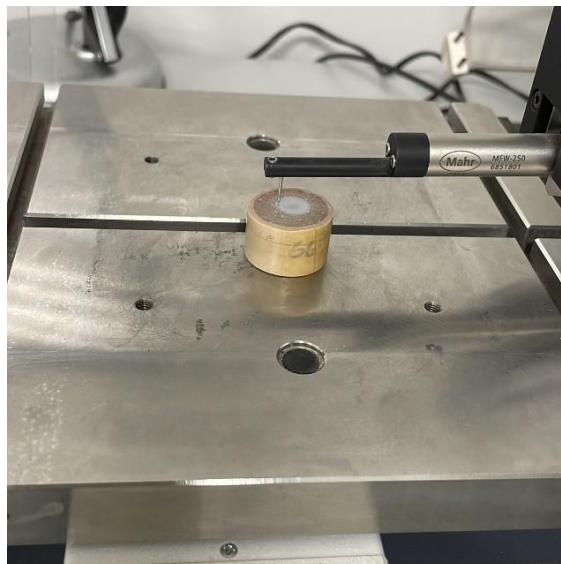
Figura 5 – Esfera de esteatita com diâmetro de 3mm



Fonte: Elaborada pelo autor.

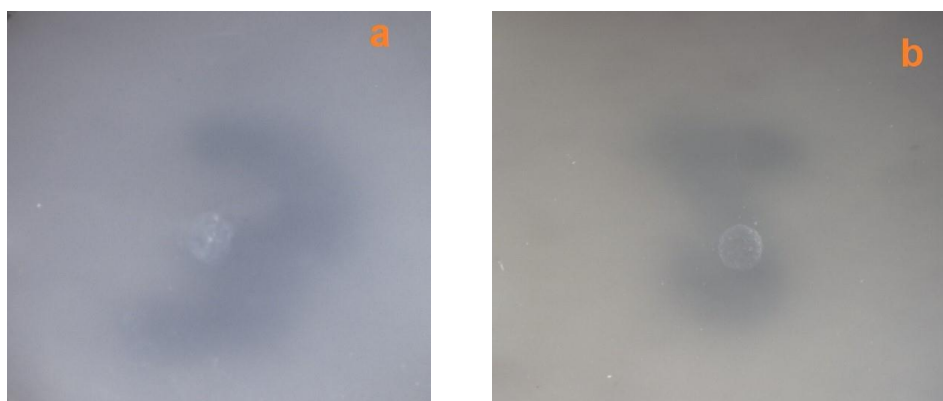
Após o desgaste, todas as amostras foram avaliadas em estereomicroscópio óptico Discovery V20 (Zeiss, Alemanha) para análise do padrão de desgaste, foram selecionadas 6 amostras de cada espécime e posteriormente avaliadas em perfilômetro (Mar Surf GD 25, Mahr, Goettingen, Alemanha) (figura 6) para determinação da área desgastada (figura 7). Foram realizadas três varreduras, a uma distância de 0,25mm entre elas, obtendo três perfis para cada amostra, totalizando 18 varreduras para as amostras 66 e 18 varreduras para as amostras Grandio.

Figura 6 – Amostra sendo submetida a avaliação em perfilômetro



Fonte: Elaborada pelo autor.

Figura 7a e b – Imagens do padrão de desgaste da Resina BPC 66 e Grandio Blocs



Legenda: a. Imagem do padrão de desgaste da Resina BPC 66 observado em estereomicroscópio óptico. b. Imagem do padrão de desgaste da Resina Grandio Blocs observado em estereomicroscópio óptico.

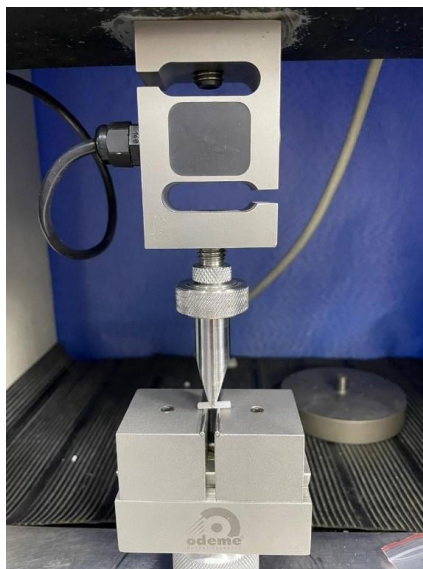
Fonte: Elaborada pelo autor.

Os valores de desgaste foram obtidos através da média da altura do desgaste realizado na amostra, analisado em perfilômetro. O valor da altura do desgaste foi dado em nanômetro.

4.4 Resistência à flexão

Para a realização do teste de resistência à flexão, foram utilizados espécimes em formato de barra, sendo confeccionados 25 de cada grupo (BPC 66 e Grandio Blocks) de dimensão 14,2 mm × 2,1 mm × 2,1 mm. Após a adequação das amostras, realizou-se o teste de resistência a flexão em uma máquina de ensaio universal EMIC DL-1000 (Instron, Norwood, Estados Unidos). Os espécimes foram fixados em um dispositivo metálico e submetido ao teste de miniflexão. A carga utilizada foi aplicada com uma célula de 100N e velocidade de 1 mm/min até a fratura da barra. A distância entre os centros nos quais as amostras foram apoiadas foi de 4 mm, seguindo a norma ISO 4049/2009 (Figura 8).

Figura 8 – Amostras de resina BPC 66 para teste de miniflexão



Fonte: Elaborada pelo autor.

A resistência a flexão foi calculada conforme a Equação 3.

$$RF = 3FI / 2bh^2 \quad (3)$$

Onde:

RF = Resistência a flexão (MPa)

F = Força máxima aplicada até a fratura do espécime (N)

I = Distância entre os suportes (mm)

b = Largura do espécime

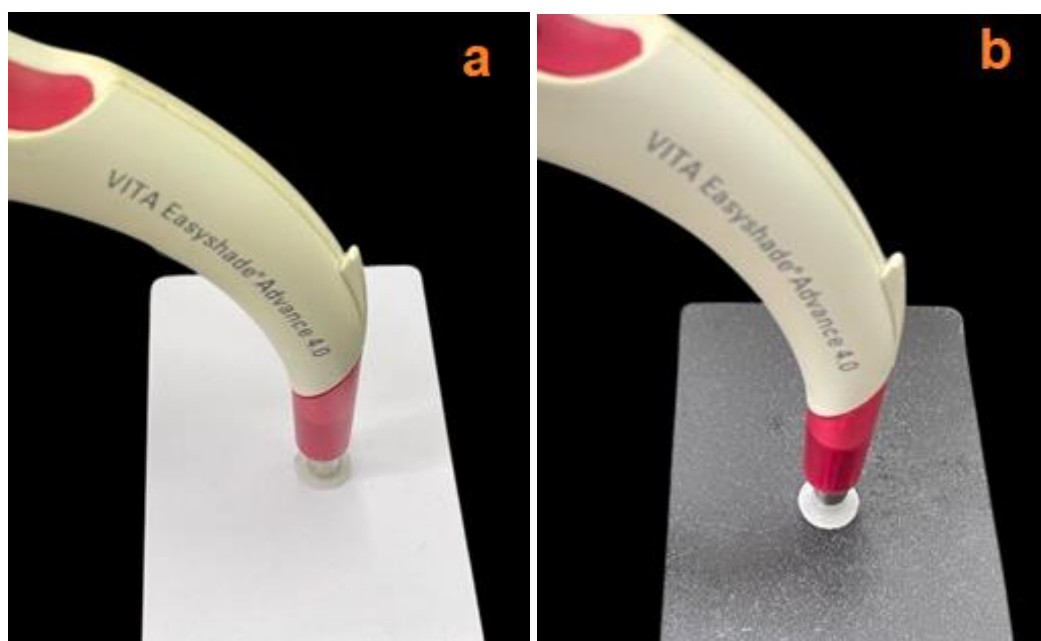
h = Altura do espécime (mm)

As fratura foram observada em MEV, para determinação do defeito causador da falha.

4.5 Propriedades Ópticas

Para realizar o teste de propriedades ópticas, foram confeccionadas 15 amostras de cada grupo, conforme descrito no item 2.1. As amostras passarão por leitura dos parâmetros L^*a^*b após a sua confecção (baseline) e após 15 e 30 dias de contato com solução pigmentante. As leituras foram realizadas com um espectrofotômetro Vita EasyShade (Wilcos, Petrópolis, Brasil), o padrão iluminante D-65 illuminant, ângulo de observação de 10° e sistema de cores CIEL $^*a^*b^*$ (Comission Internationale de l'Éclairage). Neste sistema, L^* é o eixo de luminosidade com valores variando de zero (preto) a cem (branco), e a^* e b^* são as cores coordenadas no eixo verdevermelho e no eixo azul-amarelo, respectivamente.

Figura 9a e 9b – Leitura das propriedades ópticas através dos parâmetros L^*a^*b em fundo branco e preto



Fonte: Elaborada pelo autor.

O protocolo de cor consiste na imersão da amostra em vinho por 15 minutos/dia, ao longo de 15 dias. O vinho foi selecionado como solução por conta de seu conteúdo ácido, alcóolico e alto teor de agentes pigmentantes podendo simular a

associação entre erosão, degradação e sorção de pigmentos. A amostra permaneceu em água destilada durante o restante do tempo, armazenada em estufa a 37°C. A água destilada será trocada a cada dois dias.

A fórmula utilizada para calcular a alteração de cor (equação 4) e translucidez (equação 5) foram calculada conforme as equações abaixo. Para alteração de cor, os pares de leituras serão os parâmetros de 15 (delta E 1) ou 30 (delta E 2) dias em relação ao inicial. Para translucidez, os pares de leitura serão os parâmetros obtidos em fundos branco e preto em cada tempo do estudo (inicial, 15 dias e 30 dias).

$$\Delta E_{00} = \left[\left(\frac{\Delta L'}{K_L S_L} \right)^2 + \left(\frac{\Delta C'}{K_C S_C} \right)^2 + \left(\frac{\Delta H'}{K_H S_H} \right)^2 + R_T \left(\frac{\Delta C'}{K_C S_C} \right) \left(\frac{\Delta H'}{K_H S_H} \right) \right]^{\frac{1}{2}} \quad (4)$$

Onde $\Delta L'$, $\Delta C'$ e $\Delta H'$ são as diferenças de luminosidade, croma e matiz para um par de leituras, e R_T é a função de rotação, que representa a interação entre diferenças de croma e de matiz na região azul. As funções de ponderação S_L , S_H e S_C ajustam a diferença total de cor de acordo com a variação na posição da diferença de cor do par nas coordenadas L' , a' , b' . Os fatores paramétricos K_L , K_C e K_H são termos de correção para condições experimentais. Neste estudo, os fatores paramétricos da fórmula de diferença de cor pelo método CIEDE2000 foram definidos como sendo 1.

Os limiares de perceptibilidade ($TP_{00} > 0.62$) e aceitabilidade ($TP_{00} > 2.62$) clínica descritos por Salas et al. (2018) serão utilizados para comparação entre os grupos.

$$TP_{00} = \left[\left(\frac{L'_b L'_w}{K_L S_L} \right)^2 + \left(\frac{C'_b C'_w}{K_C S_C} \right)^2 + \left(\frac{H'_b H'_w}{K_H S_H} \right)^2 + R_T \left(\frac{C'_b C'_w}{K_C S_C} \right) \left(\frac{H'_b H'_w}{K_H S_H} \right) \right]^{\frac{1}{2}} \quad (5)$$

Onde “b” e “w” se referem a luminosidade (L'), croma (C') e matiz (H') dos espécimes sobre fundo preto (b) e branco (w). R_T é a função de rotação, que representa a interação entre diferenças de croma e de matiz na região azul. As funções de ponderação S_L , S_H e S_C ajustam a diferença total de cor de acordo com a variação na posição da diferença de cor do par nas coordenadas L' , a' , b' sobre os fundos preto e branco. Os fatores paramétricos K_L , K_C e K_H são termos de correção para condições experimentais. Neste estudo, os fatores paramétricos da fórmula de diferença de cor pelo método CIEDE2000 foram definidos como sendo 1.

Os limiares clínicos descritos por Paravina et al. (2015) serão considerados nesta análise, em que $\Delta E_{00} > 0.8$ corresponde ao limiar de perceptibilidade e $\Delta E_{00} > 1.8$ ao de aceitabilidade clínica.

4.6 Rugosidade

As medições dos parâmetros de rugosidade serão feitas juntamente as medições de cor, previamente ao protocolo e 15 dias depois. A medição quantitativa será realizada com um rugosímetro Série SJ-410 (Mitutoyo, Takatsu-Ku, Japão) previamente calibrado. O parâmetro Ra (rugosidade média em μm) será avaliado com um corte de 0,80 mm, resolução 0,0001 μm (faixa de 8 μm), velocidade de 0,5 mm/s e comprimento total de 4 mm, de acordo com a ISO 4287 (1997). Três medições dos eixos x,y,z de cada amostra serão realizadas e a média dessas leituras será utilizada na análise. Como a rugosidade da resina composta não têm um limite clínico acordado para valores inaceitáveis, serão considerados dois limites: valor de Ra abaixo de 0,2 μm , pois pode ser associado à redução do acúmulo de placa, risco de cárie e inflamação periodontal (Bollen, 1997) e Ra abaixo de 0,3 μm , por ser associado ao conforto do paciente, pois a maioria não consegue detectar superfícies rugosas abaixo deste limite.

