

UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
Faculdade de Ciências da Saúde
Programa de Pós-Graduação em Odontologia



Dissertação de Mestrado

Estabilidade de cor, microdureza, sorção e solubilidade de resina impressa 3D
para coroas provisórias

Jéssica Jacovetti Mesquita

Brasília, janeiro de 2024

Jéssica Jacovetti Mesquita

Estabilidade de cor, microdureza, sorção e solubilidade de resina impressa 3D
para coroas provisórias

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Odontologia, da Faculdade de Ciências da Saúde da Universidade de Brasília, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Odontologia

Prof. Orientador: **Prof. Dra. Liliana Vicente Melo de Lucas Rezende.**

Brasília
2024

Jéssica Jacovetti Mesquita

**Estabilidade de cor, microdureza, sorção e solubilidade de resina impressa
3D para coroas provisórias.**

Dissertação aprovada, como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre em Odontologia, Programa de Pós-Graduação em Odontologia da Faculdade de Ciências da Saúde da Universidade de Brasília

Data da defesa: 19/01/2024

Banca examinadora:

Prof. Dra. Liliana Vicente Melo de Lucas Rezende

Prof. Dr. Lucas Fernando Tabata

Prof. Dr. Sicknan Soares Rocha

Ao meu marido, João
Aos meus pais, Roberto e Simone
Aos meus amigos, Lucas e Isabela

AGRADECIMENTOS

À Prof.^a Dr.^a Liliana Vicente Melo de Lucas Rezende, minha querida orientadora. Sua humanidade e infinita paciência foram cruciais ao longo desta jornada acadêmica. Agradeço por sua compreensão inabalável, orientação precisa e pela maneira dedicada como liderou este caminho de descobertas e aprendizado. Sua paciência constante foi uma fonte de inspiração e conforto, transformando desafios em oportunidades de crescimento. Muito obrigada por ser mais do que uma orientadora, mas uma guia valiosa que fez desta jornada uma experiência significativa e recompensadora.

À Trion 3D, pelo apoio inestimável e pela parceria durante o processo de impressão dos espécimes em resina. A parceria sólida e a dedicação da equipe da Trion 3D foram fundamentais para o sucesso desta pesquisa, proporcionando resultados de alta qualidade e confiabilidade.

À Prof.^a Ana Paula Ribeiro do Vale, pelo generoso empréstimo do Easyshade. Sua contribuição foi essencial para a realização dos testes de cor, agregando um valor crucial à pesquisa. Sem o acesso a esse aparelho, não seria possível alcançar os resultados abrangentes e preciosos que esta dissertação apresenta.

Aos professores do Departamento de Pós-graduação em Odontologia da UnB, principalmente à Professora Fernanda Garcia, Professores Leonardo Cunha e Rodrigo Medeiros, pelo comprometimento excepcional em suas respectivas áreas. Cada um de vocês desempenhou um papel único ao oferecer ideias valiosas, insights, e orientação durante todas as etapas deste trabalho. Agradeço por compartilharem generosamente seu conhecimento e experiência, contribuindo significativamente para o enriquecimento desta pesquisa. Este reconhecimento não apenas destaca o profissionalismo exemplar de vocês, mas também reflete a admirável dedicação ao desenvolvimento acadêmico e científico de seus alunos. Muito obrigada.

Aos alunos de graduação em Odontologia e iniciação científica, Thiago Meckael e Hugo Rigquete, pela inestimável contribuição na realização dos testes desta pesquisa. Seu comprometimento, dedicação e habilidades foram essenciais para o desenvolvimento e conclusão deste trabalho. A colaboração de vocês não apenas facilitou a execução dos experimentos, mas também

enriqueceu o processo com perspectivas frescas e entusiasmo. Tenho plena confiança de que seguirão caminhos de excelência como futuros pesquisadores.

À Fundação de Apoio à Pesquisa do Distrito Federal (FAPDF), que desempenhou um papel fundamental no apoio e no desenvolvimento desta pesquisa. O suporte financeiro fornecido pela FAPDF foi essencial para a realização desta dissertação, permitindo avanços significativos na área e contribuindo para o enriquecimento do conhecimento científico. Agradeço pelo comprometimento contínuo da FAPDF com o avanço da pesquisa e da ciência em nossa região.

"Breathe in, breathe through, breathe deep, breathe out"

Taylor Swift

RESUMO

Objetivo: Avaliar as propriedades de cinética de difusão da água: sorção (SO) e solubilidade (SL); estabilidade de cor; e microdureza de diferentes materiais poliméricos utilizados para coroas provisórias convencionais e impressas.

Materiais e Métodos: Foram utilizadas resinas impressas, acrílica autopolimerizável e bisacrílica. Para o teste de SO e SL, os espécimes em formato de disco (15 mm x 1 mm) foram divididos (n=5), nos grupos: resina para impressão (RI), resina acrílica autopolimerizável (RA) e resina bisacrílica (RB). O valor do CD em água (%) foi realizado com o cálculo da soma da sorção e solubilidade. Para o teste de estabilidade de cor, os espécimes de cada material, em formato de disco (15x1mm), foram imersos em água destilada (n=30), vinho tinto (n=30) e café (n=30), por um período de 7, 14 e 21 dias e, em seguida, avaliadas com o espectrofotômetro Easyshade® (VITA). Para o teste de microdureza Vickers (n=5), foram obtidas 3 medidas com carga de 25 gF por 15 segundos. Os dados obtidos foram submetidos à análise de Variância (ANOVA-1 critério) para os testes de microdureza, sorção e solubilidade, e ANOVA (2 critérios), e post-hoc de Tukey ($p < 0,05$). Resultados: Não foram encontradas diferenças estatísticas significativas para os testes de microdureza ($p = 0,106$) e de solubilidade ($p = 0,932$), em relação aos tipos de resina. Tanto para a sorção como para o coeficiente de difusão, houve diferença estatística ($p < 0,05$) entre os materiais analisados. A imersão em água destilada não provocou alteração de cor significativa nas três resinas, independente do tempo de imersão. Na RA, nas imersões em vinho e café, não houve alteração de cor significativa entre 14 e 21 dias, que foram diferentes de 7 dias. A RB diferiu da RA somente na imersão em café, em que houve alteração significativa entre os três períodos 7, 14 e 21 dias. Na RI houve diferença significativa entre os três períodos de imersão, tanto em vinho como em café. Os três materiais poliméricos testados apresentam microdureza e solubilidade semelhantes. A resina para impressão mostrou maior alteração de cor ao longo do tempo de imersão no vinho tinto e no café e maior sorção e coeficiente de difusão, em relação às resinas acrílica autopolimerizável e bisacrílica.

Palavras-chave: impressão tridimensional, coroa temporária, sorção, solubilidade, estabilidade de cor, microdureza

ABSTRACT

Objective: To evaluate the water diffusion kinetic properties: sorption (SO) and solubility (SL); color stability; and microhardness of different polymeric materials used for conventional and 3D printed provisional crowns. Materials and Methods: Printed resins, autopolymerizing acrylic resin, and bis-acryl resin were utilized. For the SO and SL tests, disc-shaped specimens (15 mm x 1 mm) were divided (n=5) into groups: print resin (RI), autopolymerizing acrylic resin (RA), and bis-acryl resin (RB). The water sorption value (%) was calculated as the sum of sorption and solubility. For the color stability test, specimens of each material, in disc format (15x1mm), were immersed in distilled water (n=30), red wine (n=30), and coffee (n=30), for periods of 7, 14, and 21 days, then evaluated using the Easyshade® spectrophotometer (VITA). For the Vickers microhardness test (n=5), 3 measurements were taken with a load of 25 gF for 15 seconds. The obtained data underwent Analysis of Variance (ANOVA-1 criterion) for microhardness, sorption, and solubility tests, and ANOVA (2 criteria) and Tukey's post-hoc test ($p < 0.05$). Results: No statistically significant differences were found for microhardness ($p = 0.106$) and solubility ($p = 0.932$) tests among the resin types. Both for sorption and diffusion coefficient, there was statistical difference ($p < 0.05$) among the materials analyzed. Immersion in distilled water did not cause significant color change in the three resins, regardless of the immersion time. In the RA, there was no significant color change between 14 and 21 days in wine and coffee immersion, which differed from 7 days. RB differed from RA only in coffee immersion, where there was a significant change between the three periods 7, 14, and 21 days. In RI, there was a significant difference among the three immersion periods, both in wine and coffee. The three tested polymeric materials showed similar microhardness and solubility. The print resin showed greater color change over time in red wine and coffee immersion and higher sorption and diffusion coefficient compared to autopolymerizing acrylic and bis-acryl resins.

Keywords: Three-dimensional printing, temporary crown, sorption, solubility, color stability, microhardness.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Desenho de estudo

Figura 2: (A) Matriz metálica de aço inoxidável com 1,0 mm de espessura; (B) Espécime em formato de disco com 15 mm de diâmetro.

Figura 3: Confeção de amostras em resina bisacrílica.

Figura 4: (A) Espécimes após impressão 3D em angulação de 90°C; (B) Espécimes em câmara de luz UV.

Figura 5: Preparação dos espécimes para o teste de sorção e solubilidade. (A) Estufa a 37°C; (B) Pesagem do espécime a cada 24h até sua estabilização; (C) Espécimes fixados em um fio de nylon na tampa de recipiente acrílico com água destilada; (D) Recipientes acomodados em uma dessecadora com sílica em gel.

Figura 6: Espectrofotômetro Easyshade® (VITA) posicionado sobre corpo de prova.

Figura 7: Soluções com 10ml de água destilada, vinho tinto e café, respectivamente.

LISTA DE QUADROS

Quadro 1: Resinas utilizadas, composição, número do lote e fabricante.

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Resultado de one-way anova dos testes de microdureza superficial, sorção, solubilidade e coeficiente de difusão.

Tabela 2: Análise de variância (ANOVA) com medidas repetidas de dois fatores de análise do tipo de imersão e tempo na estabilidade de cor das amostras confeccionadas com resina acrílica autopolimerizável.

Tabela 3: Análise de variância (ANOVA) com medidas repetidas de dois fatores de análise do tipo de imersão na estabilidade de cor das amostras confeccionadas com resina bisacrílica.

Tabela 4: Análise de variância (ANOVA) com medidas repetidas de dois fatores de análise do tipo de imersão e tempo na estabilidade de cor das amostras confeccionadas com resina para impressão.

Tabela 5: Análise de variância (ANOVA) com medidas repetidas de dois fatores de análise do tipo de resina e tempo na estabilidade de cor, independentemente do tipo de imersão.

Tabela 6: Valores médios (desvio padrão) e resultado do teste de Tukey para os testes que demonstraram diferença estatisticamente significativa no 1-way ANOVA.

Tabela 7: Valores médios (desvio padrão) para estabilidade de cor dos tipos de resina de acordo com o tipo de imersão e tempo.

Tabela 8 : Valores médios e desvio padrão para estabilidade de cor de acordo com o tipo de resina e tempo, independentemente do tipo de imersão.

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

3D – Tridimensional
MA – Manufatura Aditiva
ANOVA – Análise de Variância
ASTM – Seção Americana da Organização Internacional para Normalização de Testes e Materiais
Bis-GMA - Bisfenol-A-glicidil metacrilato
CIE – Comissão Internacional de Iluminação
CR2 – Canon Raw
DLP – Litografia de Projeção Digital
EUA – Estados Unidos da América
FDM – Modelagem por Deposição Fundida
ISO - International Organization for Standardization
MV – Microdureza Vickers
M – Massa
ME – Extrusão de Material
NEF – Nikon Electronic Format
PBF – Fusão por Leito de Pó
PMMA – Polimetil metacrilato
RA – Resina Acrílica Autopolimerizável
RB – Resina Bisacrílica
RI – Resina para Impressão
SL - Solubilidade
SLA – Estereolitografia
SO – Sorção
STL – Standard Tessellation Language
TEGDMA - trietilenoglicol dimetacrilato
UV – Ultravioleta
V – Volume
 μm - Micrômetros

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	14
1.1 JUSTIFICATIVA.....	15
1.2 OBJETIVO	16
2. REVISÃO DE LITERATURA	17
2.2 COROAS PROVISÓRIAS	17
2.2.1 RESINAS ACRÍLICAS AUTOPOLIMERIZÁVEIS.....	18
2.2.2 RESINAS BISACRÍLICAS.....	19
2.2.3 RESINAS PARA IMPRESSÃO.....	20
2.2.3.1 TIPOS DE MANUFATURA.....	21
2.2 TESTES LABORATORIAIS	23
2.2.1 SORÇÃO E SOLUBILIDADE	23
2.2.2 ESTABILIDADE DE COR EM ODONTOLOGIA.....	24
2.2.2.1 CIELAB:	25
2.2.2.2 ESPECTROFOTÔMETRO	25
2.2.3 MICRODUREZA DE VICKERS.....	26
3. MATERIAIS E MÉTODOS	27
3.1 PREPARAÇÃO E MANIPULAÇÃO DAS AMOSTRAS.....	27
3.2 TESTES LABORATORIAIS.....	31
3.2.1 ANÁLISE DE SORÇÃO E SOLUBILIDADE.....	31
3.2.2 ANÁLISE DA ESTABILIDADE DE COR	33
3.2.3 ANÁLISE DE MICRODUREZA DE VICKERS	34
3.3 ANÁLISE ESTATÍSTICA	35
4. RESULTADOS	36
5. DISCUSSÃO	41
6. CONCLUSÃO	46
7. REFERÊNCIAS	47
8. PRESS RELEASE	55
9. APÊNDICE	56

1. INTRODUÇÃO

Um dos estágios no tratamento de reabilitação protética envolve a utilização de próteses provisórias ou transitórias. Estas próteses desempenham papéis essenciais, como reestabelecimento da oclusão e fonação, manutenção da saúde dos tecidos periodontais, o reestabelecimento da dimensão vertical, melhoria da estética do paciente, avaliação da cor, restauração da forma e contorno dos dentes e a prevenção da movimentação dos dentes adjacentes [1, 2, 3].

