



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
“JÚLIO DE MESQUITA FILHO”
Campus de Araçatuba

HIGOR HENRIQUE DA COSTA SANTOS

**Efeito de diferentes solventes orgânicos nas propriedades
mecânicas de PMMA para CAD/CAM, polidos com pontas
de silicone revestidas com diamante**

Araçatuba - SP
2024

HIGOR HENRIQUE DA COSTA SANTOS

Efeito de diferentes solventes orgânicos nas propriedades mecânicas de PMMA para CAD/CAM, polidos com pontas de silicone revestidas com diamante

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Faculdade de Odontologia de Araçatuba da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” – UNESP, como parte dos requisitos para a obtenção do título de Bacharel em Odontologia.

Orientador: Prof. Assoc. Aldiéris Alves Pesqueira

Com amor, aos meus pais Elton,
Aparecida e Emerson, por todos os
ensinamentos e cuidados para que
fosse possível a realização desse
sonho.

AGRADECIMENTOS

À **Faculdade de Odontologia de Araçatuba – UNESP**, por ter me proporcionado um ensino de excelente nível.

À **Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP)**, pelo apoio financeiro, concedido por meio do Processo nº 2023/11290-1.

A **Deus**, por ter me protegido e abençoado com saúde para que pudesse realizar todos os meus objetivos e resistir a todas as dificuldades enfrentadas no decorrer do processo.

Ao meu orientador, **professor Aldiéris Alves Pesqueira**, ao conceder a oportunidade de fazer parte da área acadêmica através da pesquisa científica, assim como na orientação deste trabalho de conclusão de curso. Sou muito grato por ter participado do seu time de orientados (Ana Beatriz, Victor e Kevin) e pela honra de vivenciar e aprender com o senhor. Agradeço também pela confiança depositada em minha pessoa e por sempre proporcionar momentos espontâneos de risadas concomitantemente com ensinamentos. Deixo aqui minha admiração pelo senhor tanto profissionalmente como também como ser humano.

Ao **professor João Pedro Limírio**, que sempre me ajudou e ensinou com prontidão e de bom humor, além de ter colaborado com este trabalho. Se tornou um grande amigo no decorrer das idas ao departamento e agradeço imensamente por ter aceitado o convite em participar da banca examinadora.

Ao **professor Leonardo Faverani**, pessoa a qual admiro pela gentileza, simpatia e empatia que demonstrou quando tive o primeiro contato, além de ser um excelente professor e profissional da área da saúde. Deixo aqui os meus sinceros agradecimentos por todo ensinamento e pelo aceite de ser banca examinadora.

À mestranda **Ana Beatriz de Souza Albergardi**, que teve todo empenho e paciência para me ajudar e auxiliar com a pesquisa, como também por todo o ensinamento concedido.

Ao doutorando **Victor Alves Nascimento**, gostaria de agradecer o acolhimento, bem como os ensinamentos acerca do ambiente de pesquisa científica.

Aos meus pais, **Emerson Aparecido, Aparecida Fátima e Elton Benedito** que me apoiaram desde sempre, sem medir esforços, com toda luta e perseverança fizeram de seus sonhos, os meus sonhos e que caminharão sempre ao meu lado. Incansavelmente agradeço a sabedoria e discernimento que vocês me deram para poder correr atrás dos meus objetivos e realizações, que não são poucos e nem tão fáceis de serem alcançados. Obrigado por acreditarem em seu filho e por todo o apoio concedido!

À minha namorada, **Karolini Poletto**, por todo incentivo nos momentos de incertezas e dificuldades.

Aos meus amigos, **Arthur Nascimento e André Bueno**, pessoas as quais conheci desde o primeiro dia de aula e compartilho boas lembranças, além de que poder enfrentar as dificuldades e anseios da graduação ao lado de vocês fizeram o caminho se tornar mais sutil e prazeroso.

À minha tia **Sônia Naves**, por ter cuidado e amparado meu pai nos momentos mais difíceis, que impossibilitariam até mesmo de concluir a graduação com leveza e serenidade.

Aos **demaís amigos da turma 65**, na qual tive o prazer de conhecer e conviver.

À **toda a minha família**, que me apoiaram e incentivaram seguir no caminho apesar de todos os empecilhos. Obrigado!

“Educar não é repetir palavras,
é criar ideias, é encantar”.

Augusto Cury

RESUMO

SANTOS, HHC. **Efeito dos diferentes solventes orgânicos nas propriedades mecânicas de PMMA para CAD/CAM, polidos com pontas de silicone revestidas com diamante.** 2024. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Odontologia) – Faculdade de Odontologia, Universidade Estadual Paulista (UNESP), Araçatuba, 2024.