Figura 10 – Leitura dos parâmetros de rugosidade através do rugosímetro

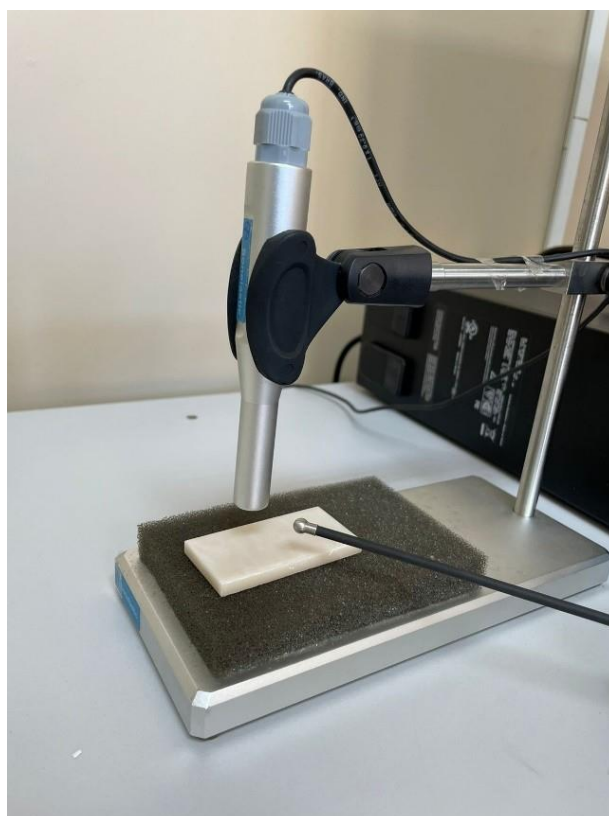


Fonte: Elaborada pelo autor.

4.7 Módulo de Elasticidade e Coeficiente de Poisson

As amostras do teste de módulo de elasticidade foram confeccionadas com as dimensões de 60x30x5mm e passaram pelo mesmo protocolo de polimento com os discos de lixa e pasta diamantada utilizado para as amostras dos testes anteriores. O teste de módulo de elasticidade e coeficiente de Poisson foram realizados utilizando o equipamento Sonelastic (Figura 11)

Figura 11 – Amostra BPC 66 em barra posicionada para medição do Módulo de Elasticidade no equipamento Sonelastic



Fonte: Elaborada pelo autor.

Para mensurar o módulo de elasticidade, foi utilizada a equação 5.

$$E = \sigma / \varepsilon \quad (5)$$

Onde:

E = Módulo de Elasticidade ou Módulo de Young (Pa)

σ = Tensão aplicada (Pa)

ε = Deformação elástica longitudinal do corpo de prova (adimensional)

4.8 Resistência Adesiva

Para realização dos testes de resistência adesiva, as amostras foram embutidas em cano de PVC com luz de 25 mm (3/4 de polegada) com resina acrílica ativada quimicamente (Jet, Brasil) (Figuras 13 e 14). Foram confeccionadas 6 amostras para cada material (resinas 33, 66 e Grandio). Metade das amostras de cada material foram testadas com o cimento Variolink (Ivoclar Vivadent, Schaan, Liechtenstein) e metade com o cimento Bifix. (Voco gmbH, Cuxhaven, Alemanha).

Figura 12a e b – Amostra de Resina BPC 66 e Grandio Blocs incluídas em cano PVC



Legenda: a. Amostra de Resina BPC 66 incluída em resina acrílica ativada quimicamente em cano de PVC. b. Amostra de Resina Grandio Blocs incluída em resina acrílica em cano de PVC.

Fonte: Elaborada pelo autor.

Previamente à cimentação, todos os espécimes foram jateados com óxido de alumínio 50 μm por 30 s com 2 bar de pressão. Após, os espécimes foram limpos com álcool em uma cuba ultrassônica por 7 min e secos com jatos de ar. Cada espécime recebeu 5 cilindros de 0,9x2 mm cortados a partir de cânulas de sonda uretral nº4 descartável (Fabrimed, Brasil), que foram fixadas com cera pegajosa bastão (Asfer Indústria Química Ltda., Brasil). Nos grupos cimentados com Variolink (33-V, 66-V, G-V), aplicou-se o adesivo Tetric N-Bond Universal (Ivoclar Vivadent, Schaan, Liechtenstein) com microbrush por 60 s. A inclusão do cimento Variolink nos cilindros foi feita após a espatulação do material (proporção 1:1 base/catalisador) por 10 segundos e a fotopolimerização foi realizada com o fotopolimerizador Bluephase N (Ivoclar Vivadent, Schaan, Liechtenstein) por 30 segundos. Nos grupos cimentados com Bifix (33-B, 66-B, G-B), aplicou-se o agente silano Ceramic Bond (Voco gmbH, Cuxhaven, Alemanha) com microbrush por 60 s. Posteriormente aplicou-se o adesivo FuturaBond U (Voco gmbH, Cuxhaven, Alemanha) de forma homogênea e ativa por 20 s com microbrush. A inclusão do cimento Bifix QM foi feita com o auxílio da ponta misturadora que acompanha o material e a fotopolimerização foi realizada com o fotopolimerizador Bluephase N (Ivoclar Vivadent, Schaan, Liechtenstein) por 30 segundos.

Após fotopolimerização, todos os espécimes foram mantidos em água destilada em uma estufa a 37°C por 24 horas. Os silicones foram cuidadosamente cortados e removidos junto com a cera, restando apenas os cilindros construídos com os cimentos resinosos (Figura 13).

Figura 13 – Amostra de resina BPC 66 incluída em cano PVC com os tubos para ensaio de resistência adesiva



Posteriormente, as amostras foram posicionadas no dispositivo na base da máquina de ensaio mecânico (EMIC DL 1000) de forma que a ponta aplicadora de carga ficasse a mais paralela e o mais próximo possível da interface resina-cimento. Então, o ensaio mecânico de resistência ao microcisalhamento foi realizado utilizando fio de aço para Ortodontia de diâmetro 0.2mm, uma célula de carga de 50N e velocidade de 0,5mm/min, até a fratura. A resistência adesiva (em MPa) foi calculada de acordo com a Equação 6.

$$R = F/A \quad (6)$$

Onde:

R = Resistência adesiva (MPa)

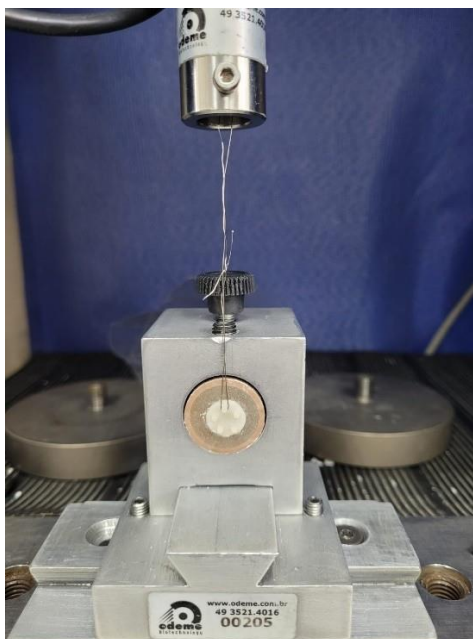
F = Força (N)

A = área interfacial (mm), = πr^2 , onde

$\pi = 3,14$

r = 0,46 mm (raio do cilindro), resultando em uma área transversal de 0,7 mm².

Figura 14 – Teste de resistência adesiva



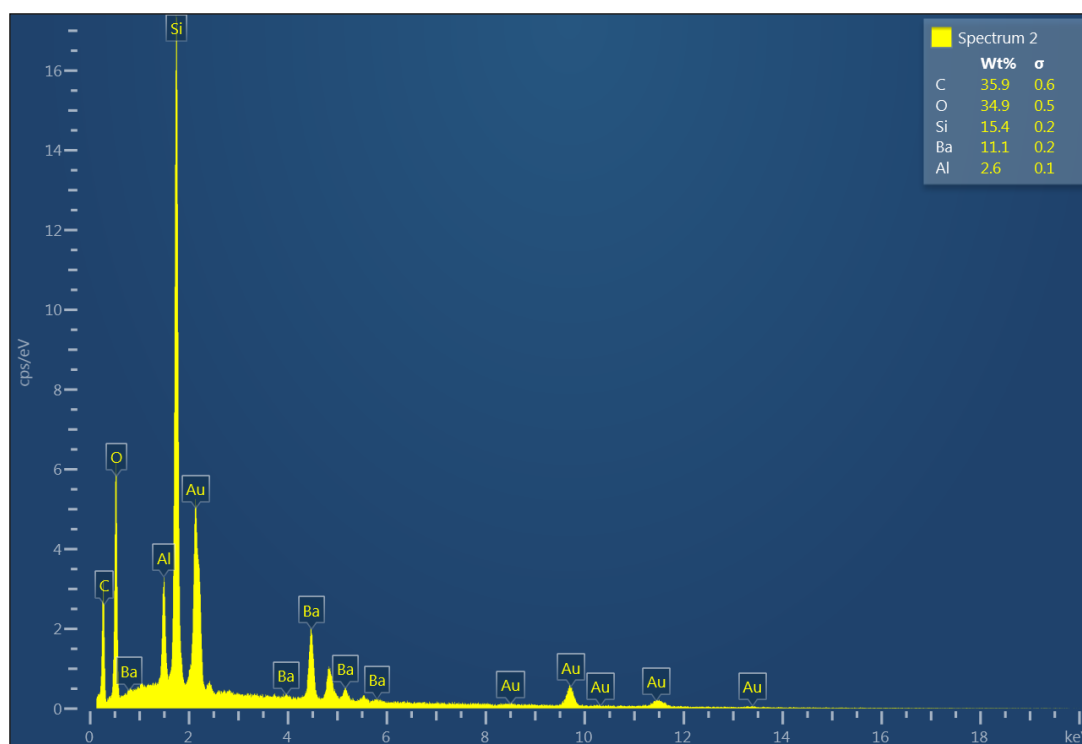
Fonte: Elaborada pelo autor.

5 RESULTADOS

5.1 Composição Química

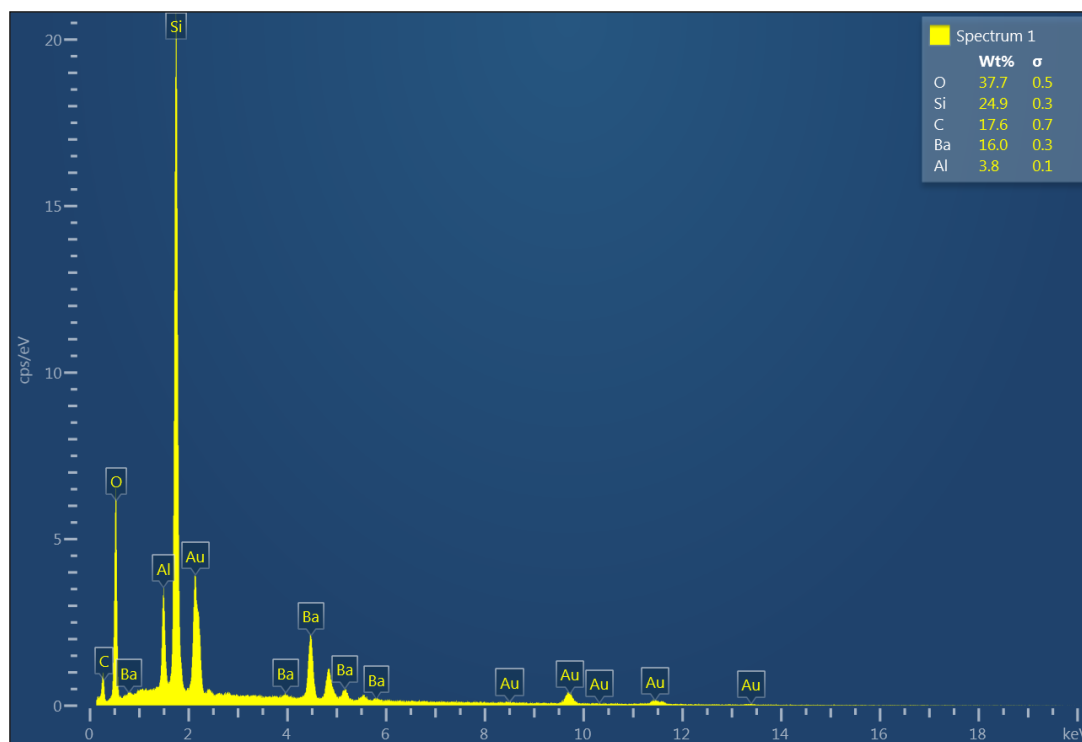
Os resultados obtidos para a composição dos materiais em peso estão apresentados, para a resina 66, na figura 15 e para o grupo controle, na figura 16.

Figura 15 – Composição percentual por peso da resina 66



Fonte: Elaborada pelo autor.

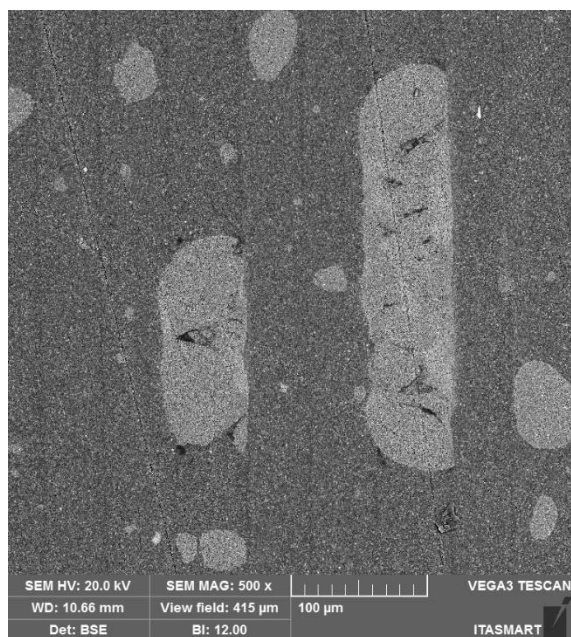
Figura 16 – Composição percentual por peso da Grandio Blocs.



Fonte: Elaborada pelo autor.