Os materiais mais comuns para a confecção de coroas provisórias são as resinas acrílicas e as resinas bisacrílicas [4], mas atualmente, com o avanço da tecnologia, a resina para impressão vem sendo utilizada como uma opção de material, tanto na confecção de coroas provisórias [5], impressão de guias cirúrgicos [6], modelos diagnósticos [7] e placas oclusais [8].

Atualmente, as impressoras 3D já são acessíveis e a tecnologia mais utilizada na odontologia, e principalmente na confecção de coroas provisórias, é a Digital Light Processing (DLP) por trazer maiores detalhes na peça. [9,10, 20]

Entretanto há uma escassez de estudos que comparem as propriedades mecânicas e óticas de materiais de impressão 3D com materiais convencionais, como a resina acrílica autopolimerizável e a resina bisacrílica [11, 12].

Os materiais utilizados para confecção de restaurações provisórias precisam de boas propriedades mecânicas para resistir às tensões da mastigação [13]. Para avaliar características de cada material e simular algumas situações que acontecem na cavidade bucal, é importante a realização de testes laboratoriais. Normalmente, para testar a dureza da superfície, é realizado o teste de microdureza, que tem como objetivo avaliar a capacidade do material em resistir à deformação plástica por penetração [14]

A capacidade de absorver água, por exemplo, é uma propriedade importante das resinas acrílicas autopolimerizáveis, que pode resultar em alterações de volume na peça e influenciar na resistência do material [15]. Assim sendo, os ensaios de sorção e solubilidade têm o propósito de cumprir com esta função, mas sozinhos não são suficientes para representar a complexidade do

processo dinâmico que acontece na cavidade bucal [16], o que torna necessário o cálculo da absorção da água, chamado de coeficiente de difusão.

Além disso, os materiais precisam ter propriedades óticas e de cor que não apresentem muita alteração ao se ingerir ou consumir certos tipos de alimentos, principalmente por replicar a aparência natural dos dentes [17]. Para avaliar a estabilidade de cor em peças protéticas, existem diversas abordagens. Uma delas envolve a imersão das amostras em soluções por um determinado período de tempo, seguida pelo uso de um protocolo fotográfico ou da utilização de um espectrofotômetro específico para essa avaliação [18].

Dessa forma, o objetivo desse estudo *in vitro* foi avaliar e comparar a sorção e solubilidade, estabilidade de cor e microdureza de diferentes materiais poliméricos utilizados para a confecção de coroas provisórias convencionais e impressas.

1.1 JUSTIFICATIVA

O uso de resina para impressão 3D para coroas provisórias é uma prática relativamente nova na odontologia. Embora estes materiais apresentem vantagens, como a capacidade de serem produzidos em tempo reduzido e a possibilidade de personalização, os estudos que avaliam o comportamento desses materiais a longo prazo em ambiente bucal ainda são limitados. Devido ao ambiente complexo e dinâmico da cavidade oral, o desempenho de um material polimérico pode ser influenciado por fatores como a umidade, a temperatura, a presença de bactéria, dentre outros. Portanto, é fundamental que sejam realizados testes laboratoriais para avaliar sorção e solubilidade, estabilidade de cor e microdureza desses materiais em ambiente simulado, a fim de prever o comportamento desses materiais em uso clínico. Dessa forma, a realização desses estudos é essencial para garantir que os polímeros impressos em 3D sejam seguros e eficazes como material para coroas provisórias.

1.2 OBJETIVO

Avaliar sorção e solubilidade, estabilidade de cor e microdureza de diferentes materiais poliméricos utilizados na confecção de coroas provisórias convencionais e impressas.

Objetivos específicos

1. Comparar a sorção e solubilidade das resinas acrílica autopolimerizável, bisacrílica e para impressão 3D.
2. Avaliar a estabilidade de cor das diferentes resinas testadas, após imersão em água destilada, vinho tinto e café, no período de 7, 14 e 21 dias.
3. Realizar uma avaliação comparativa da microdureza entre as resinas acrílica autopolimerizável, bisacrílica e para impressão 3D.

Hipóteses Nulas:

1. Não haverá diferença na sorção e solubilidade para as resinas avaliadas
2. Não haverá diferença na estabilidade de cor para as resinas avaliadas, após o período de imersão em soluções (água, vinho tinto e café).
3. Não haverá diferença entre a microdureza para as resinas avaliadas.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.2 COROAS PROVISÓRIAS

As coroas provisórias, temporárias ou transitórias desempenham diversos papéis cruciais em um tratamento de reabilitação protética, incluindo a proteção da polpa dentária, a preservação dos espaços, a manutenção da função mastigatória, o aprimoramento estético para o paciente e a conservação da integridade do contorno gengival [19, 20].

Podem ser confeccionadas de duas maneiras: diretamente sobre um dente preparado ou de forma indireta, fora da boca, a partir de um modelo obtido por meio de uma moldagem ou escaneamento digital [21]. O método indireto, embora mais seguro e mais confortável para os pacientes, resultando em coroas de maior qualidade do que o método direto, pode prolongar o tempo no consultório devido ao período necessário para sua confecção em um laboratório especializado [21].

As coroas provisórias são frequentemente produzidas utilizando resinas auto polimerizáveis de polimetilmetacrilato (PMMA) ou resinas bisacrílicas devido à sua facilidade de fabricação, confiabilidade e custo acessível [20]. Hoje em dia, nos consultórios odontológicos, está se tornando cada vez mais comum a adoção de coroas provisórias fabricadas por meio da impressão 3D. [20, 22, 23, 24]

No entanto, persistem alguns desafios associados a essas coroas transitórias. Com frequência, podem se soltar ou sofrer fraturas ao longo do tratamento, necessitando de reparos ou reembasamentos. Além disso, podem ocorrer danos químicos devido à presença de monômeros residuais, danos térmicos decorrentes de reações exotérmicas e danos mecânicos resultantes da contração de polimerização [19, 21]

2.2.1 RESINAS ACRÍLICAS AUTOPOLIMERIZÁVEIS

A resina acrílica autopolimerizável (RA) é composta por polímeros à base de metacrilato, e é apresentada nas formas de pó e líquido. O pó consiste em esferas pré-polimerizadas de polimetilmetacrilato e uma pequena quantidade de peróxido de benzóila. O líquido é composto em sua grande parte por um metilmetacrilato não polimerizado, com pequenas quantidades de hidroquinona [25]. A presença de hidroquinona evita a polimerização ou solidificação prematura do líquido durante o armazenamento [26].

É um polímero amplamente utilizado na área biomédica devido à sua durabilidade, biocompatibilidade e transparência. É empregado em várias aplicações, incluindo na odontologia, onde é usado para fabricar dentes artificiais, próteses, coroas provisórias e outros dispositivos [27].

As propriedades dos materiais à base de PMMA variam dependendo do processo de polimerização e cura. Quando devidamente polimerizados, esses materiais exibem boa biocompatibilidade e características físicas adequadas para o uso odontológico, como baixa densidade ($1,18 \text{ g/cm}^3$), alta transmissão de luz (92% de visibilidade) e cor transparente. São materiais amorfos com uma temperatura de transição vítrea (T_g) entre 95° e 125° . No entanto, o PMMA tem uma condutividade térmica relativamente baixa, o que pode ser desvantajoso no caso de próteses dentárias, pois a dissipação lenta de calor pode causar rachaduras na superfície. Além disso, a baixa condutividade térmica pode afetar a sensibilidade à temperatura dos alimentos em comparação com próteses metálicas, que possuem alta condutividade térmica. [27, 28, 29]

Apesar de suas vantagens, o PMMA tem algumas limitações, como a falta de propriedades antimicrobianas e sua tendência a absorver água, o que pode comprometer sua resistência [27]. Devido à natureza polar do PMMA, as moléculas de água penetram nas cadeias poliméricas e agem como plastificantes [30]. A presença de moléculas de água infiltradas pode resultar na expansão do PMMA e impactar sua estabilidade dimensional. Portanto, é desejável que a absorção de água (bem como a solubilidade) seja mínima. Geralmente, a absorção fica em torno de $0,7 \text{ mg/cm}^2$, o que atende aos requisitos estabelecidos pela ISO 20795-1 [30, 49].

Materiais odontológicos precisam de boas propriedades mecânicas para resistir às tensões da mastigação [13]. O PMMA, usado nessas aplicações, possui um limite de resistência à flexão de cerca de 90 MPa, mas isso pode variar devido a fatores como o processo de cura e o grau de polimerização. Além disso, o PMMA tem baixa resistência ao desgaste em comparação com outros materiais odontológicos [31], relacionada à dureza superficial de cerca de 300 MPa, inferior à de ligas metálicas e porcelanas [32].

2.2.2 RESINAS BISACRÍLICAS

A resina bisacrílica (RB) é um material composto por unidades monoméricas bifuncionais que, quando ativadas, formam uma rede polimérica tridimensional de alta densidade [25]. Possui boas propriedades mecânicas, resultado estético adequado, baixa contração de polimerização, biocompatibilidade e facilidade de manuseio, visto que a apresentação do material é uma automistura [33].

As resinas bisacrílicas estão se tornando mais populares como alternativa às resinas acrílicas em aplicações provisórias devido às suas notáveis propriedades mecânicas e facilidade de uso. É frequentemente recomendada para procedimentos estéticos, desempenhando um papel crucial como material restaurador temporário em tratamentos como facetas, coroas, inlays e onlays. Sua composição compreende tanto componentes orgânicos quanto inorgânicos [26].

Na matriz orgânica, são encontrados monômeros bifuncionais que contribuem para a estabilidade dimensional e a uniformidade do polímero resultante. Além disso, os derivados do Bis-acryl incluem elementos hidrofóbicos que reduzem a absorção de água, promovendo, assim, maior estabilidade tanto em termos de dimensionalidade quanto de cor. Os principais monômeros empregados nesse contexto são o bisfenol-A-glicidil metacrilato (Bis-GMA) e o trietilenoglicol dimetacrilato (TEGDMA) [26].

Elas oferecem vantagens, como maior estabilidade funcional, boa adaptação marginal ao término do preparo, estética favorável, facilidade de

aplicação, baixa necessidade de polimento, baixa exotermicidade e baixa contração de polimerização [26, 34]. No entanto, apresentam desvantagens, como baixa estabilidade de cor, menor resistência às forças oclusais e a necessidade de moldes para preparação. Além disso, a dificuldade em ajustar a consistência das resinas bisacrílicas e o potencial desperdício de material causados pelos cartuchos de automistura são agravados pelo fato de terem um custo mais elevado em comparação com as resinas acrílicas [34].

2.2.3 RESINAS PARA IMPRESSÃO

Na manufatura aditiva (MA), também conhecida como impressão 3D, o principal material polimérico utilizado é a resina para impressão (RI). Normalmente, essas resinas são compostas por resina epóxi ou monômeros acrílicos/metacrílicos, juntamente com aditivos como fotoiniciadores e absorventes UV [35]. Durante o processo de cura da resina, ocorre a contração de polimerização, um problema que pode resultar em desadaptação da peça, baixa precisão e até mesmo questões de empenamento da peça [36, 37, 38].

Além disso, é mais indicado que a resina possua propriedades mecânicas adequadas para garantir uma boa capacidade de impressão e precisão, especialmente considerando as diversas aplicações odontológicas; um material de resina com baixa contração, excelente capacidade de impressão e precisão dimensional é altamente valorizado. [35]

A resistência do material também é afetada pela espessura da camada de impressão 3D. No estudo conduzido por Alshamrani et al. (2022) [39], diferentes resinas com diversas espessuras de camadas foram analisadas. Os resultados indicaram que as impressões 3D com camadas de 100 μm apresentaram uma resistência à flexão superior em comparação com aquelas de 25 μm e 50 μm . No entanto, todos os grupos demonstraram resistência acima de 50 MPa, que é limite mínimo aceitável para materiais provisórios em termos de resistência à flexão.

O ajuste marginal e interno da coroa provisória é igualmente influenciado pela angulação da impressão. Conforme investigado por Ryu et al. (2020) [40],

diversas angulações de impressão foram avaliadas, em uma camada de 50 μm . Os resultados indicaram que os ângulos de 150° e 180° foram os mais recomendados para alcançar um ajuste marginal e interno ideal na tecnologia DLP. A angulação da impressão na tecnologia DLP também é abordada de forma diferente no estudo de Osman et al. (2017) [41]. Nesse estudo, sugere-se um ângulo de 135° como uma alternativa viável para otimizar o ajuste marginal e interno das coroas provisórias.

Uma fase fundamental no processo de fabricação de resinas impressas é a lavagem com álcool isopropílico 95% após a impressão, e diversos fabricantes recomendam diferentes durações para esses banhos. Em um estudo conduzido por Lee et al. (2021) [42], observou-se que a precisão das superfícies externas, internas e marginais das coroas provisórias foram significativamente influenciadas pelo tempo de enxágue. Conforme destacado na pesquisa, as coroas provisórias tratadas com um período de 10 minutos demonstraram uma elevada precisão nesses aspectos.