O objetivo deste estudo foi caracterizar a superfície e analisar as propriedades mecânicas de bloco de PMMA para CAD/CAM, polidos com pontas de silicone revestidas com diamante e imersos em solventes orgânicos simuladores de alimentos (IA, IE, IH e IC). O estudo avaliou quatro fatores: (1) uso de bloco pré-fabricado de polímero (PMMA) para o sistema CAD/CAM;

(2) tratamento de superfície (POG) com o sistema de polimento universal OptraGloss da Ivoclar, utilizando pontas de silicone revestidas com diamante; (3) imersão em 04 solventes orgânicos simuladores de alimentos (4) análise em três períodos distintos em T°C 37°C (T0 - após 24 horas do tratamento de superfície, armazenados em condições secas a 37°C (baseline); T1 - após 24 h de imersão em IA, IE, IH e IC a 37°C e T2 - após 7 dias de imersão nos solventes. Foram consideradas as variáveis respostas: rugosidade superficial (Ra); e análise das propriedades mecânicas, por meio da microdureza Knoop (MK), resistência flexural (RF) e módulo de elasticidade (ME). Os dados quantitativos foram submetidos ao Anova dois fatores e ao teste Post-hoc Tukey ($p < 0,05$). Para Ra, houve um aumento do valor de Ra de ($p = 0,0104$), quando comparado o T0 e o T2 da mesma forma para IE ($p = 0,0231$). Já o Heptano apresentou diferença significativa ($p = 0,0047$) tendo aumentado sua rugosidade quando comparado T0 e T1. O Ácido Cítrico não apresentou diferença entre os períodos testados. Com relação a MK no período T1 o Etanol Absoluto apresentou redução nos valores com diferença estatística ($p < 0,0001$) em comparação ao Ácido Cítrico, Heptano e Água Destilada e no período T2 o Etanol absoluto novamente apresentou os menores valores de MK. Além disso, para água

destilada e para o etanol absoluto, o período T2 apresentou os menores valores de MK com diferença significativa quando comparado a T0 e T1 ($p < 0,0001$). Na análise de RF no período T2 o Etanol Absoluto apresentou o menor valor de RF com diferença significativa do Ácido Cítrico, da Água Destilada e do Heptano ($p < 0,0001$). Comparando as imersões separadamente em T0 e T1 todas as imersões causaram uma redução na RF com diferença significativa ($p < 0,0001$) e aumento entre T1 e T2. Já no teste de ME no período T1 o Etanol Absoluto apresentou os menores valores com diferença estatística ($p = 0,0225$) quando comparado ao Ácido Cítrico, assim como no período T2 essa mesma diferença significativa foi observada em relação a Água Destilada, Heptano e Ácido Cítrico. Ademais todas as imersões apresentaram diminuição significativa nos valores de ME entre T0 e T1 ($p < 0,0001$), assim como entre T0 e T2, com exceção do heptano. Com isso, conclui-se que os solventes simuladores de alimentos alteram a rugosidade superficial e prejudicam as propriedades mecânicas do PMMA CAD/CAM, sendo o etanol absoluto o que mostra ser mais prejudicial.

Palavras-chave: Fabricação assistida por computador CAD-CAM, Polimetil metacrilato; United States Food and Drug Administration.

ABSTRACT

SANTOS, HHC. **Effect of different organic solvents on the mechanical properties of PMMA for CAD/CAM, polished with diamond-coated silicone tips**. 2024. Course Completion Work (Bachelor of Dentistry) – Faculty of Dentistry, Universidade Estadual Paulista (UNESP), Araçatuba, 2024.

The objective of this study was to characterize the surface and analyze the mechanical properties of the PMMA block for CAD/CAM, polished with diamond-coated silicone tips and immersed in food-simulating organic solvents (distilled water, absolute ethanol, heptane and citric acid). The study evaluated four factors: (1) use of prefabricated polymer block (PMMA) for the CAD/CAM system; (2) surface treatment (POG) with Ivoclar's OptraGloss universal polishing system, using diamond-coated silicone tips; (3) organic solvents in 04 food simulants (I): distilled water (IA), absolute ethanol - Merck (IE), heptane (IH) and citric acid (Ic) (4) analysis in three distinct periods (T0 - after 24 hours of surface treatment, stored in dry conditions at 37°C (baseline); IE, IH and IC at 37°C The following variables were considered: surface roughness (Ra) for surface characterization and property analysis. mechanical, through (2.1) Knoop microhardness (MK), (2.2) flexural strength (RF) and (2.3) modulus of elasticity (ME). Quantitative data were subjected to two-factor ANOVA (Immersion and aging time) and. to the Post-hoc Tukey test with a significance level of 5%. For Ra, there was an increase with a significant difference in the roughness value of Distilled Water with a significant difference ($p=0.0104$), when comparing T0 and T2. which was also repeated in the Absolute Ethanol analysis with lower roughness in T0 with a significant difference ($p= 0.0231$) compared to T1 and T2, also showing statistically different ($p=0.0162$). Heptane, on the other hand, showed a significant difference ($p=0.0047$) having increased its roughness when comparing T0 and T1. Citric Acid showed no difference between the periods tested. Regarding MK in the T1 period, Absolute Ethanol showed a reduction in values with a statistical difference ($p<0.0001$) compared to Citric Acid, Heptane and Distilled Water and in the T2 period, Absolut Ethanol again presented the lowest MK values. Furthermore, for distilled water and absolute ethanol, the T2 period presented the lowest MK values with a significant difference when compared to T0 and T1 ($p<0.0001$). In the RF analysis in the T2 period, Absolute Ethanol presented the lowest RF value with a significant difference for Citric Acid, Distilled Water and Heptane ($p <0.0001$). Comparing the immersions

separately at T0 and T1, all immersions caused a reduction in RF with a significant difference ($p < 0.0001$) and increase between T1 and T2. In the ME test in period T1, Absolute Ethanol presented the lowest values with statistical difference ($p = 0.0225$) when compared to Citric Acid, as well as in period T2 this same significant difference was observed in relation to Distilled Water, Heptane and Citric acid. Furthermore, all immersions were significantly significant in ME values between T0 and T1 ($p < 0.0001$), as well as between T0 and T2, with the exception of heptane. Therefore, it is concluded that food simulating solvents alter the surface roughness and impair the mechanical properties of PMMA CAD/CAM, with absolute ethanol proving to be especially harmful.