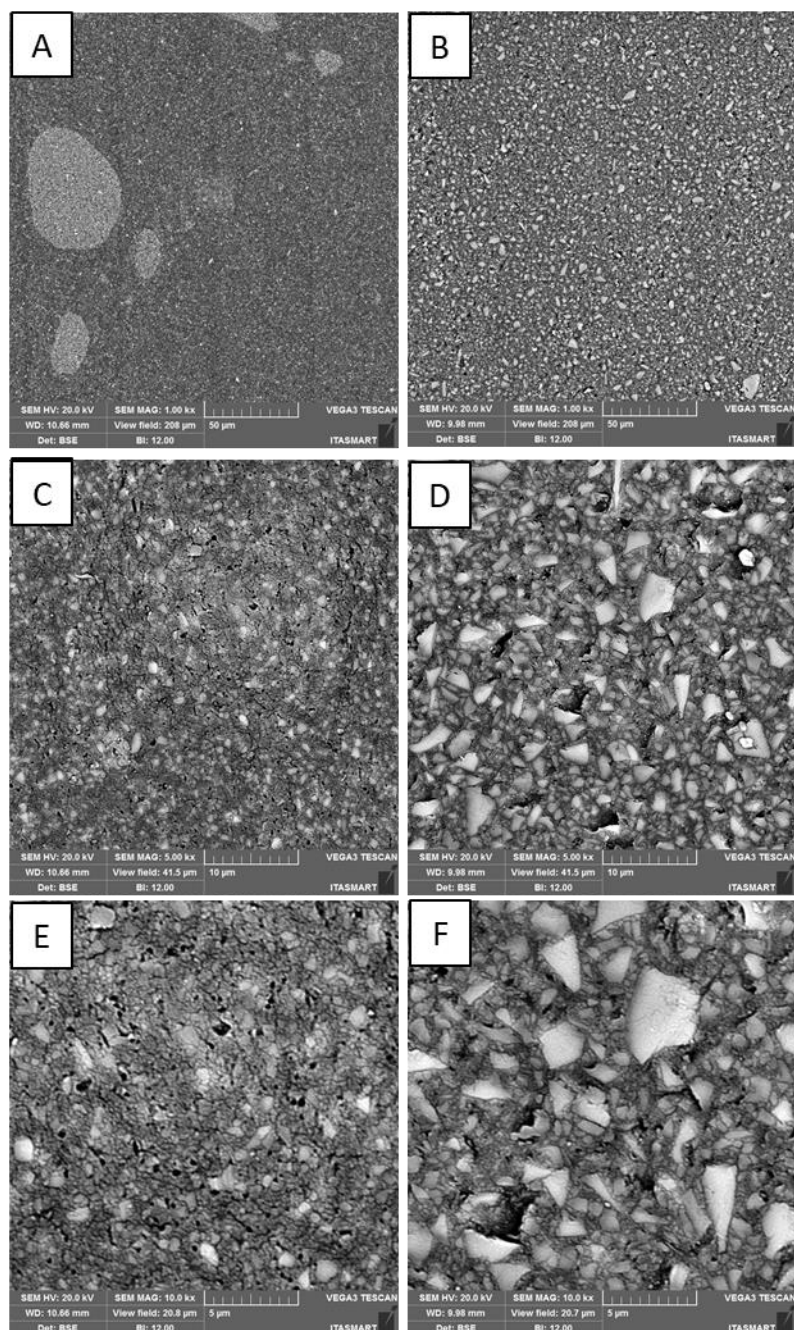
Foram obtidas imagens em Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) da microestrutura das resinas por meio da técnica de elétrons retroespalhados (*"backscattering electron"*), em diferentes magnificações.

Figura 17 – Imagem obtida por meio de MEV da resina 66 utilizando técnica de *backscattering* com aumento de 500x .Notar as diferenças nos tamanhos das partículas inorgânicas (pi) na matriz (m).



Fonte: Elaborada pelo autor.

Figura 18 – Imagem obtida por meio de MEV da resina 66 e da resina Grandio utilizando técnica de *backscattering* com aumento de 1000x (A e B), 5000x (C e D) e 10000x (E e F). Notar a maior quantidade e os aspectos grosseiros das partículas inorgânicas da resina Grandio.



Fonte: Elaborada pelo autor.

5.2 Dureza

Os resultados de HK obtidos estão apresentados na Tabela 1. Foi observado a diferença estatística entre os materiais ($P < 0,001$). A resina Grandio apresentou os maiores valores de dureza. Também foi observado que a resina 66 apresentou melhores resultados que a resina 33.

Tabela 1 – Médias (desvios padrões) de dureza obtidos para cada material

Material	Dureza Knoop (hK)
BPC 66	35,87 (2,78) ^B
BPC 33 TA1	32,70 (3,31) ^C
Grandio	132,76 (16,32) ^A

Letras diferentes na mesma coluna indicam diferenças estatísticas significantes (Teste de Kruskal-Wallis e Teste de Dunn, $P < 0,05$)

Fonte: Elaborada pelo autor.

5.3 Resistência à Flexão

Os resultados de resistência à flexão estão apresentados na tabela 3. Foi observado a diferença estatística entre os materiais ($P < 0,001$). A resina Grandio apresentou os maiores valores de resistência à flexão.

Tabela 2 – Médias (desvios padrões) de resistência à flexão obtidos para cada material

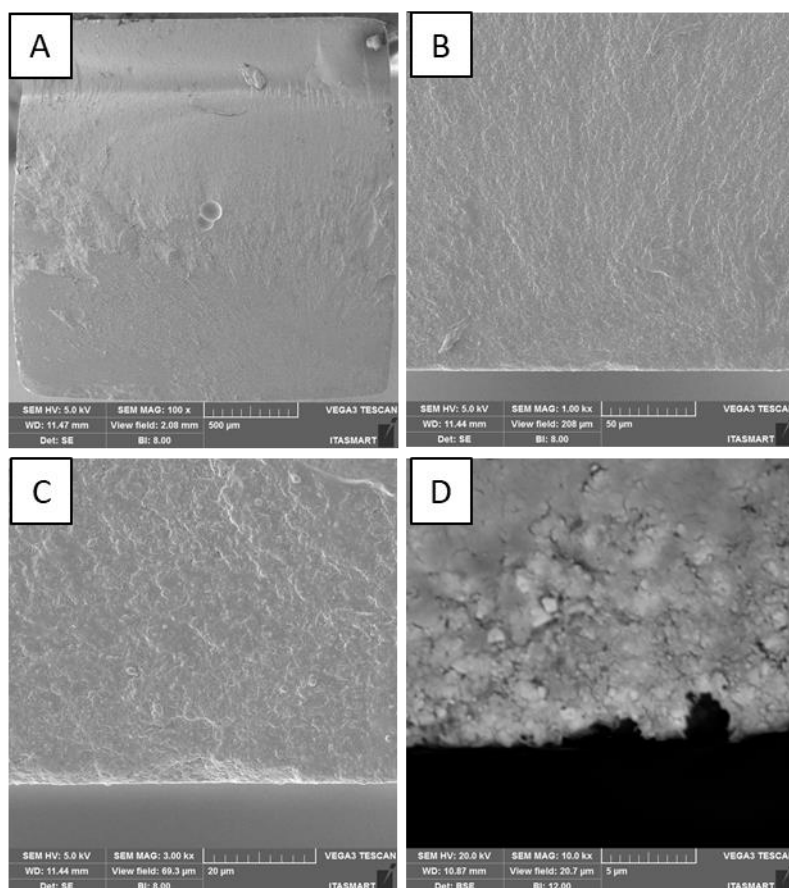
Material	Resistência à Flexão (MPa)
BPC 66	88,69 (8,39) ^B
Grandio	172, 17 (26,99) ^A

Letras diferentes na mesma coluna indicam diferenças estatísticas significantes (Teste de Mann-Whitney, $P < 0,001$)"

Fonte: Elaborada pelo autor.

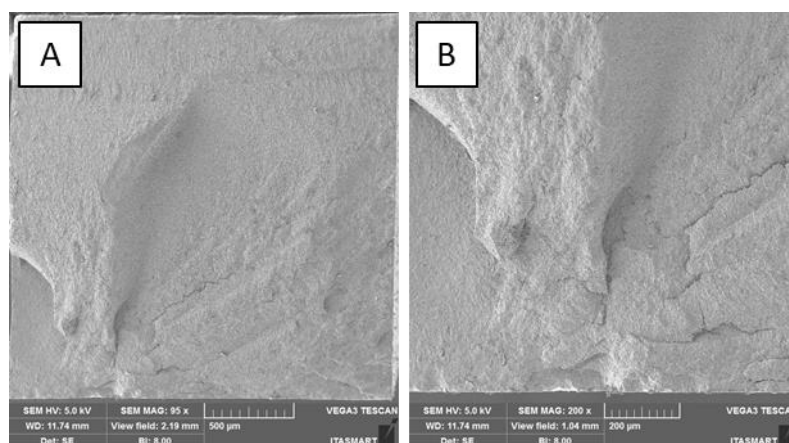
Foram obtidas imagens em microscópio eletrônico de varredura em diferentes aumentos das amostras fraturadas para realização de fractografia.

Figura 19 – Imagem obtida por meio de microscopia eletrônica de varredura da resina 66 após a fratura das amostras em diferentes aumentos. 100x (A), 1000x (B), 3000x (C) e 10000x em backscattering (D)



Fonte: Elaborada pelo autor.

Figura 20 – Imagem obtida por meio de microscopia eletrônica de varredura da resina para fresagem após a fratura das amostras em diferentes aumentos. 95x (A) e 200x (B)

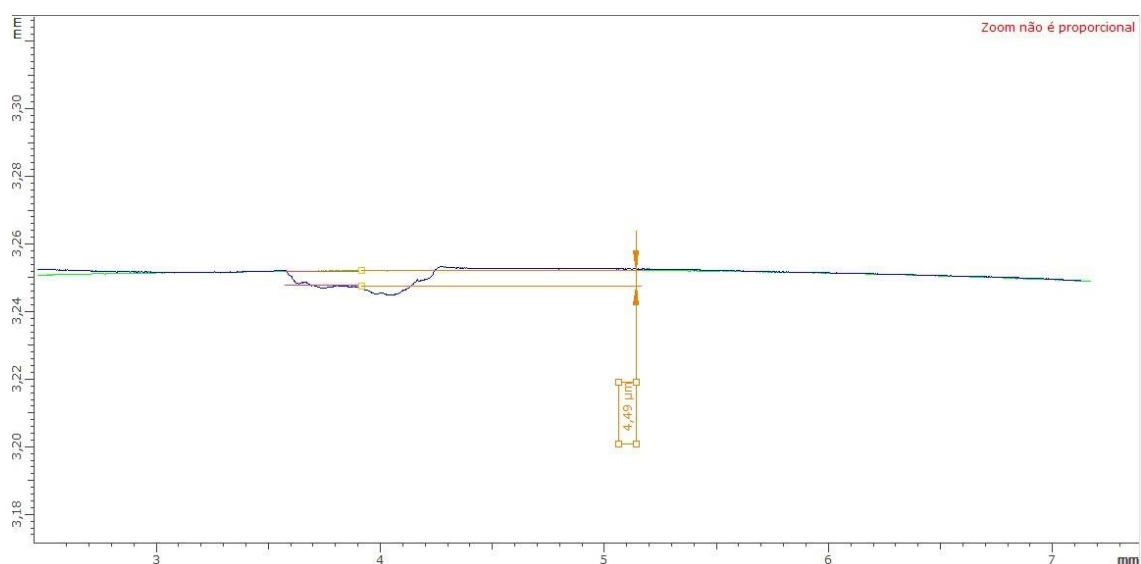


Fonte: Elaborada pelo autor.

5.4 Desgaste

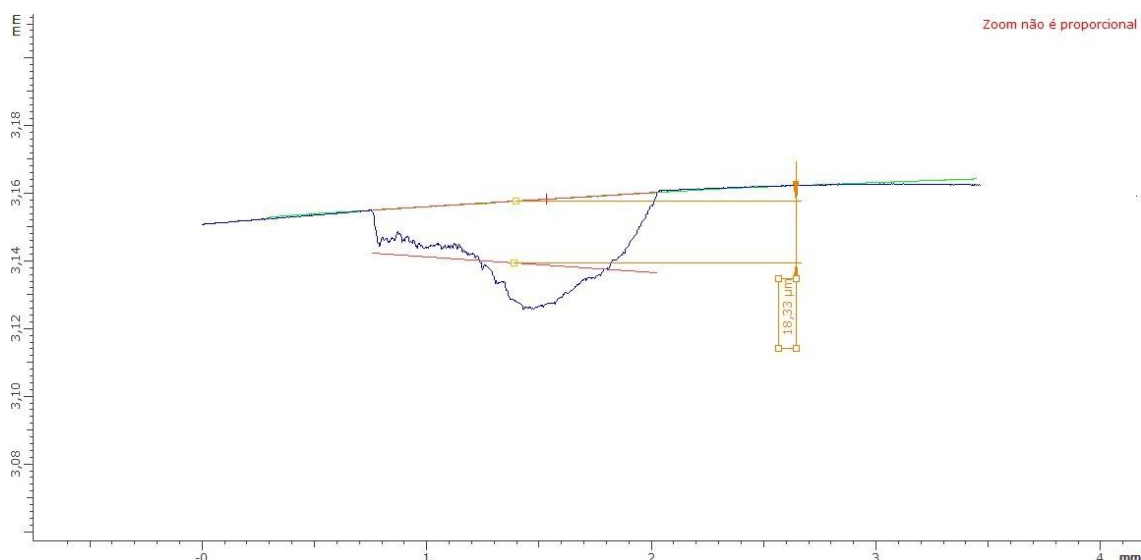
Os resultados de desgaste estão apresentados na tabela 4. Foi observado a diferença estatística entre os materiais ($P < 0,001$). A resina BPC 66 apresentou os menores valores de desgaste.

Figura 21 – Perfil de desgaste da Resina BPC 66 analisado em perfilômetro



Fonte: Elaborada pelo autor.

Figura 22 – Perfil de desgaste da Resina Grandio Blocs analisado em perfilômetro



Fonte: Elaborada pelo autor.