2.2.3.1 TIPOS DE MANUFATURA

As melhorias nas formas de fabricação com ajuda de computadores estão sendo introduzidas aos poucos. Isso permite criar restaurações provisórias com maior previsão de planejamento, mas que abordam alguns problemas e dificuldades relacionados a criação e instalação dessas peças. A introdução da tecnologia digital, mais especificamente a tecnologia CAD/CAM (Computer-Aided Design/Computer Aided Manufacturing), representou uma revolução significativa no campo da reabilitação oral, proporcionando avanços substanciais nos tratamentos disponíveis para os pacientes [19].

Uma das técnicas notáveis dentro desse contexto é a manufatura subtrativa, também conhecida como fresagem, que se utiliza de blocos pré-fabricados, no qual uma máquina fresadora remove material de forma a esculpir o bloco de acordo com o formato previamente projetado por software [43]. Essa técnica tornou-se uma prática comum entre dentistas e laboratórios, devido à sua durabilidade, excelente adaptação e melhorias estéticas [44]. No entanto,

ela possui limitações, como o desgaste do material e o significativo desperdício de matéria-prima, chegando a uma taxa de descarte de até 96% [19].

Recentemente, a manufatura aditiva, também conhecida como técnica de impressão 3D, tem ganhado destaque e aceitação crescentes. Esta abordagem de fabricação envolve a adição sucessiva de pequenas porções de material, construídas camada por camada, através de um objeto projetado em um software, que então é enviado para uma impressora 3D [43]. Entre as técnicas amplamente empregadas em odontologia, incluem-se a sinterização seletiva a laser (SLS), a modelagem por deposição fundida (FDM), a estereolitografia (SLA) e o processamento digital de luz (DLP) [44]. Recentes pesquisas apontam para um maior nível de aceitação na criação de restaurações provisórias por meio da manufatura aditiva em vez da subtrativa. Isso se deve, em parte, à menor porcentagem de desperdício de matéria-prima e à capacidade de produzir vários espécimes de uma só vez, oferecendo uma alternativa promissora para abordar as limitações encontradas na fabricação tradicional [19].

A técnica de sinterização seletiva a laser (SLS) encontra sua aplicação predominante na fundição de ligas metálicas. Ela opera adicionando material em pó camada por camada, fortalecendo seletivamente camadas sucessivas com calor gerado por um laser controlado por computador, resultando na criação de peças tridimensionais [45].

A Modelagem por Deposição Fundida (FDM) é um método de impressão 3D que se baseia na extrusão de material termoplástico. Nesse processo, o material é puxado por um bico aquecido e depositado em camadas sucessivas. O bico tem a capacidade de movimentar-se horizontalmente, enquanto uma plataforma sobe e desce verticalmente após a deposição de cada nova camada. É importante destacar que, em comparação com outros métodos, a FDM possui menor precisão e velocidade, e a qualidade do modelo final é influenciada pela espessura do bico de material utilizado [43].

As técnicas SLA e o DLP são muito semelhantes, sendo consideradas na mesma categoria de MA pela Seção Americana de Organização Internacional para Normatização de Testes e Materiais (ASTM). A principal diferença entre SLA e DLP está na fonte de luz, onde a imagem na DLP é criada por uma lâmpada de arco ou por espelhos microscopicamente pequenos dispostos em uma matriz em um chip semicondutor, conhecido como dispositivo de

microespelho digital (DMD), enquanto o SLA utiliza laser UV. Ambas as tecnologias seguem o mesmo princípio de construir objetos camada por camada a partir de resinas líquidas fotossensíveis, mas têm diferenças técnicas em sua confecção [43].

2.2 TESTES LABORATORIAIS

Na cavidade oral, acontecem processos dinâmicos em vários momentos. Em algumas situações, podem surgir condições desfavoráveis para o material. Para ser possível avaliar certos aspectos de materiais diretamente na boca, é necessária a realização de testes laboratoriais, que precisam seguir protocolos para serem realizados e que permitem um padrão de comparação, conforme recomendado pela Organização Internacional de Normalização (ISO) [14].

2.2.1 SORÇÃO E SOLUBILIDADE

A hidrofília (afinidade com a água) dos polímeros é influenciada pela composição química dos monômeros e pelas ligações estabelecidas durante a polimerização [46]. Essa interação com a água pode desempenhar um papel significativo nas propriedades e comportamentos do material em diversos ambientes.

A sorção refere-se ao processo de absorção ou adsorção de substâncias por um material, envolvendo a capacidade de um sólido ou líquido de reter moléculas de gás, líquido ou sólido em sua estrutura [47]. A solubilidade refere-se à capacidade de uma substância (soluto) se dissolver em outra substância (solvente) para formar uma solução homogênea [48].

No contexto de materiais poliméricos, o teste de sorção frequentemente avalia a capacidade do material de absorver água ou outros líquidos, enquanto a solubilidade pode ser avaliada para entender como o polímero reage em contato com solventes específicos, como água [50], e no que pode afetar suas propriedades físicas, químicas e mecânicas [51].

Para a avaliação dessas propriedades, são realizados testes laboratoriais de sorção e solubilidade. O teste de sorção avalia a capacidade de um material polimérico em absorver água, que envolve expor o material a um ambiente úmido por um período específico e medir a quantidade de água absorvida pelo polímero, e essa absorção pode afetar significativamente as propriedades físicas e mecânicas do polímero. A água pode penetrar na estrutura do polímero, causando mudanças dimensionais, fragilização, redução da resistência mecânica [52, 53] e outros efeitos indesejados. O teste de solubilidade verifica a propensão de um material polimérico a se dissolver em um determinado solvente, geralmente água, e é crucial para avaliar a estabilidade química do polímero em presença de solventes específicos.

No geral, ambos os testes são fundamentais para determinar a adequação de materiais poliméricos em ambientes específicos.

2.2.2 ESTABILIDADE DE COR EM ODONTOLOGIA

As propriedades óticas e de cor desempenham um papel fundamental na tentativa de replicar a aparência natural dos dentes [17]. Existem vários métodos para avaliar mudanças de cor, as quais podem ser de forma subjetiva ou objetiva. A análise visual através da escala de cor, por exemplo, é uma forma de análise subjetiva, enquanto a avaliação através da utilização de espectrofotômetros, colorímetros ou técnicas de análise de imagem com auxílio de algum software são análises objetivas [54].

Espinar et al. (2022) [55] mostraram que os polímeros para impressão 3D utilizados em restaurações dentárias ainda não foram devidamente avaliados e caracterizados em relação a essas propriedades. Além disso, apresentam limitações em relação ao comportamento colorimétrico, incluindo susceptibilidade a manchas [56], estabilidade de cor após variações de temperatura [57], armazenamento em água [58] e capacidade de mascarar a cor [57].

2.2.2.1 CIELab:

Em 1976, a Comissão Internacional de Iluminação (CIE) introduziu um novo espaço de cores com a nomenclatura oficial CIEL*a*b*, frequentemente abreviado como CIELab. O CIELab adota um sistema do tipo oponente, onde as variáveis L^* , a^* e b^* representam, respectivamente, a luminosidade, a tonalidade vermelho-verde e o amarelo-azul [59], em um contexto em que L^* varia de 0 a 100, onde 0 representa o preto puro e o 100 branco puro, um valor positivo de a^* indica uma tonalidade avermelhada, enquanto um valor negativo sugere uma tonalidade verde. Por outro lado, um valor positivo de b^* está associado a uma coloração amarela, ao passo que um valor negativo está relacionado a uma coloração azul.

Através dessas cores e coordenadas, é possível quantificar a diferença de cor entre dois espécimes, o qual é chamado de ΔE [60]. Na odontologia, isso é aplicado na percepção entre a diferença de cor entre um dente e uma restauração adjacente, e a aceitação se essa diferença de cor é significativa ou não. [61, 62, 63, 64]. O principal objetivo do desenvolvimento desse espaço de cores é estabelecer uma padronização para a quantificação dessas diferenças de cor [65].

Devido a sua objetividade, lógica e capacidade de expressar diferenças de cor numericamente, o CIELab serviu como base para o sistema eLAB, que substituiu o uso de guias de tons pré-definidos. É importante notar que, embora o CIELab seja aproximadamente uniforme visualmente, ele não é um espaço de cores completamente uniforme. A definição de limites numéricos para percepção visual varia conforme a indústria e a aplicação específica, podendo apresentar pequenas diferenças entre elas [66].

2.2.2.2 ESPECTROFOTÔMETRO

A determinação da alteração de cor também pode ser realizada por meio do uso de um espectrofotômetro. A vantagem dessa análise é que ela permite

que os dentistas realizem uma análise objetiva que é tecnicamente mais precisa e pode ser reproduzida mais facilmente, além de minimizar erros na escolha correta de cor [18, 67]. Embora esse aparelho seja amplamente considerado o “padrão-ouro”, o constante progresso do conhecimento tem levantado questionamentos sobre esse termo.

O espectrofotômetro realiza a medição da energia luminosa refletida por um objeto no espectro visível [68]. O Easyshade® (VITA), por exemplo, possui uma ponteira digital que mostra dados numéricos para interpretação da cor dos dentes ou das restaurações e compara com as escalas de cor VITA Clássica e/ou VITAPan 3D Master [67]. Embora apresente maior precisão em comparação com os guias visuais de tons, a avaliação é limitada a leituras de um ponto por vez [69]. Uma das desvantagens associadas é a leitura incorreta da cor devido à perda de uma fração da luz quando o aparelho entra em contato com o dente, principalmente em superfícies curvas [70].

2.2.3 MICRODUREZA DE VICKERS

Os testes laboratoriais visam investigar produtos com base em suas características em massa, porém, as propriedades da superfície desempenham um papel crucial quando o material está em uso na cavidade oral. A textura superficial impacta no polimento, na ocorrência de arranhões e na resistência à carga. A dureza da superfície, frequentemente usada como parâmetro, avalia a capacidade do material em resistir à deformação plástica por penetração [14].

O teste de microdureza de Vickers (MV) usa um indentador de diamante em forma de pirâmide de base quadrada, com um ângulo de 136 graus entre as faces opostas, para indentar o material de teste. Uma carga de 1 a 100 Kgf é aplicada por 10 a 15 segundos. As duas diagonais da indentação deixada na superfície do material são medidas e a média é calculada, juntamente com a área da superfície inclinada. Este método é adequado para avaliar a dureza de áreas pequenas e para materiais extremamente duros [14].

3. MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 PREPARAÇÃO E MANIPULAÇÃO DAS AMOSTRAS

Foram confeccionadas 40 amostras para cada uma das três resinas avaliadas (Quadro 1; Figura 1). Os corpos de prova, em formato de disco, com 15 mm de diâmetro e 1 mm de espessura (Figura 2B) foram obtidos de acordo com as diretrizes da International Organization for Standardization (ISO) 4049:2009.

Quadro 1: Resinas utilizadas, composição, número do lote e fabricante.

Resina	Composição	Lote	Fabricante
<i>Resina Acrílica Autopolimerizável (RA)</i>	Pó: Copolímero Metil Etil Metacrilato, pigmentos orgânicos, peróxido. Cor 62. Líquido: Monômero Metil Metacrilato, DMT, Cross-Link.	053212 052424	Dencôr Classico Brasil
<i>Resina Bisacrílica (RB)</i>	Etanol, 2,2'-[(1-Metiletilideno)BIS-(4,1 - Fenilenoxi)]Bis-, Diacetato, Ácido benzil-fenil-barbitúrico, Sílica tratada de silano, (1-metiletilideno)bis(4,1-fenilenoxi-2,1-etanodiilo)(1-fenilenoxi-2,2-étoxi-etanodiilo)bis-acetato, Terc-butyl 3,5,5-trimetil peroxihexanoato	8305092	Protemp 4, 3M ESPE Estados Unidos
<i>Resina para Impressão (RI)</i>	Ésteres de ácido metacrílico, monômeros acrílicos, oligômeros acrílicos, fotoiniciadores e pigmentos	212423	Prizma Bioprov, Makertech Labs Brasil

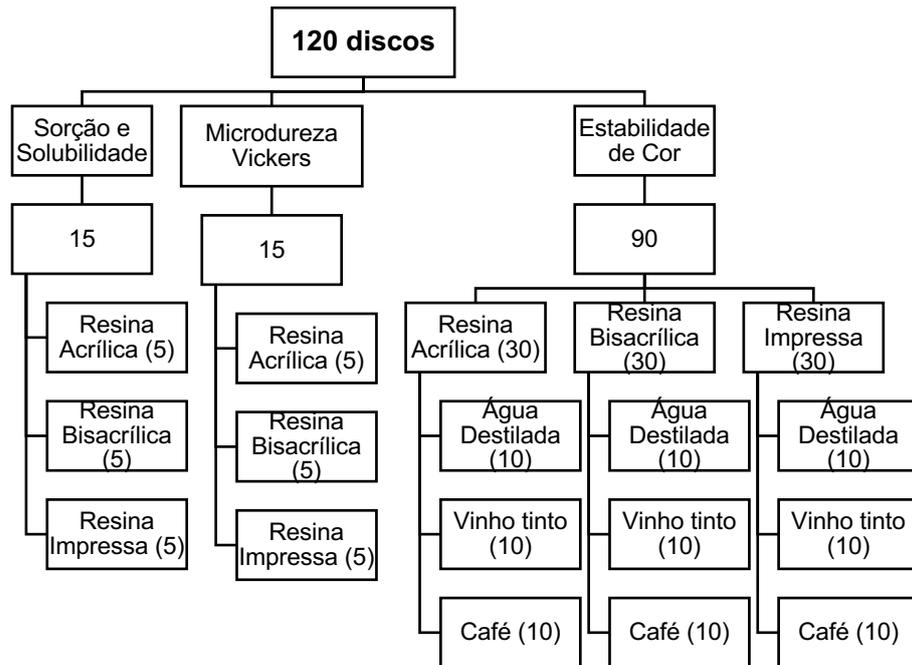


Figura 1: Desenho de estudo

Para a produção das amostras em RA, uma matriz metálica foi criada a partir de aço inoxidável com compartimentos dimensionados de forma idêntica aos corpos de prova (Figura 2A). Para a preparação da resina acrílica, o monômero e o polímero foram pesados em uma proporção de 3:1, de acordo com as recomendações do fabricante. A pesagem foi realizada com uma balança de semi precisão, resultando em 2,7g para o polímero e 0,9g para o monômero. Para a inserção do material nos compartimentos da matriz metálica, foram utilizadas duas placas de vidro com espessura de 20 mm (Daufenbach, Brasil). Em seguida, uma camada de vaselina sólida (Rioquímica, Brasil) foi aplicada na matriz, bem como nas placas de vidro, utilizando-se um pincel. O polímero e o monômero foram manipulados, e assim que a resina atingiu a fase plástica, foi inserida nos compartimentos da matriz. Em seguida, a matriz foi submetida a uma pressão de 0,5 toneladas em uma prensa hidráulica (Evident, Brasil) por um período de 15 minutos, posicionada entre as duas placas de vidro para prevenir a formação de bolhas.