Keywords: Computer-Aided Design, Polymethyl Methacrylate, United States Food and Drug Administration

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Delineamento experimental	19
Figura 2 – Espécime de PMMA CAD/CAM 14x4x1mm	19
Figura 3 – Kit de polimento – OptraGloss (P _{OG})	20
Figura 4 – Polimento com pontas de silicone revestidas com diamante – OptraGloss (P _{OG})	21
Figura 5 – Espécimes armazenados secos	21
Figura 6 – Média e desvio padrão da rugosidade superficial (Ra) após os diferentes períodos de imersão (T0, T1 e T2) nos solventes orgânicos: água destilada (IA), etanol absoluto (IE), heptano (IH) e ácido cítrico (Ic).	23
Figura 7 – Média e desvio padrão da Microdureza Knoop (MK) após os diferentes períodos de imersão (T0, T1 e T2) nos solventes orgânicos: água destilada (IA), etanol absoluto (IE), heptano (IH) e ácido cítrico (Ic).	24
Figura 8 – Média e desvio padrão da resistência à flexão (RF) após os diferentes períodos de imersão (T0, T1 e T2) nos solventes orgânicos: água destilada (IA), etanol absoluto (IE), heptano (IH) e ácido cítrico (Ic).	25
Figura 9 – Média e desvio padrão do módulo de elasticidade (ME) após os diferentes períodos de imersão (T0, T1 e T2) nos solventes orgânicos: água destilada (IA), etanol absoluto (IE), heptano (IH) e ácido cítrico (Ic).	27

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Delineamento Experimental

17

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Divisão dos grupos de acordo com tratamento de superfície, 18
solvente de imersão, variáveis respostas, número de espécime e tempos de
análises realizados.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	13
2. OBJETIVO.....	15
2.1 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	15
3. MATERIAIS E MÉTODOS	15
3.1 DELINEAMENTO EXPERIMENTAL.....	15
3.2 FORMAÇÃO DOS GRUPOS	16
3.3 FABRICAÇÃO DOS ESPÉCIMES.....	17
3.4 ACABAMENTO E POLIMENTO DOS ESPÉCIMES.....	18
3.5 TRATAMENTO DE SUPERFÍCIE.....	18
3.6 PROCEDIMENTOS DE ENVELHECIMENTO <i>IN VITRO</i>	20
3.7 VARIÁVEIS RESPOSTAS	20
3.7.1 <i>Rugosidade de superfície (Ra)</i>	20
3.7.2 <i>Dureza knoop (MK)</i>	20
3.7.3 <i>Resistência Flexural (RF)</i>	21
3.7.4 <i>Módulo de Elasticidade (ME)</i>	21
3.8 PERÍODOS DE ANÁLISE	21
4. RESULTADOS	22
4.1 RUGOSIDADE SUPERFICIAL (RA).....	22
4.2 MICRODUREZA KNOOP (MK).....	23
4.3 RESISTÊNCIA À FLEXÃO (RF)	25
4.4 MÓDULO DE ELASTICIDADE (ME).....	26
5. DISCUSSÃO	27
6. Conclusão	31
7. Referências.....	32

1. INTRODUÇÃO

Atualmente, as restaurações provisórias contemporâneas são essenciais para o sucesso do tratamento reabilitador, por meio proteção da estrutura dentária preparada, da polpa e dos tecidos periodontais, bem como mantêm as funções de mastigação, fonética e estética.¹ Com a evolução dos materiais restauradores, as restaurações provisórias confeccionadas pelo sistema CAD/CAM, se destacam por tornar o processo de fabricação de provisórios pelo cirurgião dentista mais fácil e eficiente, resultando em restaurações provisórias mais resistentes e duráveis, além disso, o sistema CAD/CAM permite a fresagem de restaurações provisórias ou definitivas fresadas a partir de blocos pré-processados após a preparação do dente em uma única sessão clínica, no próprio consultório, proporcionando maior conforto ao paciente.^{2,3}

Materiais à base de polímeros, como o polimetilmetacrilato (PMMA) para CAD/CAM tornaram o material de escolha para as restaurações temporárias devido à sua estabilidade de cor e adaptação marginal precisa em comparação com a resina acrílica processada convencionalmente. Ainda oferecem propriedades mecânicas superiores em comparação com restaurações provisórias tradicionais, sendo ideais para restaurações de longo prazo em reabilitações orais complexas que exigem resistência mecânica e estabilidade de cor.^{3,4,5}