Tabela 3 – Valor de desgaste em altura obtido para a Resina 66 e Resina Grandio

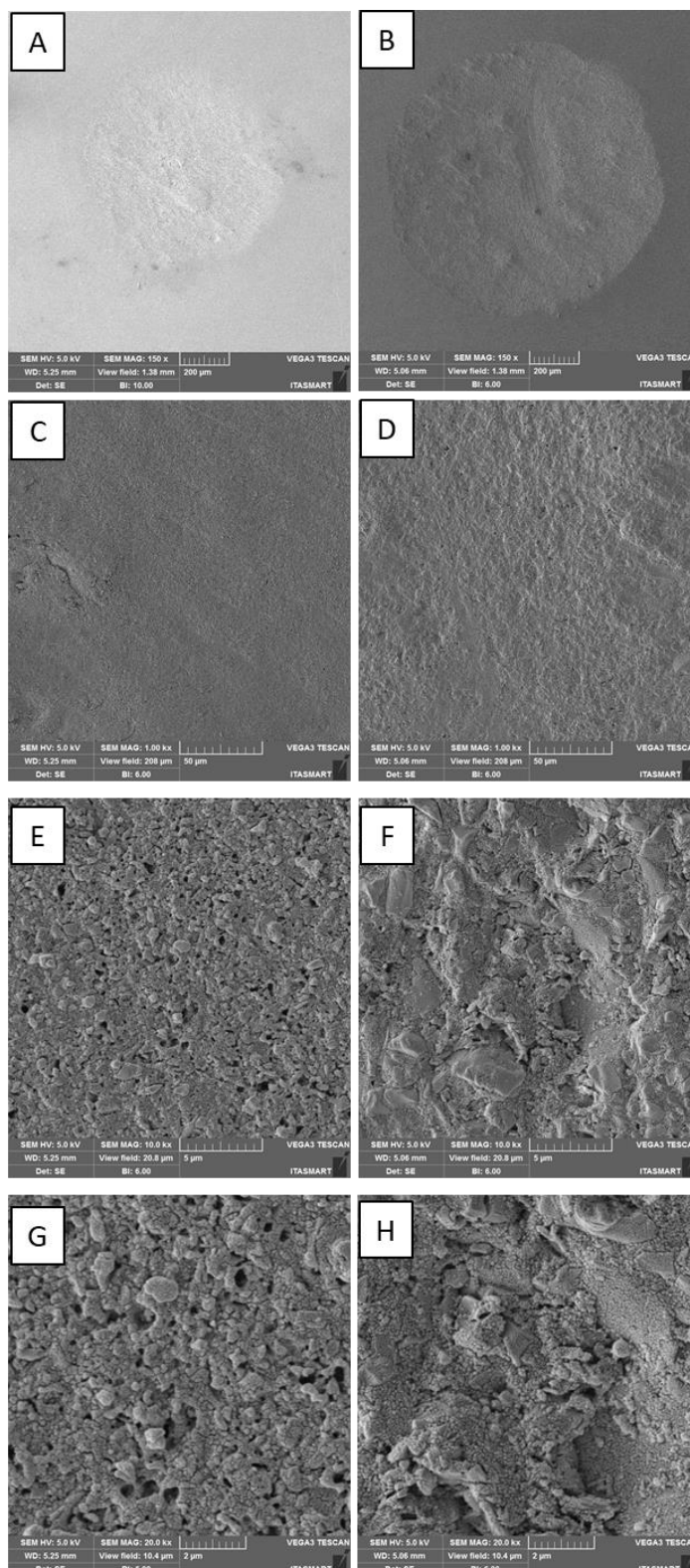
Material	Desgaste (μm)
BPC 66	7,16(2,84) ^B
Grandio	24,97(3,60) ^A

Letras diferentes na mesma coluna indicam diferenças estatísticas significantes (Teste de Mann-Whitney, $P < 0,001$)"

Fonte: Elaborada pelo autor.

Após a realização do teste de desgaste, foram obtidas imagens em microscópio eletrônico de varredura em diferentes aumentos das amostras desgastadas, sendo representadas em pares (figura 23).

Figura 23 – Imagens de microscopia eletrônica de varredura das amostras de resina 66 e Grandio após o desgaste, em que A e B representam aumento de 150x, C e D aumento de 1000x, E e F aumento de 10000x e G e H aumento de 20000x. A topografia do material na região do desgaste da resina Grandio é mais grosseira, com vales mais profundo e destacamento de partículas. Notar a presença de bolhas da resina 66



5.5 Módulo de Elasticidade

Foram obtidos os valores de módulo de elasticidade (tabela 4) e coeficiente de Poisson (tabela 5).

Tabela 4 – Valor de módulo de elasticidade para a Resina 66 e Resina Grandio

Material	Módulo de Elasticidade (μm)
BPC 66	9,34 (0,73)
Grandio	18*

* De acordo com o fabricante.
Fonte: Elaborada pelo autor.

5.6 Propriedades Ópticas

Os valores de diferença de cor (ΔE_{00}), desvio padrão e diferenças encontradas entre os grupos após 15 dias de tratamento de cor estão descritos na Tabela 6. Observou-se diferença estatística entre os materiais quanto a alteração de cor e translucidez iniciais e após a imersão em vinho. Observou-se diferença estatística para translucidez inicial e final da resina 66.

Tabela 5 – Médias e desvios-padrões de alteração de cor (ΔE_{00}), translucidez (TP_{00}) inicial e após imersão em vinho e diferença de translucidez

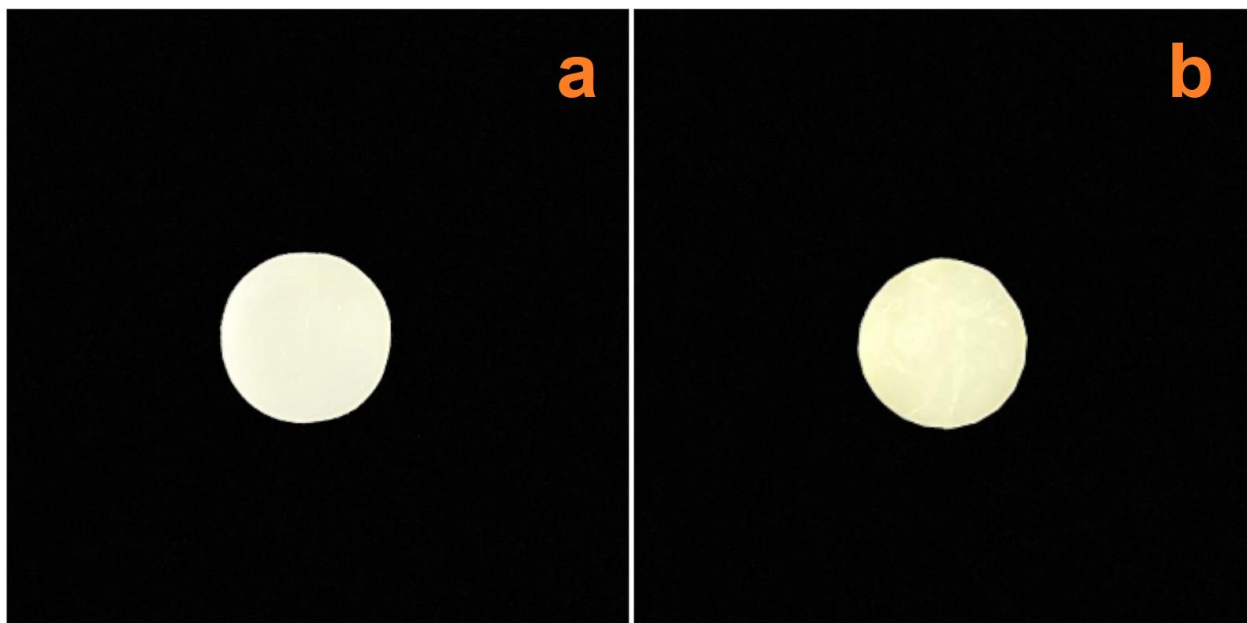
	ΔE_{00}	Perceptível Clinicamente	TP_{00} inicial	TP_{00} 15 dias	ΔTP_{00}	Perceptível Clinicamente
66	3,73 (0,36) A	Sim	15,08 (0,21) A	5,92 (0,33) B	9,16	Sim
Grandio	1,86 (0,31) B	Sim	10,86 (0,56) A	10,80 (0,82) A	0,06	Não

Para ΔE_{00} , letras diferentes na mesma coluna indicam diferença estatística entre os materiais (teste t de Student)
Para TP_{00} , letras diferentes na mesma linha indicam diferença estatística entre translucidez inicial e final de cada material (teste t pareado)

* $\Delta E_{00} > 0,81$ (Paravina et al., 2015) ** $\Delta TP_{00} > 0,62$ (Salas et al., 2018)

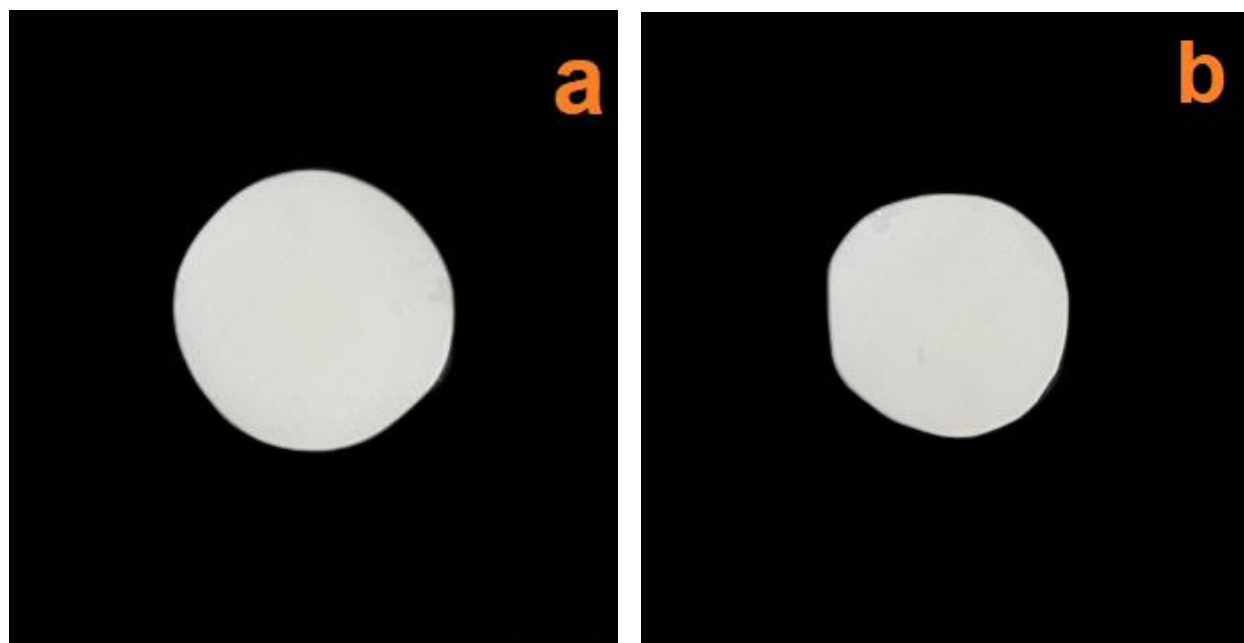
Fonte: Elaborada pelo autor

Figura 24a e b – Amostras da resina BPC 66 previamente ao protocolo de pigmentação (a) e posteriormente aos 15 dias (b)



Fonte: Elaborada pelo autor.

Figura 25a e b – Amostras da resina usinável previamente ao protocolo de pigmentação (a) e posteriormente aos 15 dias (b)



Fonte: Elaborada pelo autor.

5.7 Rugosidade

Os valores e desvio padrão de rugosidade média (Ra) e rugosidade de profundidade média (Rz) inicial e após 15 dias e diferenças encontradas entre os grupos estão descritos na Tabela 8. Observou-se diferença estatística para as leituras iniciais e finais dos dois materiais. Não foram observadas diferenças estatísticas para a rugosidade média entre os materiais. Foram observadas diferenças estatísticas para a rugosidade de profundidade média dos materiais.

Tabela 6 – Médias e desvios-padrões de rugosidade média (Ra) e rugosidade de profundidade média (Rz) (em μm) de cada grupo antes e após a imersão em vinho tinto

	Ra		Rz	
	Inicial	15 Dias	Inicial	15 Dias
66	0,13 (0,07) ^{Ba}	0,15 (0,08) ^{Aa}	0,89 (0,18) ^{Bb}	1,07 (0,19) ^{Ab}
Grandio	0,15 (0,02) ^{Ba}	0,17 (0,02) ^{Aa}	1,18 (0,20) ^{Ba}	1,42 (0,12) ^{Aa}

Letras maiúsculas diferentes na mesma linha indicam diferenças entre as leituras do mesmo material. Letras minúsculas diferentes na mesma coluna indicam diferenças estatísticas entre os materiais dentro de cada leitura (Two-way RM ANOVA, teste de Tukey).

Fonte: Elaborada pelo autor.

5.8 Resistência Adesiva

Observou-se que o fator material não afetou a resistência adesiva ($P = 0,72$), já o fator cimento afetou a resistência adesiva ($P = 0,05$). Não foi observado interação significativa entre os fatores ($P = 0,07$). O cimento Variolink obteve aos maiores valores. Os valores da resistência adesiva estão descritos na Tabela 8.

Tabela 7 – Médias (desvios padrões) de resistência adesiva obtidos para cada grupo experimental, em MPa

Material	Bifix	Variolink
66	16,23 (3,68) ^{B a}	25,33 (3,86) ^{A a}
Grandio	17,96 (4,88) ^{B a}	20,76 (8,39) ^{A a}

Letras maiúsculas na mesma linha indicam diferenças entre os cimentos para cada material. Letras minúsculas diferentes na mesma coluna indicam diferenças entre os materiais para cada cimento (Teste Anova dois fatores e Teste de Bonferroni $P < 0,05$)

Fonte: Elaborada pelo autor.

6. Discussão

A tecnologia aplicada à Odontologia evolui frequentemente, tanto pela demanda do paciente em busca de saúde e estética quanto pela demanda do profissional, que busca maior praticidade, facilidade e previsibilidade para seu trabalho. Tal evolução é notável dentro da Odontologia restauradora, em que materiais e equipamentos são constantemente criados ou aprimorados para cumprir tais necessidades.

Uma das grandes inovações dentro da odontologia é a tecnologia de manufatura regressiva e aditiva, representadas respectivamente pela fresagem e impressão, que auxilia em inúmeros processos dentro da Odontologia, desde a confecção de restaurações, provisórias e definitivas, até itens auxiliares, como placas de bruxismo e de clareamento, aparelhos ortodônticos e guias para tratamento endodôntico e cirúrgico.