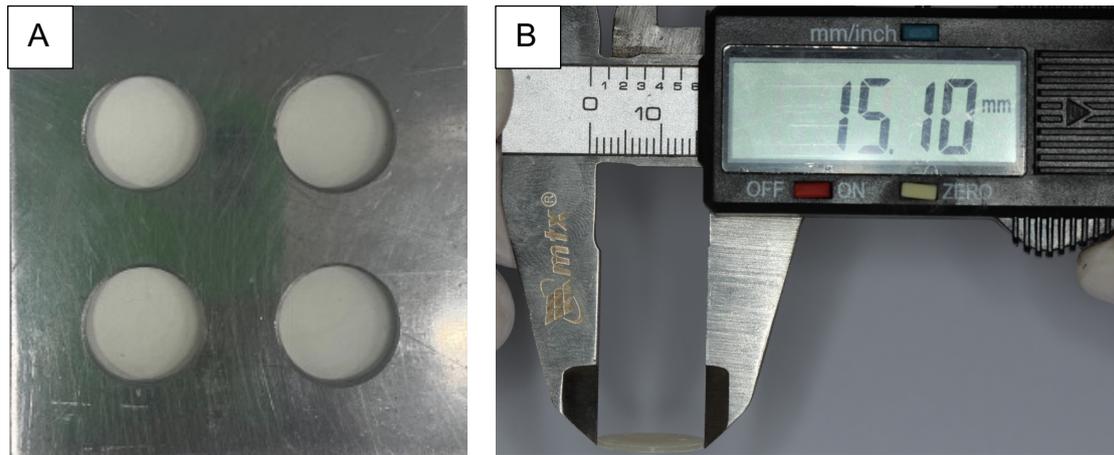


Figura 2: (A) Matriz metálica de aço inoxidável com 1,0 mm de espessura; (B) Espécime em formato de disco com 15 mm de diâmetro.

Para obtenção das amostras de RB, foi utilizada a mesma matriz metálica, porém, a forma de apresentação do material envolve o uso de uma pistola de aplicação com uma ponta auto misturadora, simplificando o processo de inserção do material nos compartimentos da matriz (Figura 3). Além disso, o tempo de presa foi ajustado para 5 minutos, de acordo com as orientações do fabricante.

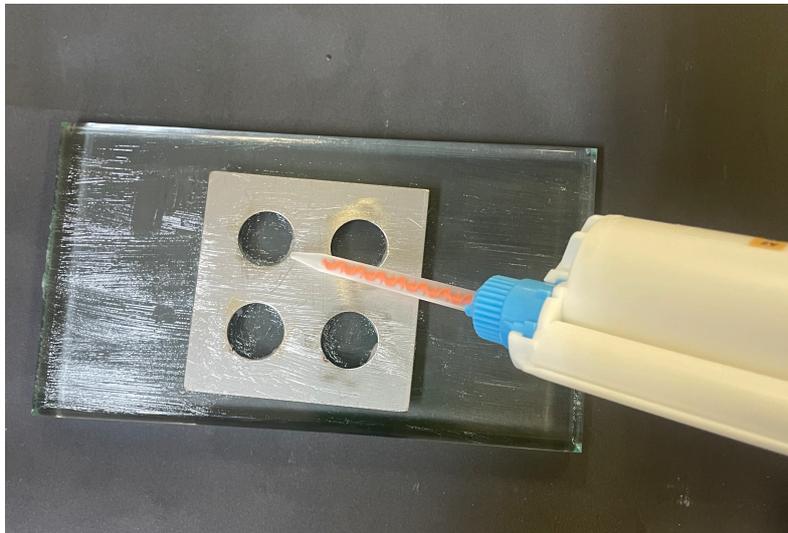


Figura 3: Confeção de amostras em resina bisacrílica.

Para a confecção das amostras em RI, o corpo de prova foi projetado no software Autocad 3D (Autodesk, EUA), salvo em formato Standard Tessellation Language (STL) e exportado para o software de impressão. Foi empregada uma

impressora odontológica 3D de tecnologia DLP (Photon Mono 4K, Anycubic, China) em conjunto com uma resina para impressão 3D (PriZma BioProv, Makertech Labs, Brasil). Foram seguidos os parâmetros recomendados pelo fabricante, incluindo uma camada de impressão de 0,050mm, tempo de exposição de 4 segundos e a aplicação de 8 camadas de base. Todos os corpos de prova foram impressos com ângulo de orientação de 90 graus (Figura 4A). Após a conclusão da impressão, os corpos foram submetidos a uma lavagem com álcool isopropílico (Isopropanol, Prolink Indústria Química Ltda.) por 7 minutos, a fim de remover o excesso de resina. Em seguida, os corpos de prova foram expostos a uma câmara de luz UV (50W) (Forno Fotopolimerizador, Labflo UV S10L, Brasil) por 180 segundos (Figura 4B).

Todos os espécimes foram polidos a fim de eliminar quaisquer excessos e irregularidades com as lixas d'água 600, 1000 e 1500 (3M), em ambos os lados por três vezes, com uma distância definida de 10 cm, sem refrigeração, sempre em partes novas da lixa, e em seguida, colocadas em cuba ultrassônica por 10 minutos.

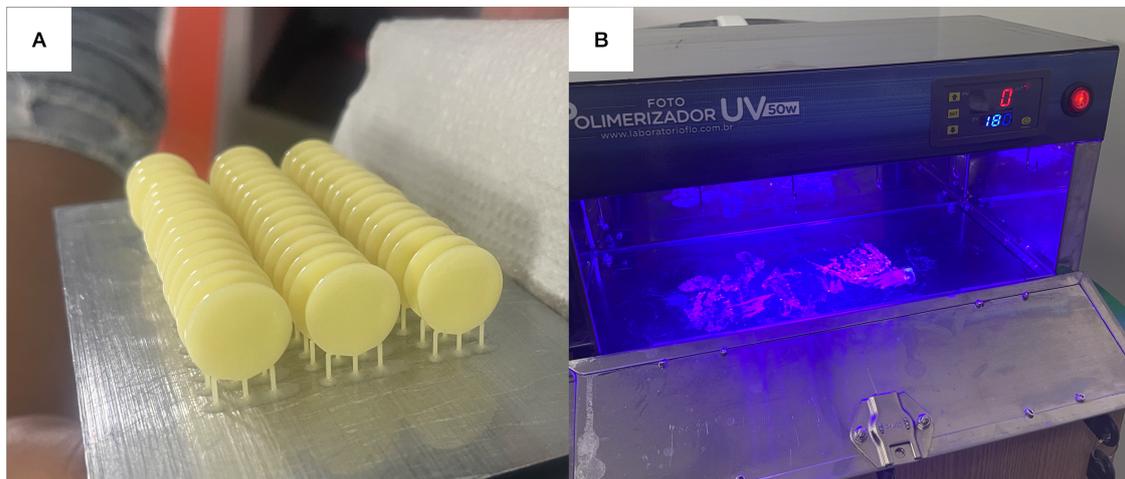


Figura 4:(A) Espécimes após impressão 3D em angulação de 90°; (B) Espécimes em câmara de luz UV..

3.2 TESTES LABORATORIAIS

3.2.1 ANÁLISE DE SORÇÃO E SOLUBILIDADE

Para o teste de sorção e solubilidade, foram utilizadas 15 amostras, sendo 5 espécimes de cada tipo de resina (RA, RB e RI). Essas amostras foram mantidas sob condições constantes de temperatura a 37°C em uma estufa e submetidas a definições de massa, utilizando uma balança analítica de semi precisão (Figura 5A).

As medições de massa foram efetuadas repetidamente a cada intervalo de 24 horas até a sua estabilização, com variações máximas de 0,001g (Figura 5B). Este ciclo de medições foi repetido até que a massa atingisse um valor constante, denominado m_1 , o qual foi mantido durante 24 horas.

Posteriormente, os espécimes foram imersos verticalmente, sendo fixados em um fio de nylon na tampa de recipientes de acrílico de 30 ml, contendo 10 ml de água destilada (Figura 5C). Estes recipientes foram acomodados em uma dessecadora, onde sílica em gel foi utilizada para manter a temperatura constante a 37°C, ao longo de um período de 7 dias (Figura 5D).

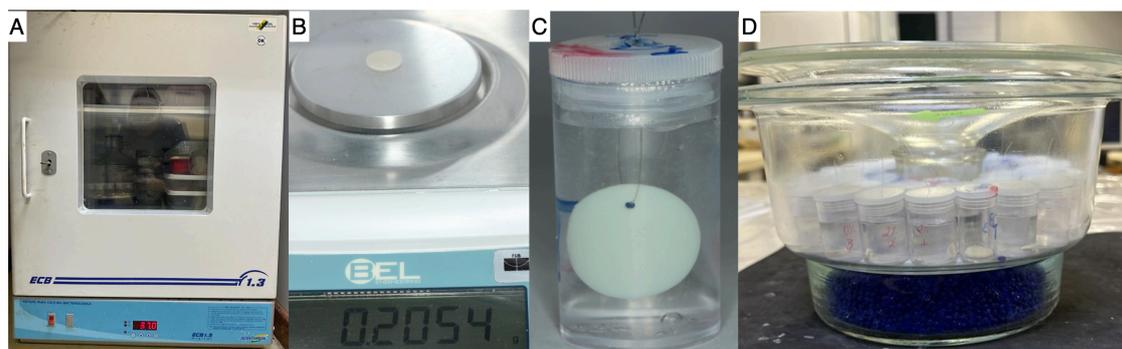


Figura 2: Preparação dos espécimes para o teste de sorção e solubilidade. (A) Estufa a 37°C; (B) Pesagem do espécime a cada 24h até sua estabilização; (C) Espécimes fixados em um fio de nylon na tampa de recipiente de acrílico com água destilada; (D) Recipientes acomodados em uma dessecadora com sílica em gel.

Após este período, os espécimes foram retirados da solução, devidamente secos, e novamente pesados, resultando na obtenção da medida m_2 . Em sequência, os espécimes foram acondicionados em uma dessecadora

contendo sílica gel, seguindo o mesmo procedimento utilizado para obter a massa m_1 .

Todos os resultados obtidos durante o processo foram devidamente registrados e tratados como m_3 . Esta abordagem meticulosa permitiu uma avaliação precisa da sorção e solubilidade das diferentes resinas em análise.

O cálculo da sorção de água (SO) foi determinado utilizando a seguinte fórmula:

$$SO = \frac{(m_2 - m_3)}{V}$$

Onde:

- m_2 representa a massa do espécime após a imersão em água por 7 dias, medida em microgramas;
- m_3 corresponde à massa do espécime reconicionado, também em microgramas;
- V é o volume do espécime, expresso em milímetros cúbicos.

A solubilidade (SL) foi calculada em miligramas por milímetro cúbico para cada uma das amostras utilizando a seguinte fórmula:

$$SL = \frac{(m_1 - m_3)}{V}$$

Onde:

- m_1 é a massa em microgramas antes da imersão em água;
- m_3 e V são como descritos na fórmula de sorção de água.

Os valores resultantes da sorção e da solubilidade devem estar dentro dos limites de $40 \mu\text{g}/\text{mm}^3$ para a sorção e $7,5 \mu\text{g}/\text{mm}^3$ para a solubilidade, ou seja, devem ser menores ou iguais a esses valores estipulados.

Para determinar o coeficiente de difusão da água, uma consequência de duas propriedades avaliadas (SO e SL), foi realizada a soma dos valores da sorção e da solubilidade. Para essa avaliação, a unidade de medida original, expressa em microgramas por milímetro cúbico, foi convertida para miligramas e, em seguida, dividida por 10, a fim de expressá-la como uma porcentagem.