Independente dos avanços dos materiais restauradores, sua exposição ao ambiente bucal, faz com que flutuações químicas, mecânicas e biológicas comprometam sua integridade e durabilidade. Os sais, ácidos, álcalis e álcoois derivados da saliva, dieta, higiene oral ou produzidos naturalmente por microrganismos orais, afetar as propriedades superficiais, mecânicas e microbiológicas das restaurações.⁶ As soluções simuladoras de alimentos têm sido usadas para envelhecer e testar a durabilidade de diferentes materiais restauradores, simulando o ambiente químico bucal com substâncias como etanol (presente em bebidas), ácido cítrico (de vegetais, frutas e açúcar), e heptano (simulando manteiga, carnes gordurosas e óleos vegetais). Estas soluções, aprovadas pela Food and Drug Administration (FDA) dos EUA, degradam compostos para CAD/CAM por meio da difusão de solventes entre partículas de carga ou fibras e a matriz. A água, outro

solvente orgânico, também afeta negativamente a durabilidade de restaurações à base de PMMA.^{7,8,9}

A qualidade da superfície do material influencia diretamente na sua deterioração^{10,11}, diante disso, Como resultado, foram desenvolvidas várias técnicas para o polimento de materiais provisórios, incluindo o uso de pedras abrasivas com granulação decrescente e, ocasionalmente, pasta de óxido de alumínio.^{10,11} Superfícies ásperas estão associadas ao acúmulo de biofilme, doença periodontal, cárie secundária e pigmentação, além de reduzirem a resistência mecânica dos materiais restauradores e aumentarem o risco de fraturas por microfissuras.^{12,13} Por essas razões, é de fundamental importância polir de forma eficiente a superfície das restaurações provisórias para aumentar sua resistência à deterioração no ambiente bucal e prolongar sua vida útil clínica. Novos polidores, como o sistema de polimento Optragloss da Ivoclar Vivadent, utilizam partículas de diamante e óxido de alumínio para melhorar o efeito de polimento. Até o momento, não há estudos que tenham investigado os efeitos das soluções simuladoras de alimentos (etanol, ácido cítrico, heptano) nas propriedades superficiais e mecânicas dos blocos de PMMA para CAD/CAM, nem os efeitos do sistema de polimento Optragloss nesses materiais.

2. OBJETIVOS

Dessa forma, o objetivo geral deste estudo foi caracterizar a superfície e analisar as propriedades mecânicas de bloco de PMMA para CAD/CAM, polidos com pontas de silicone revestidas com diamante e imersos em solventes orgânicos simuladores de alimentos (água destilada, etanol absoluto, heptano e ácido cítrico).

2.1 Objetivos específicos

- I. Caracterizar a superfície de bloco de PMMA para CAD/CAM após tratamento de superfície com pontas de silicone revestidas com diamante e imersão (I) em 04 solventes orgânicos simuladores de alimentos (I): água destilada (IA), etanol absoluto - Merck (IE), heptano (IH) e ácido cítrico (IC), por meio da rugosidade superficial (Ra);
- II. Avaliar as propriedades mecânicas de bloco de PMMA para CAD/CAM após tratamento de superfície com pontas de silicone revestidas com diamante e imersão (I) em 04 solventes orgânicos simuladores de alimentos (I): água destilada (IA), etanol absoluto - Merck (IE), heptano (IH) e ácido cítrico (IC), por meio da microdureza knoop (MK); resistência flexural (RF) e módulo de elasticidade (ME).

Hipótese:

A hipótese nula testada foi que não haverá diferença significativa na rugosidade superficial, microdureza knoop, resistência flexural e módulo de elasticidade do bloco de PMMA para CAD/CAM, independente do solvente orgânico simulador de alimentos e dos diferentes períodos de análise.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 Delineamento experimental

O estudo avaliou quatro fatores: (1) uso de bloco pré-fabricado de polímero (PMMA) para o sistema CAD/CAM; (2) tratamento de superfície (POG) com o sistema de polimento universal OptraGloss da Ivoclar, utilizando pontas de silicone revestidas

com diamante; (3) imersão em 04 solventes orgânicos simuladores de alimentos (I): água destilada (I_A), etanol absoluto - Merck (I_E), heptano (I_H) e ácido cítrico (I_C) (4) análise em três períodos distintos (T_0 - após 24 horas do tratamento de superfície, armazenados em condições secas a 37°C (baseline); T_1 - após 24 h de imersão em I_A , I_E , I_H e I_C a 37°C e T_2 - após 7 dias de imersão em I_A , I_E , I_H e I_C a 37°C. Foram consideradas as variáveis respostas: rugosidade superficial (R_a) para caracterização da superfície; e análise das propriedades mecânicas, por meio da (2.1) microdureza Knoop (MK), (2.2) resistência flexural (RF) e (2.3) módulo de elasticidade (ME).