Neste sentido, o estudo teve como objetivo corroborar a utilização de um material impresso quando comparado a um material fresado, tendo em vista a similar composição dos materiais. Esperava-se obter resultados similares aos do grupo controle, assim como resultados que validariam a utilização do material impresso para a confecção de restaurações finais. Tendo em vista a maior parte dos nossos resultados, a hipótese de nulidade foi rejeitada.

Após observar a composição por peso dos materiais (figura 15 para a resina 66 e 16 para a resina Grandio Blocs), pode-se observar que a resina impressa apresenta um menor percentual de peso atribuído aos componentes inorgânicos (29,1% do peso) quando comparada à resina fresada (44,7% do peso). Tal conteúdo, por sua vez, pode justificar os resultados, que serão discutidos a seguir, de resistência mecânica superior da resina fresada.

Outro fator que pode estar intimamente relacionado com as propriedades mecânicas de dureza e flexão do material testado é a disposição das partículas inorgânicas, como observado nas figuras 17 e 18, em que se nota uma disposição heterogênea, com regiões de maior concentração das partículas em detrimento de outras. Esta distribuição desigual das partículas pode igualmente justificar os valores inferiores de dureza e flexão. Ao comparar os dois materiais em igual aumento (figura 19), observa-se uma homogeneidade na distribuição das partículas de carga superior na resina para usinagem. Pela forma com que as resinas para impressão são comercializadas, como um líquido viscoso, pode-se esperar maior instabilidade da homogeneização das partículas inorgânicas ao longo da resina quando comparado a um bloco sólido para fresagem,

mediante a decantação das partículas no recipiente previamente a impressão, tal qual recomenda-se a agitação da resina previamente ao seu uso, entretanto, pode ser de interesse aos fabricantes da resina impressa não somente aumentar a quantidade de partículas inorgânicas na composição, mas torna-la também mais homogêneamente distribuída na matriz.

A resina impressa apresentou menores valores de dureza que a resina usinável. Esse fato ainda pode ser atribuído à quantidade de partículas de carga, ao menor grau de conversão da resina (não medido neste trabalho) ou por conta de características de pós cura após a polimerização da resina impressa. No presente estudo, foi utilizado como método de dureza, a Dureza Knoop, normatizado pela ASTM D1474 (*Standard Test Methods for Indentation Hardness of Organic Coatings*). Tanto a dureza Knoop quanto a dureza Vickers são métodos de ensaio de microdureza, sendo a escolha do método Knoop feita por conta dos materiais estudados serem frágeis. Alguns estudos de materiais restauradores utilizaram o método Vickers para identificar a dureza dos materiais. Seguindo os padrões da *ASM Metals Reference Book* 3rd ed, publicado pela ASM International e *Machinery's Handbook* 25th ed, publicado pela Industrial Press, é possível ter um parâmetro comparativo ao converter os valores, entretanto não é possível obter acurácia precisa, não havendo, de fato, conversão analítica real para os valores, considerando que cada metodologia dispõe de condições experimentais diferentes, como as dimensões e materiais dos indentadores, assim como a diferença nas cargas. O presente estudo identificou valores de dureza que corroboram com demais estudos quanto a dureza do grupo controle, (Colombo et al., 2019; Grzebieluch et al., 2021; Alamoush et al. 2018 ; De Andrade et al., 2021) incluindo as informações da Voco, apresentando 135 hK segundo a fabricante, entretanto os valores identificados para a dureza do material experimental mostraram-se inferiores ao de outros materiais resinosos restauradores diretos (Strini et al., 2022), indiretos fresados (Bayraktar et al., 2020), entretanto um valor similar ao de outra resina impressa (Grzebieluch et al., 2021) e superior ao dos materiais provisórios convencionais (Revilla-León et al. 2020) e dos impressos (Revilla-León et al. 2020; Abdullah et al., 2022; Soto Montero et al., 2022). Considerando o valor de dureza que material apresentou, podemos considerar que o mesmo está aquém de demais materiais restauradores usináveis, mas demonstrou valor superior ao de materiais provisórios.

Tal característica pode ser atribuída a uma diferente composição química ou estrutural dos demais materiais (Zubrzycki et al., 2023) ou de tratamento pós cura (Abdullah et al., 2022; Soto-Montero et al., 2022). O presente estudo, ao avaliar a composição química (figura 15 e 16) e estrutural (figura 17, 18 e 19), identificou diferenças nas resinas impressas e fresadas que corroboram com os resultados encontrados para os valores de dureza. Os parâmetros de pós cura da resina impressa podem ser

posteriormente investigados para avaliar possíveis alterações nos parâmetros de dureza do material.

Os valores encontrados para resistência a flexão de materiais restauradores poliméricos, segundo a normativa ISO 4049/2019, no item “5.2.9 Resistência a Flexão” preconiza que a resistência mínima em MPa de um material restaurador deve ser por volta de 80 MPa. Dito isso, ambos o grupo controle quanto o grupo experimental contemplam os requisitos da norma.

Para o grupo controle, foram identificados valores divergentes de resistência à flexão do que indicado pelo fabricante (221,08 MPa) e segundo outros estudos - 266 MPa (Vichi et al., 2020), 248 MPa (Elraggal et al., 2023) e 186 MPa (Grzebieluch et al., 2021). O último estudo também constatou valores de resistência à flexão do material resinoso impresso Varseo Smile Crown plus (Bego, Bremen, Alemanha) como sendo 119,85 MPa quando impresso verticalmente à plataforma de impressão e 143,39 MPa quando as amostras foram impressas com o eixo X e Y rotacionados em 45°. O estudo, além de demonstrar a diferença entre os valores de resistência à flexão da resina para fresagem da resina para impressão, também demonstra a alteração da resistência flexural mediante a aplicação das forças no longo eixo e não transversalmente às camadas. O estudo também demonstrou que a quantidade de carga, em volume percentual, das resinas fresadas, sendo em maior quantidade que na resina impressa geraram diferentes resistências. Tal fato pode justificar a maior resistência à flexão do grupo controle quando comparada ao do grupo experimental, no presente estudo.

Ao analisarmos a fractografia das amostras, podemos observar que a resina impressa sofreu uma falha em defeito de superfície onde havia acúmulo de partículas e gerou delaminação da camada de impressão, conforme observado na figura 20. Tal resultado demonstra que não só a quantidade de partículas de carga e sua dispersão, como características do parâmetro de impressão, tal qual espessura e disposição das camadas podem ter íntima correlação com os valores encontrados para resistência à flexão e de outras propriedades mecânicas. Por sua vez, a resina Grandio possuía um defeito crítico de superfície, que levou à fratura em flexão.

O menor valor de desgaste para a resina experimental pode ser devido à perda das partículas de carga de um material ao longo do desgaste cíclico que passam a funcionar como abrasivo, aumentando a quantidade de desgaste do material (Darwell et al. 2018). Ainda pode-se considerar a hipótese de que o material impresso teve um menor desgaste mediante a compactação das camadas de filamentos. Entretanto, não há íntima correlação entre a dureza e o desgaste dos materiais (Eva et al. 2022), assim como há de se ressaltar que materiais se comportam de forma diferente quando submetidos a desgaste de 2 ou 3 corpos. Alguns estudos demonstraram maior desgaste no material de menor dureza (Yin.,

2019), sendo que a adição de nanopartículas em um material impresso pode aumentar a resistência ao desgaste (Althahban., 2023), embora o autor do último estudo correlacione o aumento da resistência pelo preenchimento dos poros e pela distribuição do estresse, enquanto outros estudos (Silva et al., 2023) demonstram não correlação entre dureza e comportamento de desgaste.

No presente estudo, observou-se através de imagem ampliada por meio de microscopia eletrônica de varredura (figura 23) comportamentos diferentes de desgaste entre as duas resinas. A resina para impressão mostrou um comportamento de compactação da região desgastada, podendo justificar o menor volume desgastado, enquanto a resina para usinagem demonstrou um lascamento de suas camadas, podendo ser justificado por ser um material mais frágil.

O módulo de elasticidade da resina Grandio, segundo o fabricante, é de 18 GPa, e segundo outros trabalhos, de 15,83 GPa (Ling et al., 2021) e 15,5 GPa (Arkoy et al., 2022).

Alguns estudos correlacionam o módulo de elasticidade com a resistência adesiva (El Zohairy et al., 2003) (Aboushelib et al., 2005). O ideal preconizado é a maior similaridade do módulo de elasticidade do material com o do substrato, sendo que tanto um módulo de elasticidade muito maior ou menor podem gerar incompatibilidade e falhas prematuras entre os materiais restauradores (Gul et al., 2020; Wang et al., 2017). Foi provado (Vaan Nort, 1989) que quanto maior o módulo de elasticidade, maior o estresse formada entre a interface adesiva. O presente estudo identificou um valor de módulo de elasticidade do material experimental abaixo do da dentina (15 GPa) (Rees et al., 1993), o que clinicamente pode se mostrar um problema mediante a resistência adesiva e a distribuição de cargas.

Uma revisão sistemática analisou que as propriedades de dureza, resistência à flexão e desgaste costumam sofrer influências do ângulo de impressão e da espessura entre as camadas, embora o mesmo estudo cite a escassez de trabalhos que avaliem as propriedades mecânicas dos materiais impressos (de Paula Lopez et al., 2023).

O presente estudo realizou testes de cor ao longo de 15 dias, em meio a imersão diária em substância pigmentante por 15 minutos/dia, observado uma alteração de cor de $1,86 \Delta E_{00}$ para a resina Grandio Blocs, enquanto outros estudos observaram uma alteração mais significativa por emergirem a resina em vinho sem intervalos ($2,94 \Delta E_{00}$ ao longo de 24 horas; $5,62 \Delta E_{00}$ ao longo de sete dias; $8,69 \Delta E_{00}$ ao longo de 30 dias) (Aydin et al. 2020). A resina Grandio mostrou menor alteração de cor quando comparado a outros materiais resinosos para fresagem (Elsaka et al., 2022), enquanto blocos para fresagem se mostraram superiores quanto à estabilidade de cor quando comparados a resinas compostas diretas ou indiretas laboratoriais (Paolane et al., 2023).

A literatura ainda não é conclusiva quanto à estabilidade de cor de materiais para impressão 3D (Espinhar et al., 2022), embora seja de grande interesse compreender e

estudar tais fatores. Alguns estudos, entretanto, já comparam e indicam uma maior estabilidade de cor dos materiais fresados quando comparados aos materiais impressos (Shin et al., 2020), provavelmente devido ao maior grau de conversão do primeiro. Compreende-se, entretanto, que a espessura das camadas, assim como a orientação da impressão afetam a estabilidade de cor e resistência ao manchamento dos materiais resinosos impressos (Lee et al., 2022).

O valor de rugosidade inicial do grupo controle foram similares ao identificado em outro estudo (Aydin et al., 2021), mantendo-se abaixo, assim como do grupo experimental, antes e após o protocolo de imersão em vinho, dos parâmetros previamente citados de 0,2 μm , relacionado à redução do acúmulo de placa, risco de cárie e inflamação periodontal (Bollen, 1997) e abaixo de 0,3 μm , relacionado ao conforto do paciente, que tem relação com a capacidade de percepção do paciente.

O estudo observou valores de resistência adesiva utilizando dois cimentos resinosos diferentes. Para o cimento Variolink, os valores de resistência adesiva a blocos resinosos são inferiores aos encontrados no presente estudo (Ab-Ghani et al., 2015) (Cekic-Nagas et al., 2016) (Ilie et al. 2019), tanto para o grupo controle quanto para o grupo experimental. Para o cimento Bifix, os valores de adesão se mostraram superiores quando comparados a zircônia Y-TZP (Zanatta et al., 2017), mas inferior ao encontrado para compositos resinosos (Sarahneh et al., 2022), destacando o resultado encontrado para a resina Grandio Blocs (40,24 MPa – 55,74 MPa). Em um outro estudo (Duma et al., 2022), encontrou-se valores superiores da resistência de união entre Grandio Blocs e Bifix QM para uma cimentação com o material após sofrer jateamento, como ocorreu no presente estudo, e valores menores para uma cimentação com ausência do jateamento. Utilizando outra resina para fresagem, Lava Ultimate (3M, St Paul, Minnesota, USA), o estudo (Said et al., 2020) identificou valores de resistência adesiva sem jateamento (17.29 MPa) e com jateamento (20,51 MPa).

Até o momento em que foi escrito este trabalho, não foi encontrado na literatura estudo que analisasse a resistência adesiva entre materiais impressos com a finalidade de restauração final. Entretanto um estudo analisou a resistência de união de materiais impressos com outra finalidade. A resistência adesiva encontrada em um material provisório VarseoSmile Temp material (Bego, Bremen, Germany) e o Variolink foi de 7,4 MPa (Holmer et al., 2019).

No presente estudo, o fator material não afetou a resistência adesiva. Dessa forma, dentro das limitações do estudo, a resistência adesiva ao material experimental pareceu satisfazer as demandas para a sua cimentação, tendo em vista que a resistência adesiva encontrada para ambos os materiais se encontram em valores aceitáveis clinicamente, por estar entre 15 e 25 MPa (Elsaka et al., 2015).

Os valores de resistência adesiva se mostram intimamente dependentes não só do material e do cimento, mas também de prévio condicionamento ácido e de jateamento seguido de silanização, como analisado nessa revisão (Mine et al., 2019).

Todos os resultados obtidos nesse estudo possuem limitações intrínsecas aos testes realizados, além da ainda sucinta literatura a respeito do assunto, todavia o objetivo do trabalho foi analisar a possibilidade da utilização da resina impressa quando comparada a um material já consolidado no mercado. Muito dos resultados obtidos podem também ser influenciados pela forma com que a manufatura aditiva ocorre, tendo em vista que há mais variáveis dentro da impressão dos materiais de manufatura aditiva do que entre os materiais para fresagem, considerando a confecção dos blocos em ambiente industrial e controlado. Alguns resultados apresentados se mostraram promissores, todavia a ainda há espaço para melhorias. Compreender o funcionamento e características dos materiais impressos é de suma importância para tal melhoria.