3.2.2 ANÁLISE DA ESTABILIDADE DE COR

Para o teste de estabilidade de cor, foram utilizadas 90 amostras, as quais foram divididas em três grupos contendo 30 espécimes cada um. Para cada resina (RA, RB e RI), 10 espécimes foram analisados antes e após a imersão em água destilada, vinho tinto e café, durante 7, 14 e 21 dias. Cada solução contava com 30 espécimes para análise. As coordenadas do sistema de cores CIELab (L, a, b) foram medidas utilizando o espectrofotômetro Easyshade® (VITA) (Figura 6). Para análise da alteração da cor, foi feito o cálculo do ΔE , através da fórmula abaixo:

$$\Delta E = [(L^*_{*1} - L^*_{*2})^2 + (a^*_{*1} - a^*_{*2})^2 + (b^*_{*1} - b^*_{*2})^2]^{1/2}$$

Onde:

- L^* é a luminosidade;
- a^* é a tonalidade vermelho-verde
- b^* é a tonalidade amarelo-azul



Figura 6: Espectrofotômetro Easyshade® (VITA) posicionado sobre corpo de prova.

As soluções foram acondicionadas em frascos de 30 ml, cada um contendo 10 ml dos líquidos mencionados (Figura 7). O vinho tinto utilizado foi uma variedade comum disponível no mercado brasileiro (Santa Helena Reservado, Cabernet Sauvignon, Chile). A solução de café foi preparada da seguinte maneira: 0,51g de pó de café solúvel (Qualitá, Brasil), que foram dissolvidos em 50 ml de água destilada.

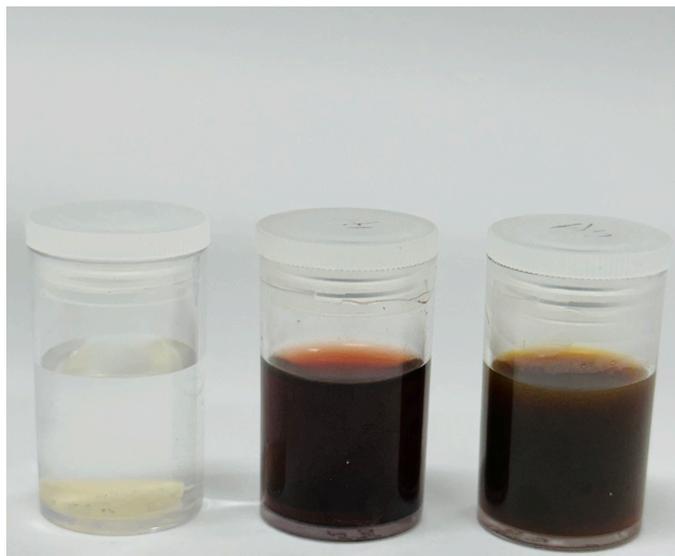


Figura 7: Soluções com 10 ml de água destilada, vinho tinto e café, respectivamente.

3.2.3 ANÁLISE DE MICRODUREZA DE VICKERS

Após armazenamento em estufa a 37°C por 24 horas, para avaliação da microdureza de Vickers foram empregadas cinco amostras (n=5) de cada tipo de resina. Utilizou-se um microdurômetro de Vickers previamente calibrado (FM-700, Future-Tech Corp, Japão) para realizar três endentações, com uma força de 25 gf por 15 segundos, em cada uma das amostras (Figura 8). A ampliação utilizada foi de 1:10. Todo o procedimento de teste foi realizado por um único operador. Posteriormente, os valores obtidos foram feitos uma média, resultando em um valor final.

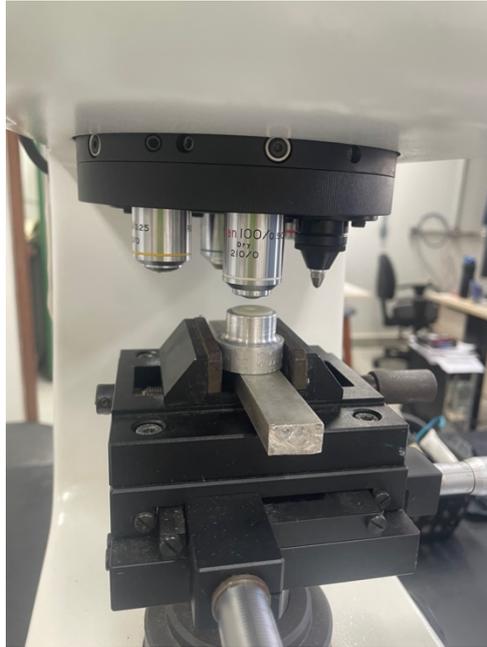


Figura 8: Microdurômetro de Vickers

3.3 ANÁLISE ESTATÍSTICA

O programa Statistical Package for the Social Sciences 26 (IBM SPSS) foi utilizado para avaliação estatística dos dados do estudo. Para comparação da microdureza de Vickers (MV), sorção (SO), solubilidade (SL) e coeficiente de difusão (CD) foi realizado Análise de Variância (ANOVA) de um fator (tipo de resina) (One-way ANOVA). Para avaliação da estabilidade de cor, foi realizada a Análise de Variância (ANOVA) medidas repetidas dois fatores (tipo de imersão e tempo), para cada tipo de resina, e para os tipos de resina, independentemente do tipo de imersão. Todos os testes foram seguidos do teste de Tukey, com nível de significância de 5%.

4. RESULTADOS

O teste One-way ANOVA para microdureza superficial, sorção, solubilidade e coeficiente de difusão estão apresentados na Tabela 1, demonstrando diferença estatística significativa entre os grupos para sorção e coeficiente de difusão. Os resultados dos testes ANOVA com medidas repetidas de dois fatores (Two-way) estão apresentados na Tabela 2 (estabilidade de cor das amostras de resina acrílica), Tabela 3 (estabilidade de cor das amostras de resina bisacrílica), Tabela 4 (estabilidade de cor das amostras de resina para impressão) e Tabela 5 (estabilidade de cor dos tipos de resina, independentemente do tipo de imersão).

Tabela 1: Resultado de One-way ANOVA dos testes de microdureza superficial, sorção, solubilidade e coeficiente de difusão.

ANOVA		SS	df	MS	F	P
Microdureza superficial	Tipo de resina	1782,476	2	891,238	2,718	0,106
	Erro	3935,152	12	327,929		
	Total	5717,627	14			
Sorção	Tipo de resina	603,574	2	301,787	321,424	<0,001*
	Erro	11,267	12	0,939		
	Total	614,840	14			
Solubilidade	Tipo de resina	0,071	2	0,035	0,071	0,932
	Erro	5,965	12	0,497		
	Total	6,036	14			
Coeficiente de difusão	Tipo de resina	6,135	2	3,067	164,469	<0,001*
	Erro	0,224	12	0,019		
	Total	6,359	14			

*P<0,05 denota diferença estatística significativa.

Tabela 2: Análise de variância (ANOVA) com medidas repetidas de dois fatores de análise do tipo de imersão e tempo na estabilidade de cor das amostras confeccionadas com resina acrílica autopolimerizável.

Fatores de Variação	SS	df	MS	F	P
Tipo de imersão	3261,921	2	1630,960	146,180	<0,001*
Entre amostras	301,246	27	11,157		
Tempo	601,439	2	300,719	30,967	<0,001*
Tipo de imersão x Tempo	210,670	4	52,668	5,423	0,001*
Intra amostras	524,398	54	9,711		

*P<0,05 denota diferença estatística significativa.

Tabela 3: Análise de variância (ANOVA) com medidas repetidas de dois fatores de análise do tipo de imersão na estabilidade de cor das amostras confeccionadas com resina bisacrílica

Fatores de Variação	SS	df	MS	F	P
Tipo de imersão	410,631	2	205,316	23,462	<0,001*
Entre amostras	236,275	27	8,751		
Tempo	251,123	2	125,561	40,429	<0,001*
Tipo de imersão x Tempo	166,426	4	41,607	13,397	<0,001*
Intra amostras	167,710	54	3,106		

*P<0,05 denota diferença estatística significativa.

Tabela 4: Análise de variância (ANOVA) com medidas repetidas de dois fatores de análise do tipo de imersão e tempo na estabilidade de cor das amostras confeccionadas com resina para impressão.

Fatores de Variação	SS	df	MS	F	P
Tipo de imersão	2118,237	2	1059,119	43,939	<0,001*
Entre amostras	650,819	27	24,104		
Tempo	605,491	2	302,746	103,549	<0,001*
Tipo de imersão x Tempo	303,910	4	75,977	25,987	<0,001*
Intra amostras	157,880	54	2,924		

*P<0,05 denota diferença estatística significativa.

Tabela 5: Análise de variância (ANOVA) com medidas repetidas de dois fatores de análise do tipo de resina e tempo na estabilidade de cor, independentemente do tipo de imersão

Fatores de Variação	SS	df	MS	F	P
Tipo de resina	1078,684	2	539,342	6,723	0,002*
Entre amostras	6979,129	87	80,220		
Tempo	1304,291	2	652,145	74,117	<0,001*
Tipo de resina x Tempo	153,763	4	38,441	4,369	0,002*
Intra amostras	1530,994	174	8,799		

*P<0,05 denota diferença estatística significativa.

A Tabela 6 mostra os valores médios e os desvios padrão de todos os grupos de acordo com o teste realizado e os resultados do teste de Tukey. Não houve diferença estatística entre os grupos para microdureza superficial e solubilidade. Para os testes de sorção e coeficiente de difusão, a RI apresentou maiores valores quando comparados aos outros grupos, seguidos da RA e RB.

Tabela 6: Valores médios (desvio padrão) e resultado do teste de Tukey para os testes que demonstraram diferença estatisticamente significativa no 1-way ANOVA.

Testes	Grupos		
	Resina autopolimerizável	Resina Bisacrílica	Resina para impressão
Microdureza superficial	27,44 (20,76) A	43,11 (22,61) A	16,54 (6,40) A
Sorção	15,77 (0,92) B	11,70 (0,94) A	26,72 (1,03) C
Solubilidade	1,17 (0,82) A	1,24 (0,29) A	1,33 (0,84) A
Coeficiente de difusão	1,69 (0,13) B	1,29 (0,10) A	2,80 (0,16) C

Médias seguidas de mesma letra maiúscula na linha não diferem ao nível de 5% de significância ($P < 0.05$) pelo teste de Tukey.

Quanto à estabilidade da cor, após a análise pelo teste de Tukey, a água destilada não provocou alteração de cor nas resinas, independente do período de tempo de imersão. Já em relação à imersão em vinho e café, pôde-se observar diferença estatística significativa entre os períodos de 14 e 21 dias com o período de 7 dias, para a RA, não havendo alteração de cor significativa após 14 dias, o que sugere estabilidade de cor para este material. No caso das amostras confeccionadas com RB, também se constatou uma diferença estatisticamente significativa ao comparar as imersões em vinho nos períodos de 14 e 21 dias com o de 7 dias de imersão (Tabela 7). Além disso, no que diz respeito à imersão em café, observou-se um aumento significativo nos valores ao longo dos diferentes períodos de imersão, ou seja, a RB sugere estabilidade de cor a partir de 14 dias apenas na imersão no vinho, porém, não no café. Por fim, as amostras confeccionadas em RI apresentaram um aumento significativo dos valores durante os diferentes períodos de imersão em vinho e café, sugerindo que não houve estabilidade de cor nos dois últimos tipos de imersão.

Tabela 7: Valores médios (desvio padrão) para estabilidade de cor dos tipos de resina de acordo com o tipo de imersão e tempo.

Tipo de resina	Tipo de imersão	Tempo		
		7 dias	14 dias	21 dias
RA	Água destilada	0,86 (0,41) Aa	1,88 (0,87) Aa	1,59 (0,59) Aa
	Vinho	11,05 (2,54) Ba	19,23 (4,06) Bb	18,16 (3,96) Bb
	Café	2,61 (1,22) Ca	10,85 (5,30) Cb	10,00 (4,69) Cb
RB	Água destilada	8,29 (0,80) Aa	8,38 (0,53) Aa	8,26 (0,64) Aa
	Vinho	11,26 (1,49) Ba	13,73 (1,86) Bb	15,41 (2,61) Bb
	Café	5,65 (1,26) Ca	11,14 (4,03) Cb	13,59 (3,61) Bc
RI	Água destilada	8,88 (0,97) Aa	9,18 (2,70) Aa	9,36 (2,38) Aa
	Vinho	16,19 (1,95) Ba	20,76 (2,86) Bb	23,51 (3,83) Bc
	Café	5,34 (1,91) Ca	10,41 (4,48) Ab	16,59 (5,03) Cc

Médias seguidas de mesma letra maiúscula na coluna e médias seguidas da mesma letra minúscula mesma linha não diferem ao nível de 5% de significância ($P < 0.05$) pelo teste de Tukey.

A imersão em água destilada não provocou alteração de cor significativa nas três resinas, independente do tempo de imersão. A RA nas imersões em vinho e café não apresentou alteração de cor significativa entre 14 e 21 dias, que foram diferentes de 7 dias. A RB diferiu da RA somente na imersão em café, em que houve alteração significativa entre os três períodos 7, 14 e 21 dias. Na RI houve diferença significativa entre os três períodos de imersão, tanto em vinho como em café (Tabela 8).

Tabela 8 : Valores médios e desvio padrão para estabilidade de cor de acordo com o tipo de resina e tempo, independentemente do tipo de imersão.