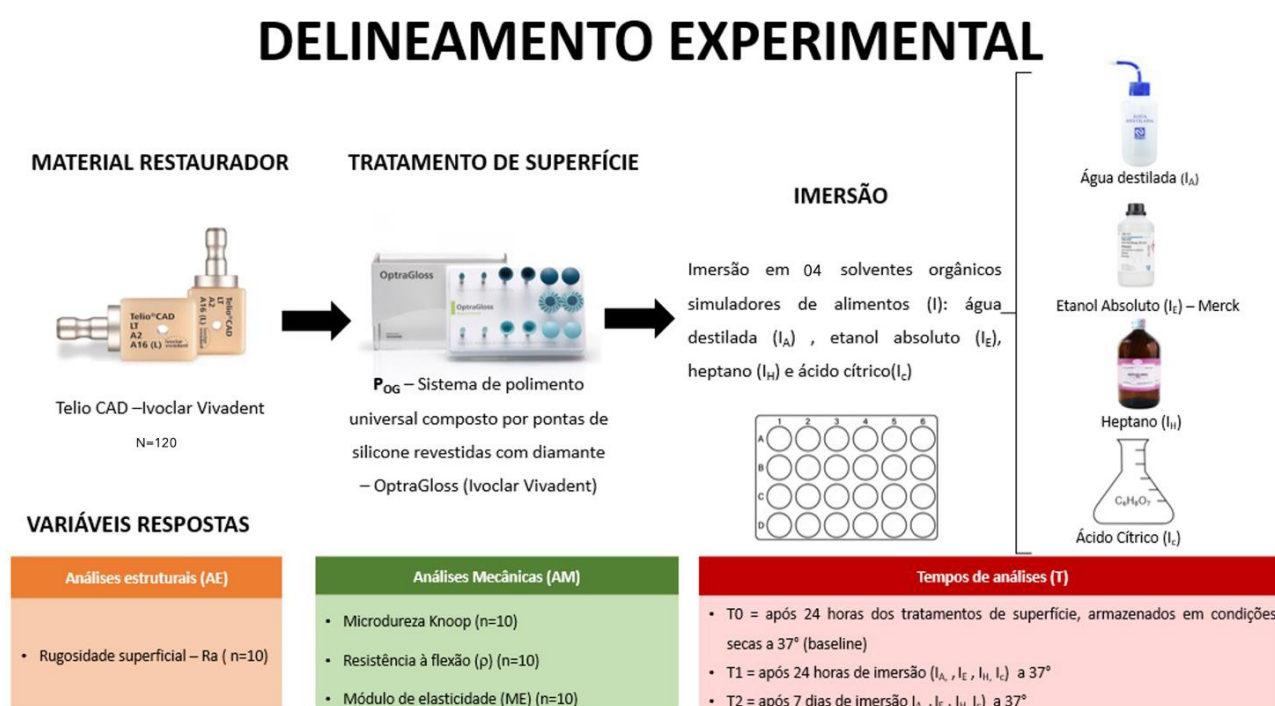


Figura 1. Delineamento experimental

3.2 Formação dos grupos

Foram confeccionados 120 espécimes de polímeros de PMMA para CAD/CAM em formato de barras 14x4x1mm^{14,15} divididos em grupos de acordo com o solvente de imersão, variáveis respostas, número de espécime e tempos de análises realizados, conforme detalhado na Figura 1 e no Quadro 1.

Quadro 1. Divisão dos grupos de acordo com tratamento de superfície, solvente de imersão, variáveis respostas, número de espécime e tempos de análises realizados.

TRATAMENTO	SOLVENTE DE IMERSÃO	VARIÁVEIS/Nº DE ESPÉCIMES	TEMPOS	TOTAL
------------	---------------------	---------------------------	--------	-------

P _{OG}	ÁGUA DESTILADA	Ra, MK, RF, ME (n=10)	T ₀ T ₁ T ₂	30
	ETANOL ABSOLUTO	Ra, MK, RF, ME (n=10)	T _B T ₁ T ₂	30
	HEPTANO	Ra, MK, RF, ME (n=10)	T _B T ₁ T ₂	30
	ÁCIDO CÍTRICO	Ra, MK, RF, ME (n=10)	T _B T ₁ T ₂	30

3.3 Fabricação dos Espécimes

Os blocos de PMMA (Telio CAD, Ivoclar Vivadent, Schaan, Liechtenstein) foram cortados com disco diamantado em baixa rotação (300 rpm), sob irrigação abundante, e carga de 300g/f em cortadeira metalográfica (Isomet® 1000, Buehler, Illinois, USA).



Fonte: Elaborado pelo autor, 2024

Figura 2: Espécime de PMMA CAD/CAM com 14x4x1mm.

3.4 Acabamento e polimento dos espécimes

Após serem segmentados, os espécimes foram submetidos a acabamento para remoção das irregularidades das bordas e/ou os excessos, utilizando um micromotor (Kavo, Joinville, SC, Brasil) com broca minicut (Edenta, Hauptstrasse, Suíça). Em seguida, foram submetidos a um banho em lavadora ultrassônica (Unique USC 2850, São Paulo, Brasil) por 5 minutos em água destilada e secados à ar. Foram realizadas três mensurações da altura, largura e espessura com um paquímetro digital (Paquímetro Digital Digimatic, Mitutoyo Sul Americana Ltda, Santo Amaro, SP, Brasil). Posteriormente, foi realizado o tratamento de superfície conforme proposto no estudo.