7 CONCLUSÃO

Com as limitações desse estudo, pode-se concluir que:

- a. As propriedades dos materiais impressos são intimamente dependentes de sua formulação química e estrutural (semelhantes nas duas resinas, mas em porcentagens de peso diferentes).
- b. Comportamentos diferentes nas propriedades mecânicas foram encontrados ao comparar dureza, resistência à flexão e módulo de elasticidade dos materiais, com resultados superiores para a resina fresada.
- c. A resina fresada apresentou maior estabilidade de cor que a impressa.
- d. A distribuição das cargas inorgânicas é mais homogênea na resina fresada, mas pode ter sido responsável pela maior e mais grosseira superfície de desgaste que apresentou. O acúmulo de partículas inorgânicas na resina impressa foi responsável pela iniciação de fraturas.
- e. A rugosidade média dos materiais foi semelhante, mas foram observadas diferenças estatísticas para a rugosidade de profundidade média dos materiais
- f. A resistência de união dependeu do tipo de cimento utilizado.

REFERÊNCIAS

- Ab-Ghani Z, Jaafar W, Foo SF, Ariffin Z, Mohamad D. Shear bond strength of computer-aided design and computer-aided manufacturing feldspathic and nano resin ceramics blocks cemented with three different generations of resin cement. *J Conserv Dent*. 2015 Sep-Oct;18(5):355-9. doi: 10.4103/0972-0707.164028. PMID: 26430296; PMCID: PMC4578177.
- Aboushelib MN, de Jager N, Kleverlaan CJ, Feilzer AJ. Microtensile bond strength of different components of core veneered all-ceramic restorations. *Dent Mater*. 2005 Oct;21(10):984-91. doi: 10.1016/j.dental.2005.03.013. PMID: 16085302.
- Abu-Izze FO, Ramos GF, Borges ALS, Anami LC, Bottino MA. Fatigue behavior of ultrafine tabletop ceramic restorations. *Dent Mater*. 2018 Sep;34(9):1401-1409. doi: 10.1016/j.dental.2018.06.017. Epub 2018 Jun 19. PMID: 29934124.
- Alamoush RA, Salim NA, Elraggal A, Satterthwaite JD, Silikas N. The effect of water storage on nanoindentation creep of various CAD-CAM composite blocks. *BMC Oral Health*. 2023 Aug 7;23(1):543. doi: 10.1186/s12903-023-03145-1. PMID: 37550631; PMCID: PMC10408048.
- Albanchez-González MI, Brinkmann JC, Peláez-Rico J, López-Suárez C, Rodríguez-Alonso V, Suárez-García MJ. Accuracy of Digital Dental Implants Impression Taking with Intraoral Scanners Compared with Conventional Impression Techniques: A Systematic Review of In Vitro Studies. *Int J Environ Res Public Health*. 2022 Feb 11;19(4):2026. doi: 10.3390/ijerph19042026. PMID: 35206217; PMCID: PMC8872312.
- Al-Haj Husain N, Feilzer AJ, Kleverlaan CJ, Abou-Ayash S, Özcan M. Effect of hydrothermal aging on the microhardness of high- and low-viscosity conventional and additively manufactured polymers. *J Prosthet Dent*. 2022 Oct;128(4):822.e1-822.e9. doi: 10.1016/j.prosdent.2022.08.022. Epub 2022 Oct 4. PMID: 36202632.
- Al-Qarni FD, Gad MM. Printing Accuracy and Flexural Properties of Different 3D-Printed Denture Base Resins. *Materials (Basel)*. 2022 Mar 24;15(7):2410. doi: 10.3390/ma15072410. PMID: 35407742; PMCID: PMC8999488.
- Alshamrani AA, Raju R, Ellakwa A. Effect of Printing Layer Thickness and Postprinting Conditions on the Flexural Strength and Hardness of a 3D-Printed Resin. *Biomed Res Int*. 2022 Feb 21;2022:8353137. doi: 10.1155/2022/8353137. PMID: 35237691; PMCID: PMC8885203.
- Alshamrani AA, Raju R, Ellakwa A. Effect of Printing Layer Thickness and Postprinting Conditions on the Flexural Strength and Hardness of a 3D-Printed Resin. *Biomed Res Int*. 2022 Feb 21;2022:8353137. doi: 10.1155/2022/8353137. PMID: 35237691; PMCID: PMC8885203.
- Althahban SA, Alomari AS, Sallam HEDM, Jazaa Y. An investigation of wear, mechanical, and water sorption/solubility behaviors of a commercial restorative composite containing nano-additives. *J Mater Res Technol*. 2023;23:491-502. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2023.01.025>
- Alves L, Rodrigues C, Ramos G, Campos T, Melo R. Wear behavior of silica- infiltrated monolithic zirconia: Effects on the mechanical properties and surface characterization, *Ceram. Int*. 2022 , v. 48, n. 5, p. 6649-6656,

Alves PB, Brandt WC, Neves AC, Cunha LG, Silva-Concilio LR. Mechanical properties of direct and indirect composites after storage for 24 hours and 10 months. *Eur J Dent*. 2013 Jan;7(1):117-22. PMID: 23407869; PMCID: PMC3571519.

Ardu S, Braut V, Gutemberg D, Krejci I, Dietschi D, Feilzer AJ. A long-term laboratory test on staining susceptibility of esthetic composite resin materials. *Quintessence Int*. 2010 Sep;41(8):695-702. PMID: 20657860.

Ardu S, Daher R, Di Bella E, Rossier I, Krejci I. Influence of mechanical and chemical degradation on surface gloss of direct and CAD-CAM resin composite materials. *Am J Dent*. 2020 Jun;33(3):157-160. PMID: 32470242

Arkoy S, Ulusoy M. Effect of Different Surface Treatments on Repair Bond Strength of CAD/CAM Resin-Matrix Ceramics. *Materials (Basel)*. 2022 Sep 12;15(18):6314. doi: 10.3390/ma15186314. PMID: 36143627; PMCID: PMC9505560.

Arocha MA, Mayoral JR, Lefever D, et al. Color stability of siloranes versus methacrylate-based composites after immersion in staining solutions. *Clinical Oral Investigations*. 2013 Jul;17(6):1481-1487. DOI: 10.1007/s00784-012-0837-7. PMID: 22993112.

Aydın N, Karaoğlanoğlu S, Oktay EA, Kılıçarslan MA. Investigating the color changes on resin-based CAD/CAM Blocks. *J Esthet Restor Dent*. 2020; 32: 251– 256. doi: <https://doi.org/10.1111/jerd.12561>

Aydın, N., et al. "Superficial effects of different finishing and polishing systems on the surface roughness and color change of resin-based CAD/CAM Blocks." *Odovtos-International Journal of Dental Sciences* 23.3 (2022): 87-97.doi: DOI:10.15517/ijds.2021.46679

Bayraktar, E. T, Türkmen, C. , Yılmaz Atalı, P. , Tarçın, B. , Korkut, B. & Yaşa, B. (2020). Evaluation of Correlation Between Wear Resistance and Microhardness of Resin Based CAD/CAM Blocks. *Eur. J. Dent*, 4 (1) , 25-30 . doi: 10.35333/ERD.2020.183

Belli R, Geinzer E, Muschweck A, Petschelt A, Lohbauer U. Mechanical fatigue degradation of ceramics versus resin composites for dental restorations. *Dent Mater*. 2014 Apr;30(4):424-32. doi: 10.1016/j.dental.2014.01.003. Epub 2014 Feb 17. Erratum in: *Dent Mater*. 2014 Oct;30(10):1204. PMID: 24553249.

Berli C, Thieringer FM, Sharma N, Müller JA, Dedem P, Fischer J, Rohr N. Comparing the mechanical properties of pressed, milled, and 3D-printed resins for occlusal devices. *J Prosthet Dent*. 2020 Dec;124(6):780-786. doi: 10.1016/j.prosdent.2019.10.024. Epub 2020 Jan 17. PMID: 31955837.

Bollen CM, Lambrechts P, Quirynen M. Comparison of surface roughness of oral hard materials to the threshold surface roughness for bacterial plaque retention: a review of the literature. *Dent Mater*. 1997 Jul;13(4):258-69. doi: 10.1016/s0109-5641(97)80038-3. PMID: 11696906.

Borba M, Della Bona A, Cecchetti D. Flexural strength and hardness of direct and indirect composites. *Braz Oral Res*. 2009 Jan-Mar;23(1):5-10. doi: 10.1590/s1806-83242009000100002. PMID: 19488465.

Bottino, Marco Antônio; FARIA, Renata; VALANDRO, Luiz Felipe. *Percepção - estética em próteses livres de metal em dentes naturais e implantes*. São Paulo: Artes Médicas, 2009. 804 p.

Bowen RL. Use of epoxy resins in restorative materials. *J Dent Res.* 1956 Jun;35(3):360-9. doi: 10.1177/00220345560350030501. PMID: 13332138.

Cailleaux S, Sanchez-Ballester NM, Gueche YA, Bataille B, Soulairol I. Fused Deposition Modeling (FDM), the new asset for the production of tailored medicines. *J Control Release.* 2021 Feb 10;330:821-841. doi: 10.1016/j.jconrel.2020.10.056. Epub 2020 Oct 29. PMID: 33130069.

Çakmak G, Cuellar AR, Donmez MB, Abou-Ayash S, Lu WE, Schimmel M, Yilmaz B. Effect of printing layer thickness on the trueness of 3-unit interim fixed partial dentures. *J Prosthet Dent.* 2022 May 27:S0022-3913(22)00271-2. doi: 10.1016/j.prosdent.2022.04.015. Epub ahead of print. PMID: 35636984.

Campanelli de Moraes D, de Oliveira Abu-Izze F, Rivoli Rossi N, Gallo Olini M, de Assunção E Souza RO, de Siqueira Anzolini Saavedra G, Bottino MA, Marques de Melo Marinho R. Effect of Consecutive Firings on the Optical and Mechanical Properties of Silicate and Lithium Disilicate Based Glass-Ceramics. *J Prosthodont.* 2021 Dec;30(9):776-782. doi: 10.1111/jopr.13306. Epub 2021 Jan 6. PMID: 33320403.

Cekic-Nagas I, Ergun G, Egilmez F, Vallittu PK, Lassila LV. Micro-shear bond strength of different resin cements to ceramic/glass-polymer CAD-CAM block materials. *J Prosthodont Res.* 2016 Oct;60(4):265-273. doi: 10.1016/j.jpor.2016.02.003. Epub 2016 Mar 10. PMID: 26973053.

Chang J, Choi Y, Moon W, Chung SH. Impact of postpolymerization devices and locations on the color, translucency, and mechanical properties of 3D-printed interim resin materials. *J Prosthet Dent.* 2022 Sep 27:S0022-3913(22)00514-5. doi: 10.1016/j.prosdent.2022.08.018. Epub ahead of print. PMID: 36180261.

Colombo M, Poggio C, Lasagna A, Chiesa M, Scribante A. Vickers Micro-Hardness of New Restorative CAD/CAM Dental Materials: Evaluation and Comparison after Exposure to Acidic Drink. *Materials (Basel).* 2019 Apr 16;12(8):1246. doi: 10.3390/ma12081246. PMID: 31014032; PMCID: PMC6515223.

Correia, A.R.M.; Fernandes, J.C.A.S.; Cardoso, J.A.P.; Silva, C.F.C.L. . CAD-CAM: informatics applied to fixed prosthodontics *Rev. odontol. UNESP* 2006, vol.35, n2, p.183- 189

D'haese, R.; Vrombaut, T.; Roeykens, H.; Vandeweghe, S. In Vitro Accuracy of Digital and Conventional Impressions for Full-Arch Implant-Supported Prostheses. *J. Clin. Med.* 2022, 11, 594. <https://doi.org/10.3390/jcm11030594>

Da Rosa Rodolpho PA, Rodolfo B, Collares K, Correa MB, Demarco FF, Opdam NJM, Cenci MS, Moraes RR. Clinical performance of posterior resin composite restorations after up to 33 years. *Dent Mater.* 2022 Apr;38(4):680-688. doi: 10.1016/j.dental.2022.02.009. Epub 2022 Feb 25. PMID: 35221128.

Darvell, B.W.,. Chapter 20 - Cutting, Abrasion and Polishing, Editor(s): B.W. Darvell, In *Woodhead Publishing Series in Biomaterials, Materials Science for Dentistry (Tenth Edition)*, Woodhead Publishing, 2018, Pages 515-539, ISBN 9780081010358, <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-101035-8.50020-1>

de Andrade GS, Augusto MG, Simões BV, Pagani C, Saavedra GSFA, Bresciani E. Impact of simulated toothbrushing on surface properties of chairside CAD-CAM materials: An in vitro study. *J Prosthet Dent.* 2021 Mar;125(3):469.e1-469.e6. doi: 10.1016/j.prosdent.2020.08.028. Epub 2020 Dec 2. PMID: 33279154.

De Nys S, Duca RC, Vervliet P, Covaci A, Boonen I, Elskens M, Vanoirbeek J, Godderis L, Van Meerbeek B, Van Landuyt KL. Bisphenol A release from short-term degraded resin-based dental materials. *J Dent.* 2022 Jan;116:103894. doi: 10.1016/j.jdent.2021.103894. Epub 2021 Nov 17. PMID: 34798152.

de Paula Lopez V, Dias Corpa Tardelli J, Botelho AL, Marcondes Agnelli JA, Cândido Dos Reis A. Mechanical performance of 3-dimensionally printed resins compared with conventional and milled resins for the manufacture of occlusal devices: A systematic review. *J Prosthet Dent.* 2023 Jan 9:S0022-3913(22)00766-1. doi: 10.1016/j.prosdent.2022.12.006. Epub ahead of print. PMID: 36631367.

Della Bona A, Cantelli V, Britto VT, Collares KF, Stansbury JW. 3D printing restorative materials using a stereolithographic technique: a systematic review. *Dent Mater.* 2021 Feb;37(2):336-350. doi: 10.1016/j.dental.2020.11.030. Epub 2021 Jan 19. PMID: 33353734; PMCID: PMC7855936..