Tipo de imersão	Tempo		
	7 dias	14 dias	21 dias
RA	4,84 (4,79) Aa	10,65 (8,12) Ab	9,92 (7,69) Ab
RB	8,40 (2,61) Ba	11,08 (3,34) Ab	12,42 (3,98) Ab
RI	10,13 (4,87) Ba	13,45 (6,24) Ab	16,49 (6,97) Bc

Médias seguidas de mesma letra maiúscula na coluna e médias seguidas da mesma letra minúscula mesma linha não diferem ao nível de 5% de significância ($P < 0.05$) pelo teste de Tukey.

5. DISCUSSÃO

Este estudo revelou que a primeira e a segunda hipóteses nulas foram parcialmente rejeitadas, uma vez que as três resinas apresentaram propriedades e comportamentos distintos nos testes laboratoriais, e a terceira hipótese nula foi aceita.

Segundo os resultados obtidos nesta pesquisa, no que diz respeito aos testes de microdureza superficial e solubilidade, não foram observadas diferenças estatísticas entre os três tipos de resina avaliados. No entanto, no estudo conduzido por Simoneti et al. (2022) [12], que analisou a microdureza de Vickers entre as RI e resinas convencionais, foi observada uma diferença estatisticamente significativa. A RA mostrou um valor superior em comparação com as demais resinas, enquanto a microdureza de Vickers da RI assemelhou-se à da RB. É relevante destacar que, naquele estudo, a RI foi fabricada utilizando a técnica de manufatura SLA, ao passo que no presente estudo as resinas foram obtidas por meio da técnica DLP, além de pertencerem a marcas diferentes de fabricantes.

No estudo realizado por Britto et al. (2022) [71] sobre sorção e solubilidade, foram comparados os três tipos de materiais resinosos. No teste de solubilidade, a resina acrílica mostrou diferença estatística, com um valor considerado inferior (ou seja, menos solúvel) às RB e RI, que apresentaram valores semelhantes. É relevante destacar que todos os valores se encontraram abaixo dos limites máximos estipulados pela norma ISO 4049:2009 [72]. Entretanto, no presente estudo, não foram identificadas diferenças estatísticas relevantes no teste de solubilidade, e, apesar de terem sido encontradas diferenças estatísticas entre os materiais no teste de sorção, ao considerar os limites máximos definidos pela referida ISO, todos os valores tanto para sorção quanto para solubilidade estavam dentro dos parâmetros aceitáveis ($SO = 40 \mu\text{g}/\text{mm}^3$ e $SL = 7,5 \mu\text{g}/\text{mm}^3$). Vale ressaltar que as discrepâncias nos resultados entre estudos podem estar associadas à metodologia para obtenção das amostras e as diferentes marcas dos materiais utilizados, já que além de serem utilizadas marcas comerciais diferentes, Britto et al. confeccionaram seus

espécimes em formato de barra, além de terem sido utilizadas resina acrílica termopolimerizável em vez de autopolimerizável, como neste estudo.

Entretanto, nos testes de sorção e coeficiente de difusão, foram observadas diferenças estatísticas entre os grupos. De acordo com a análise de Tukey, no teste de sorção, a RI apresentou maior valor, seguida pela RA e, por fim, pela RB. A sorção, ao mensurar a capacidade de um material absorver um líquido, neste caso água, indica que a RI foi o material que mais incorporou líquido, o que poderia potencialmente afetar alguma característica mecânica do material, apesar de que no presente estudo não houve interferência nos valores de microdureza. No entanto, vale ressaltar que o estudo de Britto et al. (2022) [71] não corroborou com este resultado. Em sua pesquisa, a RA obteve um valor maior na sorção, seguida pela RB e, por último, pela RI, indicando que esta última possui uma menor capacidade de absorver líquidos. Essa discrepância pode ser atribuída às diferenças na confecção das amostras, à proporção utilizada na confecção das RA, na metodologia adotada no preparo das amostras, nas distintas marcas comerciais utilizadas, e ainda na divergência na produção das amostras em RI. Por exemplo, Britto et al. (2022) [71] imprimiram seus espécimes de forma horizontal e realizaram o polimento com lixa d'água úmida.

Como a sorção e solubilidade são processos dinâmicos que envolvem a incorporação de moléculas de água entre as cadeias poliméricas do material e a liberação de monômeros residuais para o meio [73], a avaliação exclusiva tanto da sorção quanto da solubilidade não é suficiente para representar a complexidade desse processo [16]. Por esse motivo, torna-se essencial calcular a absorção total de água, que consiste na soma dos valores de sorção e solubilidade, aqui chamado de coeficiente de difusão.

Assim, os resultados deste estudo indicam que o coeficiente de difusão da RI foi superior que ao da RA que, por sua vez, foi maior que o da RB. Esses achados sugerem que a absorção total da RI é maior em comparação com as outras resinas.

Conforme mencionado em alguns estudos [11, 12] há uma escassez de estudos que comparem as propriedades mecânicas de materiais de impressão 3D com materiais convencionais, como a RA e a RB. Uma propriedade importante das RA é sua capacidade de absorver água, o que pode resultar em

alterações de volume na peça. Assim sendo, a avaliação da sorção de água é clinicamente relevante, uma vez que pode afetar o desempenho do material [15]. A RB possui melhores propriedades mecânicas e estéticas que as RA, além de possuir menor contração de polimerização, porém apresenta um maior custo [4]. Os testes de sorção e solubilidade são importantes indicadores para avaliação da durabilidade destes materiais, uma vez que a interação entre a água e as cadeias poliméricas podem gerar tensões internas devido à mastigação, degradação química e à solução de monômeros residuais [5, 74, 75].

Quanto à estabilidade de cor, observaram-se diferenças estatísticas significativas nas amostras fabricadas em RA quando submetidas à imersão em vinho e café, especialmente nos períodos de 14 e 21 dias, em comparação com o período inicial de 7 dias de imersão, o que sugere uma estabilidade de cor deste material após o período de 14 dias nestas imersões.

Foi observado um padrão semelhante para a RB durante a imersão em vinho, onde aconteceu essa mesma estabilidade de cor até os 21 dias. No entanto, na imersão em café, a alteração de cor aumentou progressivamente ao longo do tempo, sugerindo estabilidade de cor apenas na água destilada e no vinho tinto. No caso das RI, observou-se um comportamento semelhante no sentido de ter alteração de cor, porém, demonstrou instabilidade de cor tanto na imersão em café quanto no vinho tinto. O café também se destacou como a solução que causou a maior pigmentação e a alteração de cor foi mais significativa, e, de acordo com Carvalho et al. (2022) [76], é a solução com o maior potencial de manchamento.

Na análise de estabilidade de cor, considerando apenas o tipo de resina, sem considerar o tipo específico de solução, foi observado que tanto para a RA quanto para a RB houve diferenças significativas entre os primeiros 7 dias e os períodos de 14 e 21 dias, que foram iguais. Em todas as avaliações temporais, a RI foi a que apresentou a maior alteração de cor, seguida pela RB e, por último, pela RA. Shin et al. (2020) [4] realizou um estudo semelhante, observando os materiais testados em 2, 7 e 30 dias. Nesses períodos, a RI destacou-se como a que teve a maior alteração de cor, principalmente durante a imersão em café (além de testar curry e suco de uva), sendo notável que a mudança de cor foi mais pronunciada no período de 30 dias. O parâmetro comumente utilizado para quantificar essa mudança de cor é o ΔE , onde uma diferença de valor zero é

considerada excelente, enquanto uma diferença maior que 3,5 é considerada clinicamente inaceitável, já que a partir de 3,3 a diferença de cor já pode ser detectada a olho nu [1, 83]

No estudo conduzido por Kim et al. (2021) [58], foi realizada uma comparação entre cinco tipos distintos de RI, utilizando discos com espessuras de 1 e 2 mm, avaliando períodos de 1 hora, 24 horas, 7 dias, 30 dias e 6 meses, sem nenhum tipo de imersão. A conclusão apontou que os espécimes com 6 meses de envelhecimento, especialmente os de 2 mm de espessura, apresentaram uma alteração de cor mais significativa em relação aos demais períodos. É relevante mencionar que a avaliação foi realizada também pelo espectrofotômetro Easyshade (VITA).

Vale destacar que a absorção de água pode ampliar o espaço entre as cadeias poliméricas, possibilitando a dissolução de monômeros não reagidos [77]. No estudo de Huang et al. (2022) [78], foi sugerido que existe uma relação íntima entre a sorção e a solubilidade com a extensão da descoloração, fato este que pode justificar a maior alteração de cor nas RI, já que foram também o material que sofreu maior sorção.

No estudo conduzido por Almejrad et al. (2022) [79], foi investigada a variação na cor após 6 meses de imersão em saliva artificial e em bebidas comuns, como chá, café e vinho tinto, em RI. Os resultados revelaram que a imersão em vinho resultou em uma alteração de cor mais pronunciada. Esse resultado contrasta com os resultados obtidos na presente pesquisa, no entanto, é relevante observar que naquele estudo foram aplicados tratamentos de superfície por meio de polimento com lixas de granulação ou pela aplicação de Optiglaze (Optiglaze; GC America Inc, Alsip, IL). A análise indicou que nas superfícies após o tratamento apenas de polimento com discos de lixa, a alteração de cor foi significativamente maior, provavelmente porque o glaze funcionou como um revestimento protetor e reduziu essa descoloração.

Adicionalmente, a instabilidade de cor em RI tem sido associada à maior hidrofiliabilidade/polaridade do polímero, à ausência de partículas de carga, ao aumento da rugosidade superficial, à presença de monômeros residuais, à elevada solubilidade, entre outros fatores, os quais dependem do material específico e dos protocolos de pós-processamento [4, 56, 57, 80, 81].

Além das considerações mencionadas anteriormente, também é relevante abordar a questão da inclinação das impressões. Ryu et al. (2020) [40] investigaram várias angulações de impressão e concluíram que os ângulos de 150° e 180° eram os mais recomendados para alcançar um ajuste marginal interno ideal na tecnologia DLP. Por outro lado, o estudo de Osman et al. (2017) [41] ofereceu uma perspectiva diferente, sugerindo um ângulo de 135° como uma alternativa viável para otimizar o ajuste marginal e interno das coroas provisórias. Além disso, Espinar et al. (2023) [82] afirmaram em sua pesquisa que a escolha do ângulo de impressão pode ter impacto até mesmo na estética do material, especialmente no que diz respeito à translucidez. Eles observaram que a impressão com ângulos de 0° ou 90° graus pode aumentar quanto diminuir a translucidez, a depender da marca comercial da resina utilizada. Assim, ainda há divergências entre as recomendações de angulação, indicando a necessidade de considerar os resultados de diferentes pesquisas ao se determinar a melhor abordagem para a impressão. Além disso, por se tratar de um estudo laboratorial e devido às dificuldades de impressão de amostras anguladas, para este estudo foi utilizada a inclinação de impressão de 90° graus para as amostras de RI.

As limitações deste estudo abrangem alguns aspectos importantes. O estudo se concentrou exclusivamente nas propriedades mecânicas dos materiais impressos em camadas verticais, embora seja sabido que a orientação de impressão pode afetar substancialmente as propriedades finais. Não foi objetivo deste estudo também avaliar o tempo de pós-impressão, que pode afetar o desempenho clínico desses materiais. Portanto, é evidente que estudos adicionais são necessários para complementar os resultados obtidos.

Cabe ainda ressaltar a notável evolução dos materiais impressos e das impressoras, que, devido à redução de custos, estão se tornando mais acessíveis. Esta democratização tem levado a um aumento significativo na utilização desses materiais para diversas aplicações, contribuindo assim para o avanço contínuo dessa tecnologia inovadora no campo da odontologia.

6. CONCLUSÃO

Os três materiais poliméricos testados apresentaram solubilidade e microdureza semelhantes. A resina para impressão mostrou maior alteração de cor ao longo do tempo de imersão em vinho tinto e em café e maior sorção e coeficiente de difusão, em relação às resinas acrílica autopolimerizável e bisacrílica.