3.5 Tratamento de superfície

Foi realizado o polimento utilizando o sistema de polimento universal de passo único (OptraGloss, Ivoclar) (P_{OG}), composto por pontas de silicone revestidas com diamante. O procedimento foi realizado a seco, seguindo a recomendação do fabricante, utilizando uma ponta azul-claro por 1 minuto com pressão intermitente e movimentos ligeiramente rotativos sobre a superfície dos espécimes, utilizando um contra-ângulo de baixa rotação de 8000 rpm. Após o polimento, os espécimes foram lavados com água destilada e secos com jatos de ar. Em seguida, foram armazenados em condições secas a 37°C por 24 horas antes da realização da leitura inicial das variáveis respostas do estudo (T_0 = leitura inicial - *baseline*).



Fonte: Elaborado pelo autor, 2024

Figura 3: Kit de polimento – OptraGloss (P_{OG}).



Fonte: Elaborado pelo autor, 2024

Figura 4: Polimento com pontas de silicone revestidas com diamante – OptraGloss (POG).



Fonte: Elaborado pelo autor, 2024

Figura 5: Espécimes armazenados secos.

3.6 Procedimentos de envelhecimento *in vitro*

Os espécimes foram imersos (I) em 04 solventes orgânicos simuladores de alimentos: água destilada (I_A), etanol absoluto - Merck (I_E), heptano (I_H) e ácido cítrico (I_C), por períodos de 1 (T1) e 7 dias (T2)^{7,9}. Cada espécime foi armazenado individualmente em poços de uma placa para cultura de células de 24 poços (Kasvi), submerso em 3ml dos solventes orgânicos, e mantidos a 37°C em estufa. Após o período de imersão, os espécimes foram retirados do meio, lavados com água destilada e secos cuidadosamente com jatos de ar.

3.7 Variáveis Respostas

CARACTERIZAÇÃO DA SUPERFÍCIE

3.7.1 Rugosidade de superfície (Ra)

A leitura de rugosidade de superfície foi determinada por meio de rugosímetro portátil (SJ-410, Mitutoyo Sul Americana Ltda, Santo Amaro, SP, Brasil). As leituras foram realizadas por um mesmo operador. Foram realizadas três mensurações (centro, direita e esquerda ao centro) em cada espécime. Os seguintes parâmetros foram utilizados: cut-off de 0,25mm a uma velocidade de 0,05mm/s durante 12 segundos. Os valores originais foram em Angström (Å) e transformados para a escala micrométrica (µm).

PROPRIEDADES MECÂNICAS

3.7.2 Dureza knoop (MK)

Para a análise da microdureza Knoop (MK) (n=10), os espécimes foram submetidos a leituras em microdurômetro (HMV 2000 Shimadzu, Tokyo, Japão), com carga estática de 100 g por 15 segundos. Em cada tempo de análise, foram realizadas três endentações na região central do espécime com distância de 100µm entre cada

indentação e o valor da MK de cada espécime foi estipulado pela média destes valores.

3.7.3 Resistência Flexural (RF)

Os valores de resistência à flexão foram obtidos por meio da realização do teste de flexão de três pontos de acordo com ISO 6872: 200844, utilizando uma máquina universal de ensaio (Emic DL 2000®, Emic, São José dos Pinhais, PR, Brasil). O espécime foi montado sobre suportes metálicos, em seguida, foi aplicada uma força compressiva vertical no centro de cada espécime a uma velocidade de 1mm/min até a ruptura do espécime. A carga máxima de fratura será registrada e a resistência à flexão (ρ) será em Megapascal (Mpa), por meio da seguinte fórmula 1: $\rho = 3fl/2bh^2$.

Em que: ρ = Resistência à flexão; f = carga de fratura, em Newtons, aplicada sobre o espécime; l = distância entre os suportes (= 10mm); b = largura do espécime; em milímetros; h = espessura do espécime, em milímetros. As dimensões de cada espécime foram aferidas previamente ao ensaio de flexão.¹⁶

3.7.4 Módulo de Elasticidade (ME)

Os valores do módulo de elasticidade ou módulo de Young foram obtidos juntamente com o ensaio de resistência à flexão e registrados em MPa e posteriormente convertidos em Gigapascal (GPa), por meio da seguinte fórmula

$$2: ME = [(fl^3)/(4bh^3d)].$$

Onde: f é a carga aplicada em N; d é a deflexão causada pela carga f em mm e l , b , h são as variáveis definidas na fórmula 1.

3.8 Períodos de análise

A análise em três períodos distintos (T_0 - após 24 horas do tratamento de superfície, armazenados em condições secas a 37°C (baseline); T_1 - após 24 h de imersão em I_A , I_E , I_H e I_C a 37°C e T_2 - após 7 dias de imersão em I_A , I_E , I_H e I_C a 37°C.

4. RESULTADOS

CARACTERIZAÇÃO DA SUPERFÍCIE

4.1 Rugosidade superficial (Ra)

Os resultados de rugosidade superficial estão descritos na Figura 6. O teste de ANOVA indicou uma diferença estatisticamente significativa para a interação entre os dois fatores: imersão e período de envelhecimento ($f=6,32$; $p<0,0001$).