Di Fiore A, Meneghello R, Graiff L, Savio G, Vigolo P, Monaco C, Stellini E. Full arch digital scanning systems performances for implant-supported fixed dental prostheses: a comparative study of 8 intraoral scanners. *J Prosthodont Res.* 2019 Oct;63(4):396-403. doi: 10.1016/j.jpjor.2019.04.002. Epub 2019 May 7. PMID: 31072730.

Dimitrova, M.; Corsalini, M.; Kazakova, R.; Vlahova, A.; Barile, G.; Dell'Olio, F.; Tomova, Z.; Kazakov, S.; Capodiferro, S. Color Stability Determination of CAD/CAM Milled and 3D Printed Acrylic Resins for Denture Bases: A Narrative Review. *J. Compos. Sci.* 2022, 6, 201. <https://doi.org/10.3390/jcs6070201>

Donmez MB, Okutan Y. Marginal gap and fracture resistance of implant-supported 3D-printed definitive composite crowns: An in vitro study. *J Dent.* 2022 Sep;124:104216. doi: 10.1016/j.jdent.2022.104216. Epub 2022 Jul 5. PMID: 35803388.

Duma SM, Ilie N. Adhesion to a CAD/CAM Composite: Causal Factors for a Reliable Long-Term Bond. *J Funct Biomater.* 2022 Nov 3;13(4):217. doi: 10.3390/jfb13040217. PMID: 36412858; PMCID: PMC9680384.

El Zohairy AA, De Gee AJ, Mohsen MM, Feilzer AJ. Microtensile bond strength testing of luting cements to prefabricated CAD/CAM ceramic and composite blocks. *Dent Mater.* 2003 Nov;19(7):575-83. doi: 10.1016/s0109-5641(02)00107-0. PMID: 12901980.

Eliades, GC, Vougiouklakis, GJ, Caputo AA. Degree of double bond conversion in light-cured composites. *Dental Materials.* 1987, 3(1), 19–25. doi:10.1016/s0109-5641(87)80055-6

Ellakany P, Al-Harbi F, El Tantawi M, Mohsen C. Evaluation of the accuracy of digital and 3D-printed casts compared with conventional stone casts. *J Prosthet Dent.* 2022 Mar;127(3):438-444. doi: 10.1016/j.prosdent.2020.08.039. Epub 2020 Dec 8. PMID: 33308856.

Elraggal A, R Afifi R, Alamoush RA, Raheem IA, Watts DC. Effect of acidic media on flexural strength and fatigue of CAD-CAM dental materials. *Dent Mater.* 2023 Jan;39(1):57-69. doi: 10.1016/j.dental.2022.11.019. Epub 2022 Dec 7. PMID: 36496258.

Elsaka S, Taibah S, Elnaghy A. Effect of staining beverages and bleaching on optical properties of a CAD/CAM nanohybrid and nanoceramic restorative material. *BMC Oral Health.* 2022 Mar 27;22(1):96. doi: 10.1186/s12903-022-02136-y. PMID: 35346162; PMCID: PMC8958766.

Elsaka SE. Repair bond strength of resin composite to a novel CAD/CAM hybrid ceramic using different repair systems. *Dent Mater J*. 2015;34(2):161-7. doi: 10.4012/dmj.2014-159. Epub 2015 Jan 19. PMID: 25736259.

Espinar C, Della Bona A, Pérez MM, Pulgar R. Color and optical properties of 3D printing restorative polymer-based materials: A scoping review. *J Esthet Restor Dent*. 2022 Sep;34(6):853-864. doi: 10.1111/jerd.12904. Epub 2022 Mar 29. PMID: 35347852; PMCID: PMC9545726.

Esquivel-Upshaw JF, Dieng FY, Clark AE, Neal D, Anusavice KJ. Surface degradation of dental ceramics as a function of environmental pH. *J Dent Res*. 2013 May;92(5):467-71. doi: 10.1177/0022034513484332.

Ferracane JL. Correlation between hardness and degree of conversion during the setting reaction of unfilled dental restorative resins. *Dent Mater*. 1985 Feb;1(1):11-4. doi: 10.1016/S0109-5641(85)80058-0. PMID: 3160625.

Fraga S, Amaral M, Bottino MA, Valandro LF, Kleverlaan CJ, May LG. Impact of machining on the flexural fatigue strength of glass and polycrystalline CAD/CAM ceramics. *Dent Mater*. 2017 Nov;33(11):1286-1297. doi: 10.1016/j.dental.2017.07.019. Epub 2017 Aug 14. PMID: 28818339.

Fraga S, Valandro LF, Bottino MA, May LG. Hard machining, glaze firing and hydrofluoric acid etching: Do these procedures affect the flexural strength of a leucite glass-ceramic? *Dent Mater*. 2015 Jul;31(7):e131-40. doi: 10.1016/j.dental.2015.04.005. Epub 2015 May 2. PMID: 25940916.

Giannetti L, Apponi R, Mordini L, Presti S, Breschi L, Mintrone F, The occlusal precision of milled versus printed provisional crowns, *J Dent*. 2022, Volume 117, , 103924, ISSN 0300-5712,

Giugovaz A, Pérez-Giugovaz MG, Al-Haj Husain N, Barmak AB, Özcan M, Revilla-León M. Flexural strength of aged and nonaged interim materials fabricated by using milling, additive manufacturing, and a combination of subtractive and additive methods. *J Prosthet Dent*. 2022 Sep;128(3):513.e1-513.e11. doi: 10.1016/j.prosdent.2022.05.004. Epub 2022 Aug 5. PMID: 35934575.

Gómez-Polo M, Ortega R, Sallorenzo A, Agustín-Panadero R, Barmak AB, Kois JC, Revilla-León M. Influence of the surface humidity, implant angulation, and interimplant distance on the accuracy and scanning time of complete-arch implant scans. *J Dent*. 2022 Dec;127:104307. doi: 10.1016/j.jdent.2022.104307. Epub 2022 Sep 23. PMID: 36162637.

Grassi EDA, de Andrade GS, Tribst JPM. et al. Fatigue behavior and stress distribution of molars restored with MOD inlays with and without deep margin elevation. *Clin Oral Invest* 2022 26, p. 2513–2526. <https://doi.org/10.1007/s00784-021-04219-6>

Greaves, G., Greer, A., Lakes, R. et al. Poisson's ratio and modern materials. *Nature Mater* 10, 823–837 (2011). <https://doi.org/10.1038/nmat3134>

Grzebieluch W, Kowalewski P, Grygier D, Rutkowska-Gorczyca M, Kozakiewicz M, Jurczyszyn K. Printable and Machinable Dental Restorative Composites for CAD/CAM Application- Comparison of Mechanical Properties, Fractographic, Texture and Fractal Dimension Analysis. *Materials (Basel)*. 2021 Aug 29;14(17):4919. doi: 10.3390/ma14174919. PMID: 34501009; PMCID: PMC8434230.

Grzebieluch W, Mikulewicz M, Kaczmarek U. Resin Composite Materials for Chairside CAD/CAM Restorations: A Comparison of Selected Mechanical Properties. *J Healthc Eng.* 2021 Apr 28;2021:8828954. doi: 10.1155/2021/8828954. PMID: 34007429; PMCID: PMC8099508.

Gul P, Altınok-Uygun L. Repair bond strength of resin composite to three aged CAD/CAM blocks using different repair systems. *J Adv Prosthodont.* 2020 Jun;12(3):131-139. doi: 10.4047/jap.2020.12.3.131. Epub 2020 Jun 18. PMID: 32601532; PMCID: PMC7314627.

Hayama H, Fueki K, Wadachi J, Wakabayashi N. Trueness and precision of digital impressions obtained using an intraoral scanner with different head size in the partially edentulous mandible. *J Prosthodont Res.* 2018 Jul;62(3):347-352. doi: 10.1016/j.jpor.2018.01.003. Epub 2018 Mar 2. PMID: 29502933.

Hirata, R.. Inlays e Onlays em resina composta laboratorial e porcelana: Caso e sequência clínica para execução. *Jornal Brasileiro de Odontologia Clínica.* Curitiba, p. 72-79. 1998.

Holmer L, Othman A, Lühns AK, von See C. Comparison of the shear bond strength of 3D printed temporary bridges materials, on different types of resin cements and surface treatment. *J Clin Exp Dent.* 2019 Apr 1;11(4):e367-e372. doi: 10.4317/jced.55617. PMID: 31110617; PMCID: PMC6522115. <https://doi.org/10.1016/j.jdent.2021.103924>..

Ilie N, Ruse ND. Shear bond strength vs interfacial fracture toughness - Adherence to CAD/CAM blocks. *Dent Mater.* 2019 Dec;35(12):1769-1775. doi: 10.1016/j.dental.2019.10.003. Epub 2019 Nov 2. PMID: 31690506.

Jeong YG, Lee WS, Lee KB. Accuracy evaluation of dental models manufactured by CAD/CAM milling method and 3D printing method. *J Adv Prosthodont.* 2018 Jun;10(3):245-251. doi: 10.4047/jap.2018.10.3.245. Epub 2018 Jun 12. PMID: 29930795; PMCID: PMC6004348.

Kekez IV, Karega GP, Gadža M, Benzon B, Mikić IM, Vukojevic K, & Govorko DK Conventional vs. Digital Dental Impression: Practitioner and Patient Perspectives. *International Journal of Reliable and Quality E-Healthcare (IJRQEH)* 2022., 11(1), 1-13. <http://doi.org/10.4018/ijrqeh.298631>

Kelly JR, Rungruanganunt P, Hunter B, Vailati F. Development of a clinically validated bulk failure test for ceramic crowns. *J Prosthet Dent.* 2010 Oct;104(4):228-38. doi: 10.1016/S0022-3913(10)60129-1. PMID: 20875527.

Keßler A, Dosch M, Reymus M, Folwaczny M. Influence of 3D-printing method, resin material, and sterilization on the accuracy of virtually designed surgical implant guides. *J Prosthet Dent.* 2022 Aug;128(2):196-204. doi: 10.1016/j.prosdent.2020.08.038. Epub 2021 Feb 8. PMID: 33573833.

Kim JH, Pinhata-Baptista OH, Ayres AP, da Silva RLB, Lima JF, Urbano GS, No-Cortes J, Vasques MT, Cortes ARG. Accuracy Comparison among 3D- Printing Technologies to Produce Dental Models. *Appl. Sci.* 2022, 12, 8425. <https://doi.org/10.3390/app12178425>

Koseoglu M, Kahramanoglu E, Akin H. Evaluating the Effect of Ambient and Scanning Lights on the Trueness of the Intraoral Scanner. *J Prosthodont.* 2021 Dec;30(9):811-816. doi: 10.1111/jopr.13341. Epub 2021 Feb 24. PMID: 33533100.

Laborie M, Naveau A, Menard A. CAD-CAM resin-ceramic material wear: A systematic review. *J Prosthet Dent.* 2022 Apr 19:S0022-3913(22)00076-2. doi: 10.1016/j.prosdent.2022.01.027. Epub ahead of print. PMID: 35459543.

Lee EH, Ahn JS, Lim YJ, Kwon HB, Kim MJ. Effect of layer thickness and printing orientation on the color stability and stainability of a 3D-printed resin material. *J Prosthet Dent.* 2022 May;127(5):784.e1-784.e7. doi: 10.1016/j.prosdent.2022.01.024. Epub 2022 Feb 25. PMID: 35221037.

Lee EH, Ahn JS, Lim YJ, Kwon HB, Kim MJ. Effect of post-curing time on the color stability and related properties of a tooth-colored 3D-printed resin material. *J Mech Behav Biomed Mater.* 2022 Feb;126:104993. doi: 10.1016/j.jmbbm.2021.104993. Epub 2021 Nov 24. PMID: 34871954

Lee SJ, Jamjoom FZ, Le T, Radics A, Gallucci GO. A clinical study comparing digital scanning and conventional impression making for implant-supported prostheses: A crossover clinical trial. *J Prosthet Dent.* 2022 Jul;128(1):42-48. doi: 10.1016/j.prosdent.2020.12.043. Epub 2021 Feb 16. PMID: 33602542..

Lee YK, Yu B, Lim HN, Lim JI. Difference in the color stability of direct and indirect resin composites. *J Appl Oral Sci.* 2011;19:154-160. doi: 10.1590/s1678- 77572011000200012. PMID: 21552717; PMCID: PMC4243754.

Lee YS, Kim SY, Oh KC, Moon HS. A Comparative Study of the Accuracy of Dental CAD Programs in Designing a Fixed Partial Denture. *J Prosthodont.* 2022 Mar;31(3):215-220. doi: 10.1111/jopr.13406. Epub 2021 Aug 9. PMID: 34310790.

Leyva Del Rio D, Johnston WM. Optical characteristics of experimental dental composite resin materials. *J Dent.* 2022 Mar;118:103949. doi: 10.1016/j.jdent.2022.103949. Epub 2022 Jan 10. PMID: 35026354.

Ling L, Ma Y, Malyala R. A novel CAD/CAM resin composite block with high mechanical properties. *Dent Mater.* 2021 Jul;37(7):1150-1155. doi: 10.1016/j.dental.2021.03.006. Epub 2021 Apr 10. PMID: 33849756.

Maier E, Grottschreiber C, Knepper I, Opdam N, Petschelt A, Loomans B, Lohbauer U. Evaluation of wear behavior of dental restorative materials against zirconia in vitro. *Dent Mater.* 2022 May;38(5):778-788. doi: 10.1016/j.dental.2022.04.016. Epub 2022 Apr 19. PMID: 35459553.

Manicone P., Angelis P., Rella E., Damis G., D'addona, A., Patient preference and clinical working time between digital scanning and conventional impression making for implant-supported prostheses: A systematic review and meta-analysis. *J Prosthet Dent.* 2022 oct;128(4):589-596. doi: <https://doi.org/10.1016/j.prosdent.2020.11.042>

Manojlovic D, Dramićanin MD, Miletic V, Mitić-Ćulafić D, Jovanović B, Nikolić B. Cytotoxicity and genotoxicity of a low-shrinkage monomer and monoacylphosphine oxide photoinitiator: comparative analyses of individual toxicity and combination effects in mixtures. *Dent Mater.* 2017;33:454-466. doi: 10.1016/j.dental.2017.02.002. Epub 2017 Feb 28. PMID: 28258769.