7. REFERÊNCIAS

- [1] Duymus ZY, Aydiner SF, Yanikoglu N. The effect of different staining solutions on the color stability of temporary crown materials. *Niger J Clin Pract.* 2023 Feb;26(2):234-239. doi: 10.4103/njcp.njcp_659_22. PMID: 36876614.
- [2] Tetè G, Sacchi L, Camerano C, Nagni M, Capelli O, Giuntoli Vercellin S, La Rocca G, Polizzi E. Management of the delicate phase of the temporary crown: an in vitro study. *J Biol Regul Homeost Agents.* 2020 Nov-Dec;34(6 Suppl. 3):69-80. PMID: 33412782.
- [3] Tjan, A.H.; Castelnuovo, J.; Shiotsu, G. Marginal fidelity of crowns fabricated from six proprietary provisional materials. *J.Prosthet. Dent.* 1997, 77, 482–485.
- [4] 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* 2020, 13, 5359; doi:10.3390/ma13235359
- [5] Perea-Lowery L, Gibreel M, Vallittu PK, Lassila LV. 3D-Printed vs. Heat-polymerizing and autopolymerizing denture base acrylic resins. *Materials.* 2021, 14(19), 5881. doi:[10.3390/ma14195781](https://doi.org/10.3390/ma14195781)
- [6] Di Giacomo GA, Cury PR, da Silva AM, da Silva Jas Ajzen SA. A selective laser sintering prototype guide used to fabricate immediate interim fixed complete arch prostheses in flapless dental implant surgery: Technique description and clinical results. *J Prosthet Dent.* 2016; 116:874–879. DOI: 10.1016/j.prosdent.2016.04.018 [PubMed: 27460326]
- [7] Salmi M. Possibilities of Preoperative Medical Models Made by 3D Printing or Additive Manufacturing. *J Med Eng.* 2016; 2016:6191526.doi: 10.1155/2016/6191526 [PubMed: 27433470]
- [8] Salmi M, Paloheimo KS, Tuomi J, Ingman T, Makitie A. A digital process for additive manufacturing of occlusal splints: a clinical pilot study. *J R Soc Interface.* 2013; 10:20130203.doi: 10.1098/rsif.2013.0203 [PubMed: 23614943]
- [9] Nóbrega, RMV. Princípios básicos de caracterização de materiais impressos para coroas temporárias – uma revisão de escopo. 2022. Dissertação (Mestrado em Odontologia) – Universidade de Brasília, Brasília, 2022.
- [10] Ramagem, VO. Adaptação interna de restaurações provisórias e distorção de modelos impressos com diferentes impressoras 3D e métodos de pós-processamento. 2022. 58 f., il. Dissertação (Mestrado em Odontologia) — Universidade de Brasília, Brasília, 2022.
- [11] Revilla-León M, Sadeghpour M, Özcan M. An update on applications of 3D printing technologies used for processing polymers used in implant dentistry.

Odontology. 2020 Jul;108(3):331-338. doi: 10.1007/s10266-019-00441-7. Epub 2019 Jul 1. PMID: 31264008

[12] Simoneti DM, Pereira-Cenci T, Dos Santos MBF. Comparison of material properties and biofilm formation in interim single crowns obtained by 3D printing and conventional methods. *J Prosthet Dent.* 2022 Jan;127(1):168-172. doi: 10.1016/j.prosdent.2020.06.026. Epub 2020 Nov 6. PMID: 33168174.

[13] Hassan, M.; Asghar, M.; Din, S.U.; Zafar, M.S. Thermoset polymethacrylate-based materials for dental applications. In *Materials for Biomedical Engineering*; Elsevier: Amsterdam, The Netherlands, 2019; pp. 273–308.

[14] Wang L, D'Alpino PH, Lopes LG, Pereira JC. Mechanical properties of dental restorative materials: relative contribution of laboratory tests. *J Appl Oral Sci.* 2003 Sep;11(3):162-7. doi: 10.1590/s1678-77572003000300002. PMID: 21394387.

[15] Figueroa RMS, Conterno B, Arrais CAG, Sugio CYC, Urban VM, Neppelenbroek KH. Porosity, water sorption and solubility of denture base acrylic resins polymerized conventionally or in microwave. *J Appl Oral Sci.* 2018; <https://doi.org/10.1590/1678-7757-2017-0383>

[16] Chim'li TB, D'Alpino PH, Pereira PN, Hilgert LA, Di Hipólito V, Garcia FC. Effects of solvent evaporation on water sorption/solubility and nanoleakage of adhesive systems. *J Appl Oral Sci.* 2014 Jul-Aug;22(4):294-301. doi: 10.1590/1678-775720130653. PMID: 25141201; PMCID: PMC4126825.

[17] Della Bona A. *Color and appearance in dentistry*. 1st edition Switzerland: Springer Cham.; 2020. <https://doi.org/10.1007/978-3-030-42626-2>

[18] Miyajiwala JS, Kheur MG, Patankar AH, Lakha TA. Comparison of photographic and conventional methods for tooth shade selection: A clinical evaluation. *J Indian Prosthodont Soc.* 2017 Jul-Sep;17(3):273-281. doi: 10.4103/jips.jips_342_16. PMID: 28936042; PMCID: PMC5601497.

[19] Albahri R, Yoon HI, Lee JD, Yoon S, Lee SJ. Shear bond strength of provisional repair materials bonded to 3D printed resin. *J Dent Sci.* 2021 Jan;16(1):261-267. doi: 10.1016/j.jds.2020.05.003. Epub 2020 May 30. PMID: 33384807; PMCID: PMC7770250.

[20] Scotti CK, Velo MMAC, Rizzante FAP, Nascimento TRL, Mondelli RFL, Bombonatti JFS. Physical and surface properties of a 3D-printed composite resin for a digital workflow. *J Prosthet Dent.* 2020 Nov;124(5):614.e1-614.e5. doi: 10.1016/j.prosdent.2020.03.029. Epub 2020 Jul 4. PMID: 32636072.

[21] Mai HN, Lee KB, Lee DH. Fit of interim crowns fabricated using photopolymer-jetting 3D printing. *J Prosthet Dent.* 2017 Aug;118(2):208-215. doi: 10.1016/j.prosdent.2016.10.030. Epub 2017 Jan 12. PMID: 28089333.

- [22] Abduo J, Lyons K, Bennamoun M. Trends in computer-aided manufacturing in prosthodontics: a review of the available streams. *Int J Dent*. 2014;2014:783948. doi: 10.1155/2014/783948. Epub 2014 Apr 8. PMID: 24817888; PMCID: PMC4000974.
- [23] Homsy FR, Özcan M, Khoury M, Majzoub ZAK. Marginal and internal fit of pressed lithium disilicate inlays fabricated with milling, 3D printing, and conventional technologies. *J Prosthet Dent*. 2018 May;119(5):783-790. doi: 10.1016/j.prosdent.2017.07.025. Epub 2017 Sep 29. PMID: 28969918.
- [24] Lee WS, Lee DH, Lee KB. Evaluation of internal fit of interim crown fabricated with CAD/CAM milling and 3D printing system. *J Adv Prosthodont*. 2017 Aug;9(4):265-270. doi: 10.4047/jap.2017.9.4.265. Epub 2017 Aug 16. PMID: 28874993; PMCID: PMC5582092.
- [25] Luiz, B.K.M.; Miranda, C.; Chain, M.C. Resinas acrílicas. In: MORITA, M. C. (Coord.) *Materiais Dentários*. São Paulo: Artes Médicas, 2013. p. 66-75.
- [26] Chain, M.C. *Materiais Dentários (Série ABENO)*. São Paulo: Artes Médicas, 2013.
- [27] Díez-Pascual AM. PMMA-Based Nanocomposites for Odontology Applications: A State-of-the-Art. *Int J Mol Sci*. 2022 Sep 7;23(18):10288. doi: 10.3390/ijms231810288. PMID: 36142201; PMCID: PMC9499310.
- [28] Ali, U.; Karim, K.J.B.A.; Buang, N.A. A Review of the properties and applications of poly (methyl methacrylate) (PMMA). *Polym. Rev*. 2015, 55, 678–705.
- [29] Alla, R.; Raghavendra, K.; Vyas, R.; Konakanchi, A. Conventional and contemporary polymers for the fabrication of denture prosthesis: Part I—overview, composition and properties. *Int. J. Appl. Dent. Sci*. 2015, 1, 82
- [30] Miettinen, V.M.; Vallittu, P.K. Water sorption and solubility of glass fiber-reinforced denture polymethyl methacrylate resin. *J. Prosthet. Dent*. 1997, 77, 531–534
- [31] Zafar, M.S. Wear behavior of various dental restorative materials. *Mater. Technol*. 2018, 33, 25–31.
- [32] Zafar, M.S.; Ahmed, N. Effects of wear on hardness and stiffness of restorative dental materials. *Life Sci. J*. 2014, 11, 11–18
- [33] Caldas, I. P. et al. A utilização de resinas bisacrílicas no planejamento estético: relato de caso clínico. *Revista Dental Press de Estética*, [s.l.], v. 10, n. 1, p. 78-88, jan/mar. 2013.
- [34] Christiani, J.J.; Devecchi, J.R. Materiales Para Prótesis Provisionales. *Actas Odontológicas* 2017, 14, 28.

[35] Ling L, Taremi N, Malyala R. A Novel Low-Shrinkage Resin for 3D Printing. *J Dent.* 2022 Mar;118:103957. doi: 10.1016/j.jdent.2022.103957. Epub 2022 Jan 14. PMID: 35038476.

[36] Lee KY, Cho JW, Chang NY, Chae JM, Kang KH, Kim SC, Cho JH. Accuracy of three-dimensional printing for manufacturing replica teeth. *Korean J Orthod.* 2015 Sep;45(5):217-25. doi: 10.4041/kjod.2015.45.5.217. Epub 2015 Sep 23. PMID: 26445716; PMCID: PMC4593866.

[37] Martorelli M, Gerbino S, Giudice M, Ausiello P. A comparison between customized clear and removable orthodontic appliances manufactured using RP and CNC techniques. *Dent Mater.* 2013 Feb;29(2):e1-10. doi: 10.1016/j.dental.2012.10.011. Epub 2012 Nov 8. PMID: 23140842.

[38] van Noort R. The future of dental devices is digital. *Dent Mater.* 2012 Jan;28(1):3-12. doi: 10.1016/j.dental.2011.10.014. Epub 2011 Nov 26. PMID: 22119539.

[39] 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.

[40] Ryu JE, Kim YL, Kong HJ, Chang HS, Jung JH. Marginal and internal fit of 3D printed provisional crowns according to build directions. *J Adv Prosthodont.* 2020 Aug;12(4):225-232. doi: 10.4047/jap.2020.12.4.225. Epub 2020 Aug 20. PMID: 32879713; PMCID: PMC7449822.

[41] Osman RB, Alharbi N, Wismeijer D. Build Angle: Does It Influence the Accuracy of 3D-Printed Dental Restorations Using Digital Light-Processing Technology? *Int J Prosthodont.* 2017 Mar/Apr;30(2):182-188. doi: 10.11607/ijp.5117. PMID: 28267830.

[42] Lee BI, You SG, You SM, Kang SY, Kim JH. Effect of rinsing time on the accuracy of interim crowns fabricated by digital light processing: An *in vitro* study. *J Adv Prosthodont.* 2021 Feb;13(1):24-35. doi: 10.4047/jap.2021.13.1.24. Epub 2021 Feb 23. Erratum in: *J Adv Prosthodont.* 2021 Apr;13(2):126. PMID: 33747392; PMCID: PMC7943752.

[43] 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.

[44] Jain S, Sayed ME, Shetty M, Alqahtani SM, Al Wadei MHD, Gupta SG, Othman AAA, Alshehri AH, Alqarni H, Mobarki AH, Motlaq K, Bakmani HF, Zain AA, Hakami AJ, Sheayria MF. Physical and Mechanical Properties of 3D-Printed Provisional Crowns and Fixed Dental Prosthesis Resins Compared to CAD/CAM Milled and Conventional Provisional Resins: A Systematic Review and Meta-

Analysis. *Polymers* (Basel). 2022 Jun 30;14(13):2691. doi: 10.3390/polym14132691. PMID: 35808735; PMCID: PMC9269394.

[45] Zaharia, C.; Gabor, A.G.; Gavrilovici, A.; Stan, A.T.; Idorasi, L.; Sinescu, C.; Negrut, iu, M.L. Digital dentistry—3D printing applications. *J. Interdiscip. Med.* 2017, 2, 50–53

[46] Ferracane JL. Hygroscopic and hydrolytic effects in dental polymer networks. *Dent Mater.* 2006 Mar;22(3):211-22. doi: 10.1016/j.dental.2005.05.005. Epub 2005 Aug 8. PMID: 16087225.

[47] Sposito, G. *The Chemistry of Soils*. 2nd ed. Oxford University Press, Inc., New York. 2008

[48] Martins, C. R., Lopes, W. A. & Andrade, J. B. (2013). Solubilidade Das Substâncias Orgânicas. *Química Nova*, 36(8), 1248-1255. 10.1590/S0100-40422013000800026

[49] ISO 20795–1:2013 Dentistry-Base Polymers-Part 1: Denture Base Polymers. Available online: <https://www.iso.org/standard/62277.html> (accessed on 24 September 2023).

[50] Craig R. G.; Peyton F. A. *Restoration Dental Materials*, 5th ed. St Louis, Mosby, pp. 427-431. 1975.

[51] Pearson GJ. Long term water sorption and solubility of composite filling materials. *J Dent.* 1979 Mar;7(1):64-8. doi: 10.1016/0300-5712(79)90041-1. PMID: 285099

[52] Ito S, Hoshino T, Iijima M, Tsukamoto N, Pashley DH, Saito T. Water sorption/solubility of self-etching dentin bonding agents. *Dent Mater.* 2010 Jul;26(7):617-26. doi: 10.1016/j.dental.2010.03.001. Epub 2010 Apr 10. PMID: 20382415.

[53] Yiu CK, King NM, Pashley DH, Suh BI, Carvalho RM, Carrilho MR, Tay FR. Effect of resin hydrophilicity and water storage on resin strength. *Biomaterials.* 2004 Nov;25(26):5789-96. doi: 10.1016/j.biomaterials.2004.01.026. PMID: 15147825.

[54] Brewer JD, Wee A, Seghi R. Advances in color matching. *Dent Clin North Am.* 2004 Apr;48(2):v, 341-58. doi: 10.1016/j.cden.2004.01.004. PMID: 15172604.

[55] 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;34(6):853–64. <https://doi.org/10.1111/jerd.12904>

[56] Song SY, Shin YH, Lee JY, Shin SW. Color stability of provisional restorative materials with different fabrication methods. *J Adv Prosthodont* 2020;12(5):259–64. <https://doi.org/10.4047/jap.2020.12.5.259>

[57] Atria PJ, Lagos I, Sampaio CS. In vitro evaluation of surface roughness, color stability, and color masking of provisional restoration materials for veneers and crowns. *Int J Comput Dent.* 2020;23(4):343-350. PMID: 33491930.