Quando comparadas dentro do mesmo período (T_0 , T_1 e T_2), não foram observadas diferenças significativas entre as imersões durante o período T_0 . No período T_1 , o ácido cítrico apresentou a menor rugosidade ($0,10\mu\text{m}$), com diferença estatisticamente significativa em comparação com o etanol absoluto ($0,1538\mu\text{m}$) ($p=0,0014$) e ao heptano ($0,22\mu\text{m}$) ($p=0,0004$). Além disso, o heptano apresentou uma rugosidade significativamente maior do que o etanol absoluto ($0,15\mu\text{m}$) ($p=0,0059$) e a Água Destilada ($0,1386\mu\text{m}$) ($p=0,0021$). No período T_2 , o ácido cítrico também mostrou diferença estatística significativa, com menor rugosidade ($0,1212\mu\text{m}$) em relação ao etanol absoluto ($0,1566\mu\text{m}$) ($p=0,0177$), ao heptano ($0,1644\mu\text{m}$) ($p=0,0447$) e à água destilada ($0,203\mu\text{m}$) ($p=0,0117$).

Ao avaliar cada imersão separadamente e seus respectivos períodos de envelhecimento, observou-se um aumento significativo na rugosidade da água destilada ($0,1244\mu\text{m}$ no T_0 *versus* $0,203\mu\text{m}$ no T_2), com diferença estatisticamente significativa ($p = 0,0104$). Este padrão também foi observado no etanol absoluto, onde a rugosidade foi menor no T_0 ($0,1244\mu\text{m}$), com diferenças significativas em relação ao T_1 ($0,1538\mu\text{m}$) e T_2 ($0,1566\mu\text{m}$), ambos com diferenças estatisticamente significativas ($p = 0,0231$ e $p = 0,0162$, respectivamente). Por outro lado, o heptano mostrou um aumento significativo na rugosidade entre os períodos T_0 ($0,1244\mu\text{m}$) e T_1 ($0,2282\mu\text{m}$) ($p = 0,0047$). Não foram observadas diferenças significativas nos períodos testados para o ácido cítrico.

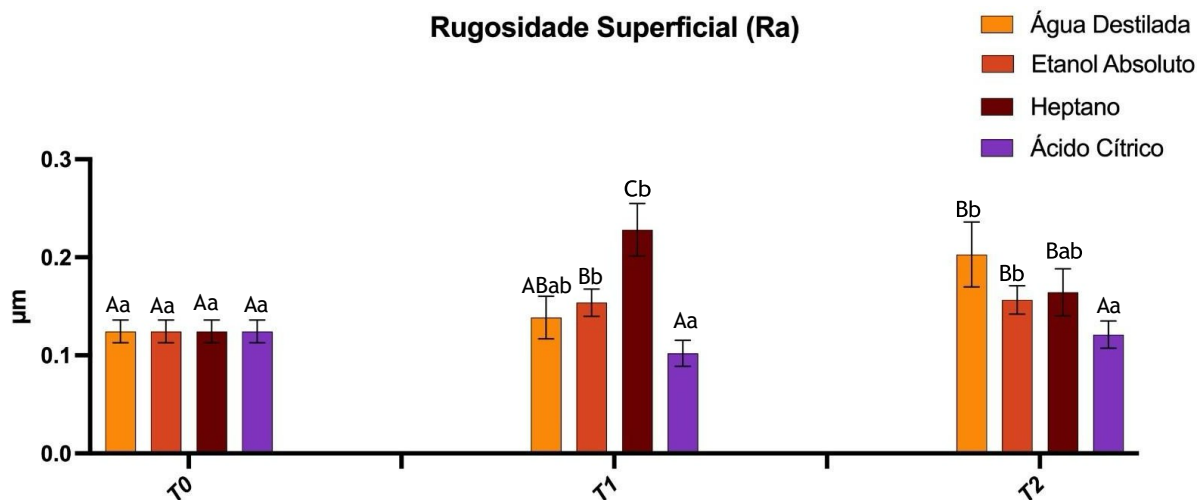


Figura 6. Média e desvio padrão da rugosidade superficial (Ra) após os diferentes períodos de imersão (T₀, T₁ e T₂) nos solventes orgânicos: água destilada (I_A), etanol absoluto (I_E), heptano (I_H) e ácido cítrico (I_C).

Legenda: Letras maiúsculas diferentes indicam diferença significativa entre as imersões (água destilada, etanol absoluto, heptano e ácido cítrico) dentro do mesmo período ($p < 0.05$). Letras minúsculas diferentes indicam diferença significativa de cada imersão, entre os diferentes períodos avaliados ($p < 0.05$).

PROPRIEDADES MECÂNICAS

4.2 Microdureza Knoop (MK)

Os resultados de Microdureza Knoop estão descritos na Figura 7. O teste de ANOVA indicou que houve diferença estatisticamente significante para a interação entre os dois fatores: imersão e período de envelhecimento ($f=6.72$; $p < 0.0001$).

Na comparação entre as imersões dentro do mesmo período (T₀, T₁ e T₂), não foram observadas diferenças significativas entre as imersões no período T₀. No período T₁, o etanol absoluto (10,64) apresentou uma redução com diferença

estatisticamente significativa ($p < 0,0001$) da MK em comparação ao ácido cítrico (17,66), heptano (18,42) e água Destilada (18,43). No período T_2 , todas as imersões apresentaram diferença estatística entre si, com os menores valores de MK para o etanol absoluto (9,02) e os maiores para o heptano (19,44).