Mante F, Saleh N, Mante M. Softening patterns of post-cure heat-treated dental composites. *Dent Mater.* 1993 Sep;9(5):325-31. doi: 10.1016/0109-5641(93)90051-q. PMID: 7995485.

May MM;, Sara Fraga, Liliana Gressler May, Effect of milling, fitting adjustments, and hydrofluoric acid etching on the strength and roughness of CAD-CAM glass- ceramics: A systematic review and meta-analysis, *The Journal of Prosthetic Dentistry*, 2021, Apr 14:S0022-3913(21)00134-7. doi: 10.1016/j.prosdent.2021.02.031. Epub ahead of print. PMID: 33865557.

Mayer J, Reymus M, Wiedenmann F, Edelhoff D, Hickel R, Stawarczyk B. Temporary 3D printed fixed dental prosthesis materials: Impact of post printing cleaning methods on degree of conversion as well as surface and mechanical properties. *Int J Prosthodont*. 2021 November/December;34(6):784–795. doi: 10.11607/ijp.7048.

Medina AD, de Paula AB, de Fucio SB, Puppini-Rontani RM, Correr-Sobrinho L, Sinhorette MA. Marginal adaptation of indirect restorations using different resin coating protocols. *Braz Dent J*. 2012;23(6):672-8. doi: 10.1590/s0103-64402012000600008. PMID: 23338259.

Mine A, Kabetani T, Kawaguchi-Uemura A, Higashi M, Tajiri Y, Hagino R, Imai D, Yumitate M, Ban S, Matsumoto M, Yatani H. Effectiveness of current adhesive systems when bonding to CAD/CAM indirect resin materials: A review of 32 publications. *Jpn Dent Sci Rev*. 2019 Nov;55(1):41-50. doi: 10.1016/j.jdsr.2018.10.001. Epub 2018 Nov 23. PMID: 30733844; PMCID: PMC6354283.

No-Cortes J, Son A, Ayres AP, Markarian RA, Attard NJ, Cortes ARG. Effect of varying levels of expertise on the reliability and reproducibility of the digital waxing of single crowns: A preliminary in vitro study. *J Prosthet Dent*. 2022 Jan;127(1):128-133. doi: 10.1016/j.prosdent.2020.10.007. Epub 2020 Nov 14. PMID: 33198990.

Nulty A. A comparison of trueness and precision of 12 3D printers used in dentistry. *BDJ Open*. 2022 May 26;8(1):14. doi: 10.1038/s41405-022-00108-6. PMID: 35618716; PMCID: PMC9135705.

Otto T, Schneider D. Long-term clinical results of chairside Cerec CAD/CAM inlays and onlays: a case series. *Int J Prosthodont*. 2008 Jan-Feb;21(1):53-9. PMID: 18350948.

Paolone G, Mandurino M, De Palma F, Mazzitelli C, Scotti N, Breschi L, Gherlone E, Cantatore G, Vichi A. Color Stability of Polymer-Based Composite CAD/CAM Blocks: A Systematic Review. *Polymers (Basel)*. 2023 Jan 16;15(2):464. doi: 10.3390/polym15020464. PMID: 36679343; PMCID: PMC9865673.

Pongprueksa P, Kuphasuk W, Senawongse P. The elastic moduli across various types of resin/dentin interfaces. *Dent Mater*. 2008 Aug;24(8):1102-6. doi: 10.1016/j.dental.2007.12.008. Epub 2008 Mar 4. PMID: 18304626.

Prause E, Hey J, Beuer F, Schmidt F. Wear resistance of 3D-printed materials: A systematic review, *Dentistry Review* 2022. Jun.2(2): 100051, ISSN *Prosthodont*. (2021), 10.1111/jopr.13400

Revilla-León M, Gómez-Polo M, Park SH, Barmak AB, Özcan M. Adhesion of veneering porcelain to cobalt-chromium dental alloys processed with casting, milling, and additive manufacturing methods: A systematic review and meta-analysis. *J Prosthet Dent*. 2022 Oct;128(4):575-588. doi: 10.1016/j.prosdent.2021.01.001. Epub 2021 Jul 20. PMID: 34294418.

Revilla-León M, Morillo JA, Att W, Özcan M. Chemical Composition, Knoop Hardness, Surface Roughness, and Adhesion Aspects of Additively Manufactured Dental Interim Materials. *J Prosthodont*. 2021 Oct;30(8):698-705. doi: 10.1111/jopr.13302. Epub 2020 Dec 24. PMID: 33290604.

Revilla-León M, Özcan M. Additive Manufacturing Technologies Used for Processing Polymers: Current Status and Potential Application in Prosthetic Dentistry. *J Prosthodont*. 2019 Feb;28(2):146-158. doi: 10.1111/jopr.12801. Epub 2018 Apr 22. PMID: 29682823.

Revilla-León M, Subramanian SG, Att W, Krishnamurthy VR. Analysis of Different Illuminance of the Room Lighting Condition on the Accuracy (Trueness and Precision) of An Intraoral Scanner. *J Prosthodont.* 2021 Feb;30(2):157-162. doi: 10.1111/jopr.13276. Epub 2020 Nov 7. PMID: 33094878.

Rosentritt M, Behr M, Preis V. A critical evaluation of fatigue studies for restorative materials in Dentistry. *Curr Oral Health Rep.* 2016 Jun;3:221–228. <https://doi.org/10.1007/s40496-016-0097-8>.

Ruse ND, Sadoun MJ. Resin-composite blocks for dental CAD/CAM applications. *J Dent Res.* 2014 Dec;93(12):1232-4. doi: 10.1177/0022034514553976. Epub 2014 Oct 24. PMID: 25344335; PMCID: PMC4462808.

Said AM, Zohdy MMM, Morsy TSED. The Effect of Aging and Surface Treatments on Micro-shear Bond Strength of Resin Nano-Ceramic Material using two Resin Cements. *J Dent Oral Sci.* 2020;2(1):1-14. DOI: [https://doi.org/10.37191/Mapsci-2582-3736-2\(1\)-021](https://doi.org/10.37191/Mapsci-2582-3736-2(1)-021)

Salas M., Lucena C., Herrera L.J., Yebra A., Della Bona A., Pérez M.M., Translucency thresholds for dental materials, *Dental Materials*, Volume 34, Issue 8, 2018, Pages 1168-1174, ISSN 0109-5641, <https://doi.org/10.1016/j.dental.2018.05.001>.

Sarahneh O, Günal-Abduljalil B. The effect of silane and universal adhesives on the micro-shear bond strength of current resin-matrix ceramics. *J Adv Prosthodont.* 2021 Oct;13(5):292-303. doi: 10.4047/jap.2021.13.5.292. Epub 2021 Oct 27. PMID: 34777719; PMCID: PMC8558573.

Schlenz MA, Michel K, Wegner K, Schmidt A, Rehmann P, Wöstmann B. Undergraduate dental students' perspective on the implementation of digital dentistry in the preclinical curriculum: a questionnaire survey. *BMC Oral Health.* 2020 Mar 18;20(1):78. doi: 10.1186/s12903-020-01071-0. PMID: 32188456; PMCID: PMC7079522.

Sellan PLB, Campaner LM, Tribst, JPM, de Oliveira Dal Piva AM, de Andrade GS. Borges ALS, Bresciani E, Lanzotti A, Ausiello P. Functional or Nonfunctional Cusps Preservation for Molars Restored with Indirect Composite or Glass-Ceramic Onlays: 3D FEA Study. *Polymers* 2021, 13, 3831. doi: 10.3390/polym13213831.

Seyidaliyeva A, Rues S, Evagorou Z, Hassel AJ, Rammelsberg P, Zenthöfer A. Color stability of polymer-infiltrated-ceramics compared with lithium disilicate ceramics and composite. *J Esthet Restor Dent* 2020;32:43–50.

Shin JW, Kim JE, Choi YJ, Shin SH, Nam NE, Shim JS, Lee KW. Evaluation of the Color Stability of 3D-Printed Crown and Bridge Materials against Various Sources of Discoloration: An In Vitro Study. *Materials (Basel).* 2020 Nov 26;13(23):5359. doi: 10.3390/ma13235359. PMID: 33255922; PMCID: PMC7731151.

Sidhom M, Zaghloul H, Mosleh IE, Eldwakhly E. Effect of Different CAD/CAM Milling and 3D Printing Digital Fabrication Techniques on the Accuracy of PMMA Working Models and Vertical Marginal Fit of PMMA Provisional Dental Prosthesis: An In Vitro Study. *Polymers (Basel).* 2022 Mar 22;14(7):1285. doi: 10.3390/polym14071285. PMID: 35406159; PMCID: PMC9003362.

Silva EA, Simionato AA, Faria ACL, Bonfante EA, Rodrigues RCS, Ribeiro RF. Mechanical Properties, Wear Resistance, and Reliability of Two CAD-CAM Resin Matrix Ceramics. *Medicina.* 2023; 59(1):128. <https://doi.org/10.3390/medicina59010128>

Singh V. Rapid prototyping, materials for RP and applications of RP. *Int J Eng Res Sci* 2013;4:473–480

Souza EMD, Silva e Souza Júnior MH, Lopes FAM, Osternack FHR. Facetas estéticas indiretas em porcelana. *Jornal Brasileiro de Dentística e Estética*, Curitiba, v. 1, n. 3, p. 256-262, jul./set. 2002.

Strini BS, Marques JFL, Pereira R, Sobral-Souza DF, Pecorari VGA, Liporoni PCS, Aguiar FHB. Comparative Evaluation of Bulk-Fill Composite Resins: Knoop Microhardness, Diametral Tensile Strength and Degree of Conversion. *Clin Cosmet Investig Dent*. 2022 Aug 4;14:225-233. doi: 10.2147/CCIDE.S376195. PMID: 35957701; PMCID: PMC9359371.

Sulaiman TA, Suliman AA, Mohamed EA, Rodgers B, Altak A, Johnston WM. Optical properties of bisacryl-, composite-, ceramic- resin restorative materials: An aging simulation study. *J Esthet Restor Dent*. 2021 Sep;33(6):913-918. doi: 10.1111/jerd.12653. Epub 2020 Sep 8. PMID: 32896995.

Takada D, Kumagai D, Fusejima F, Ueno T, Kariya S. Wear Resistance Comparison of 3D-Printed Composite Resin Material, *Dent Mater*.2022;38(1) Page 42, ISSN 0109-5641, <https://doi.org/10.1016/j.dental.2021.12.099>.

Turkyilmaz I, Wilkins GN, Yun S. Moving from analogue to digital workflows in dentistry: Understanding undermilling and overmilling as detrimental factors in fabricating CAD/CAM crowns. *Prim Dent J*. 2022 Jun;11(2):59-61. doi: 10.1177/20501684221100938. PMID: 35658655.

Van Noort R, Noroozi S, Howard IC, Cardew G. A critique of bond strength measurements. *J Dent*. 1989 Apr;17(2):61-7. doi: 10.1016/0300-5712(89)90131-0. PMID: 2659632.

Venturini AB, Prochnow C, Pereira GKR, Segala RD, Kleverlaan CJ, Valandro LF. Fatigue performance of adhesively cemented glass-, hybrid- and resin-ceramic materials for CAD/CAM monolithic restorations. *Dent Mater*. 2019 Apr;35(4):534-542. doi: 10.1016/j.dental.2019.01.013. Epub 2019 Jan 25. PMID: 30686711.

Vichi A, Goracci C, Carrabba M, Tozzi G, Louca C. Flexural resistance of CAD-CAM blocks. Part 3: Polymer-based restorative materials for permanent restorations. *Am J Dent*. 2020 Oct;33(5):243-247. PMID: 33017526.

Wang H, Cui B, Li J, Li S, Lin Y, Liu D, Li M. Mechanical properties and biocompatibility of polymer infiltrated sodium aluminum silicate restorative composites. *J. Adv. Ceram*. 2017, 6: 73–79 doi:<https://doi.org/10.1007/s40145-016-0214-0>

Wendler M, Kaizer MR, Belli R, Lohbauer U, Zhang Y. Sliding contact wear and subsurface damage of CAD/CAM materials against zirconia. *Dent Mater*. 2020 Mar;36(3):387-401. doi: 10.1016/j.dental.2020.01.015. Epub 2020 Jan 30. PMID: 32007314; PMCID: PMC7042091.

Yamamoto T, Nakamura Y, Nishide A, Kubota Y, Momoi Y. Contraction stresses in direct and indirect composite restorations compared by crack analysis. *J Adhes Dent*. 2013 Feb;15(1):47-54. doi: 10.3290/j.jad.a28171. PMID: 23534000.

Yin R, Jang YS, Lee MH, Bae TS. Comparative Evaluation of Mechanical Properties and Wear Ability of Five CAD/CAM Dental Blocks. *Materials (Basel)*. 2019 Jul 12;12(14):2252. doi: 10.3390/ma12142252. PMID: 31336968; PMCID: PMC6678169.

Yu B, Lee YK. Comparison of stabilities in translucency, fluorescence and opalescence of direct and indirect composite resins. *Eur J Esthet Dent*. 2013 Summer;8(2):214-25. PMID: 23712342.

Yuzbasioglu E, Kurt H, Turunc R, Bilir H. Comparison of digital and conventional impression techniques: evaluation of patients' perception, treatment comfort, effectiveness and clinical outcomes. *BMC Oral Health*. 2014 Jan 30;14:10. doi: 10.1186/1472-6831-14-10. PMID: 24479892; PMCID: PMC3913616.

Zheng Z, He Y, Ruan W, Ling Z, Zheng C, Gai Y, Yan W. Biomechanical behavior of endocrown restorations with different CAD-CAM materials: A 3D finite element and in vitro analysis. *J Prosthet Dent*. 2021 Jun;125(6):890-899. doi: 10.1016/j.prosdent.2020.03.009. Epub 2020 May 26. PMID: 32471627.