[58] Kim JE, Choi WH, Lee D, Shin Y, Park SH, Roh BD, et al. Color and translucency stability of three-dimensional printable dental materials for crown and bridge restorations. *Materials* 2021;14(3):650. <https://doi.org/10.3390/ma14030650>

[59] Berns RS. *Billmeyer and Saltzmann's Principles of Color Technology*. 3rd ed. New York (NY): Wiley; 2000.

[60] Yuan JC, Brewer JD, Monaco EA Jr, Davis EL. Defining a natural tooth color space based on a 3-dimensional shade system. *J Prosthet Dent.* 2007 Aug;98(2):110-9. doi: 10.1016/S0022-3913(07)60044-4. PMID: 17692592.

[61] Dias S, Dias J, Pereira R, Silveira J, Mata A, Marques D. Different Methods for Assessing Tooth Colour—In Vitro Study. *Biomimetics.* 2023 Aug 23;8(5):384–4.

[62] Paravina, R.D.; Pérez, M.M.; Ghinea, R. Acceptability and perceptibility thresholds in dentistry: A comprehensive review of clinical and research applications. *J. Esthet. Restor. Dent.* **2019**, *31*, 103–112.

[63] Sampaio, C.; Gurrea, J.; Gurrea, M.; Bruguera, A.; Atria, P.; Janal, M.; Bonfante, E.; Coelho, P.; Hirata, R. Dental Shade Guide Variability for Hues B, C, and D Using Cross-Polarized Photography. *Int. J. Periodontics Restor. Dent.* **2018**, *38*, s113–s118.

[64] Sampaio, C.S.; Atria, P.J.; Hirata, R.; Jorquera, G. Variability of color matching with different digital photography techniques and a gray reference card. *J. Prosthet. Dent.* **2019**, *121*, 333–339.

[65] Fairchild MD. *Color Appearance Models*. 3rd ed. New York (NY): Wiley; 2013.

[66] Hein S, Modrić D, Westland S, Tomeček M. Objective shade matching, communication, and reproduction by combining dental photography and numeric shade quantification. *J Esthet Restor Dent.* 2021 Jan;33(1):107-117. doi: 10.1111/jerd.12641. Epub 2020 Aug 24. PMID: 32840048.

[67] Cunha, LF. Estabilidade de cor de cimentos resinosos ativados de forma foto e dual em função de diferentes cores [tese]. Bauru.; Faculdade de Odontologia de Bauru; 2013 [citado 2023-12-26]. doi: 10.11606/T.25.2013.tde-22112013-112741.

[68] Chu SJ, Trushkowsky RD, Paravina RD. Dental color matching instruments and systems. Review of clinical and research aspects. *J Dent.* 2010;38 Suppl 2:e2-16. doi: 10.1016/j.jdent.2010.07.001. Epub 2010 Aug 1. PMID: 20621154.

[69] Oh WS, Pogoncheff J, O'Brien WJ. Digital computer matching of tooth color. *Materials* 2010;3:3694-9

[70] Bolt RA, Bosch JJ, Coops JC. Influence of window size in small-window colour measurement, particularly of teeth. *Phys Med Biol.* 1994 Jul;39(7):1133-42. doi: 10.1088/0031-9155/39/7/006. PMID: 15552102.

[71] Britto VT, Cantelli V, Collares FM, Bertol CD, Della Bona Á. Biomechanical properties of a 3D printing polymer for provisional restorations and artificial teeth. *Dent Mater.* 2022 Dec;38(12):1956-1962. doi: 10.1016/j.dental.2022.11.004. Epub 2022 Nov 21. PMID: 36424204.

[72] ISO 4049:2009 – Dentistry – Polymer-based filling, restorative and luting materials (2009)

[73] Malacarne J, Carvalho RM, de Goes MF, Svizero N, Pashley DH, Tay FR, Yiu CK, Carrilho MRO. Water sorption/solubility of dental adhesive resins. *Dent Mat* 22, 2006.

[74] Gad MM, Alshehri SZ, Akhamid SA, Albarrak A, Khan SQ, Alshahrani FA, Alqarawi FK. Water sorption, solubility, and translucency of 3D-printed denture base resins. *Dent. J.* 2022;10(3), 42. doi: [10.3390/dj10030042](https://doi.org/10.3390/dj10030042)

[75] Greil V, Mayinger F, Reymus M, Stawarczyk B. Water sorption, water solubility, degree of conversion, elastic indentation modulus, edge chipping resistance and flexural strength of 3D-printed denture base resins. *J Mech Behav Biomed Mater.* 2023;137:105565. doi:10.1016/j.jmbbm.2022.105565

[76] Carvalho RF, da Mata Galvão A, Campolina MG, de Mendonça LC, Soares CJ, Carvalho CN, da Silva GR. Does polishing of bleached enamel affect roughness and tooth color stability after exposure to coffee? *J Esthet Restor Dent.* 2022 Mar;34(2):351-359. doi: 10.1111/jerd.12869. Epub 2022 Jan 11. PMID: 35014755.

[77] Misilli T, Gönülol N. Water sorption and solubility of bulk-fill composites polymerized with a third generation LED LCU. *Braz Oral Res.* 2017 Sep 28;31:e80. doi: 10.1590/1807-3107BOR-2017.vol31.0080. PMID: 29019552.

[78] Huang W, Ren L, Cheng Y, Xu M, Luo W, Zhan D, Sano H, Fu J. Evaluation of the Color Stability, Water Sorption, and Solubility of Current Resin Composites. *Materials (Basel).* 2022 Sep 27;15(19):6710. doi: 10.3390/ma15196710. PMID: 36234048; PMCID: PMC9572228.

[79] Almejrads L, Yang CC, Morton D, Lin WS. The Effects of Beverages and Surface Treatments on the Color Stability of 3D-Printed Interim Restorations. *J Prosthodont.* 2022 Feb;31(2):165-170. doi: 10.1111/jopr.13377. Epub 2021 May 12. PMID: 33938081.

[80] Rizzante F, Bueno T, Guimarães G, Moura G, Teich S, Furuse A, Mendonça G. Comparative physical and mechanical properties of a 3D printed temporary crown and bridge restorative material. *J Clin Exp Dent*. 2023 Jun 1;15(6):e464-e469. doi: 10.4317/jced.60507. PMID: 37388428; PMCID: PMC10306384.

[81] Yao Q, Morton D, Eckert GJ, Lin WS. The effect of surface treatments on the color stability of CAD-CAM interim fixed dental prostheses. *J Prosthet Dent*. 2021 Aug;126(2):248-253. doi: 10.1016/j.prosdent.2020.05.017. Epub 2020 Aug 21. PMID: 32829886.

[82] Espinar C, Bona AD, Pérez MM, Tejada-Casado M, Pulgar R. The influence of printing angle on color and translucency of 3D printed resins for dental restorations. *Dent Mater*. 2023 Apr;39(4):410-417. doi: 10.1016/j.dental.2023.03.011. Epub 2023 Mar 11. PMID: 36914433.

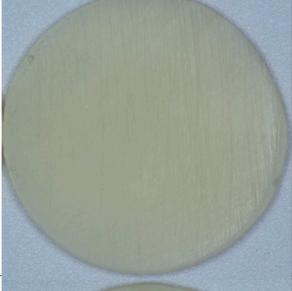
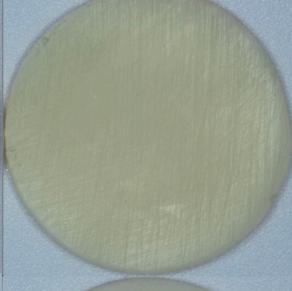
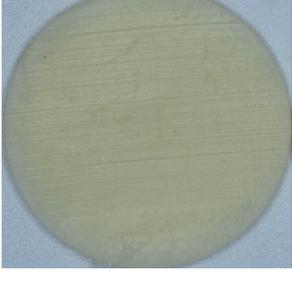
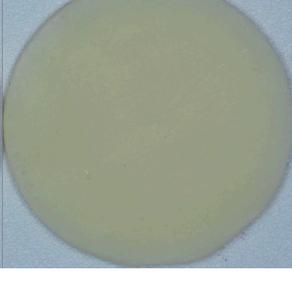
[83] Bagheri R, Burrow MF, Tyas M. Influence of food-simulating solutions and surface finish on susceptibility to staining of aesthetic restorative materials. *J Dent*. 2005 May;33(5):389-98. doi: 10.1016/j.jdent.2004.10.018. Epub 2004 Dec 9. PMID: 15833394.

8. PRESS RELEASE

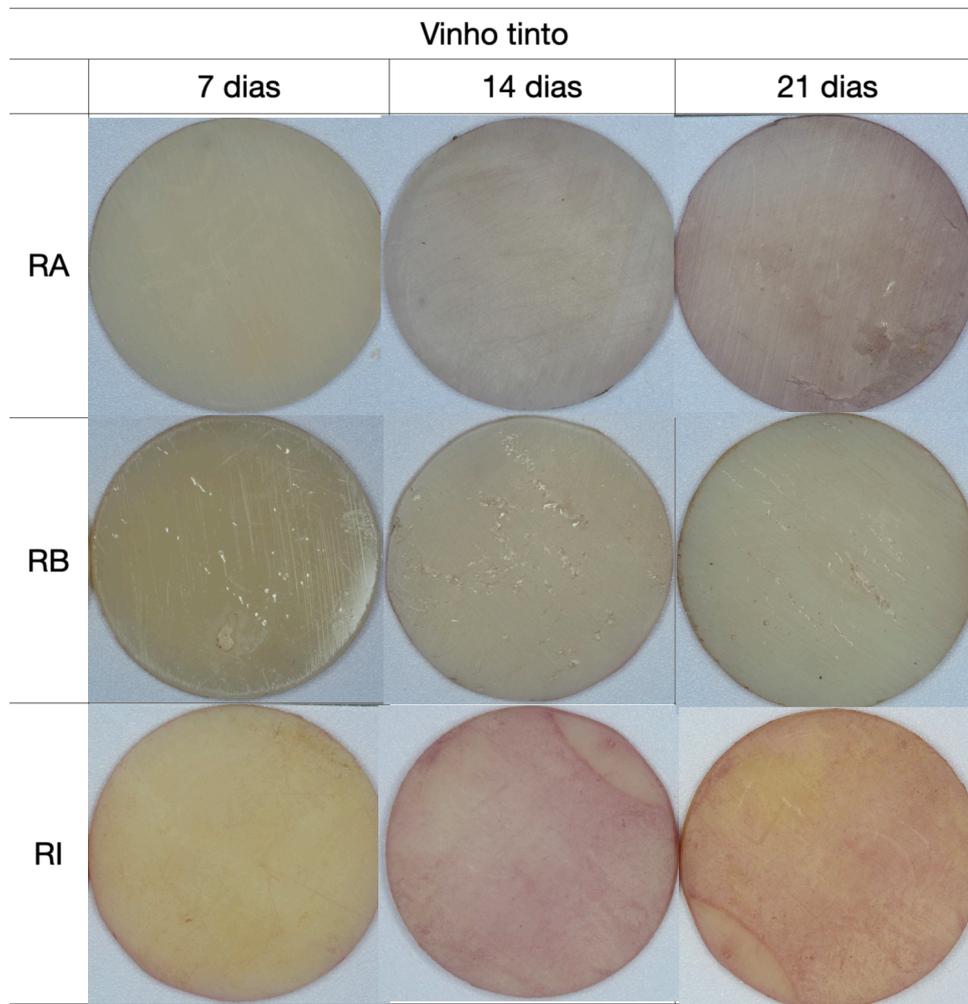
As coroas provisórias são uma etapa importante do tratamento reabilitador e normalmente são confeccionadas em resinas acrílicas autopolimerizáveis ou resinas bisacrílicas, mas atualmente as resinas impressas têm sido utilizadas na prática clínica. Como se trata de um material novo e em evolução, foi proposto analisar a microdureza, sorção e solubilidade e alteração de cor desses materiais imersos em soluções consideradas com potencial de manchamento dos dentes. Foi observado que a resina para impressão teve maior alteração de cor quando imersas no vinho tinto e no café, e maior sorção, ou seja, maior capacidade de absorver água do que nas outras resinas testadas. No restante dos testes, não houve diferença entre os três materiais. No entanto, como se trata de um material novo e que está em constante evolução, novos estudos precisam ser realizados para analisar seu desempenho clínico, além de avaliar diferentes marcas comerciais, técnicas e características de impressão, entre outros fatores.

9. APÊNDICE

Apêndice A – Mudança de cor das resinas acrílicas (RA), resinas bisacrílicas (RB) e resinas impressas (RI) em 7, 14 e 21 dias em água destilada.

		Água Destilada		
		7 dias	14 dias	21 dias
RA				
RB				
RI				

Apêndice B – Mudança de cor das resinas acrílicas (RA), resinas bisacrílicas (RB) e resinas impressas (RI) em 7, 14 e 21 dias em vinho tinto.



Apêndice C – Mudança de cor das resinas acrílicas (RA), resinas bisacrílicas (RB) e resinas impressas (RI) em 7, 14 e 21 dias em café.

Café			
	7 dias	14 dias	21 dias
RA			
RB			
RI			