Avaliando cada imersão separadamente e seus respectivos períodos de envelhecimento, observou-se que, para água destilada, o período T_2 apresentou os menores valores de MK com diferença significativa quando comparado a T_0 e T_1 ($p < 0,0001$). Em relação ao etanol absoluto, todos os períodos apresentaram diferença significativa entre si, com o maior valor de MK para T_0 (18,72) e o menor para T_2 (9,02) ($p < 0,0001$). Na imersão com heptano, houve diferença significativa entre T_1 e T_2 , com menor valor de MK para T_2 ($p = 0,0188$). Para o ácido cítrico, houve diferença significativa entre T_0 e T_1 , com redução da MK em T_1 ($p = 0,0140$).

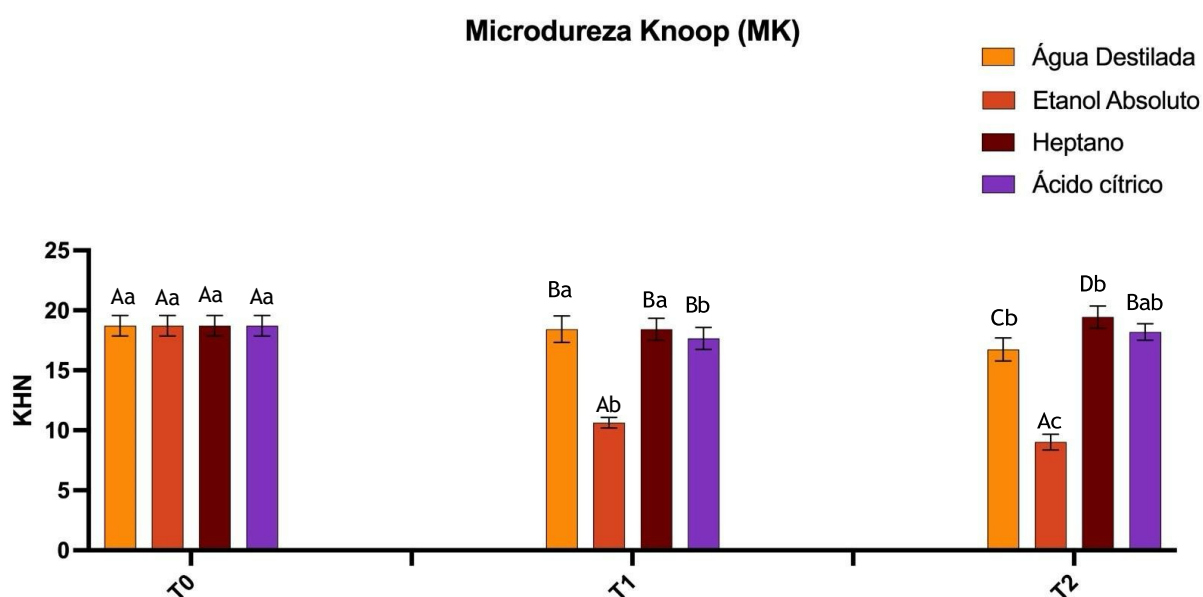


Figura 7. Média e desvio padrão da Microdureza Knoop (MK) após os diferentes períodos de imersão (T_0 , T_1 e T_2) nos solventes orgânicos: água destilada (I_A), etanol absoluto (I_E), heptano (I_H) e ácido cítrico (I_C).

Legenda: Letras maiúsculas diferentes indicam diferença significativa entre as imersões (água destilada, etanol absoluto, heptano e ácido cítrico) dentro do mesmo período ($p < 0,05$). Letras minúsculas diferentes indicam diferença significativa de cada imersão, entre os diferentes períodos avaliados ($p < 0,05$).

4.3 Resistência à flexão (RF)

Os resultados de resistência à flexão estão descritos na Figura 8. O teste de ANOVA indicou que houve diferença estatisticamente significativa para a interação entre os dois fatores: imersão e período de envelhecimento ($f=6,72$; $p=0.0009$).

Em relação à comparação entre as imersões dentro do mesmo período (T_0 , T_1 e T_2), não foram observadas diferenças significativas entre as imersões nos períodos T_0 e T_1 . No período T_2 , o etanol absoluto apresentou o menor valor de RF, com diferença significativa em relação ao ácido cítrico, à água destilada e ao heptano ($p < 0.0001$). Ainda, no T_2 , a imersão no heptano resultou no maior valor de RF em comparação ao ácido cítrico.

Avaliando cada imersão separadamente e seus respectivos períodos de envelhecimento, entre T_0 e T_1 todas as imersões causaram uma redução na RF com diferença significativa ($p < 0.0001$). Todas as imersões apresentaram diferença significativa entre o T_1 e T_2 , com aumento dos valores da RF em T_2 quando comparados ao T_1 . O etanol absoluto e o ácido cítrico apresentaram redução dos valores de RF com diferença significativa entre os períodos T_0 e T_2 ($p < 0.0001$).

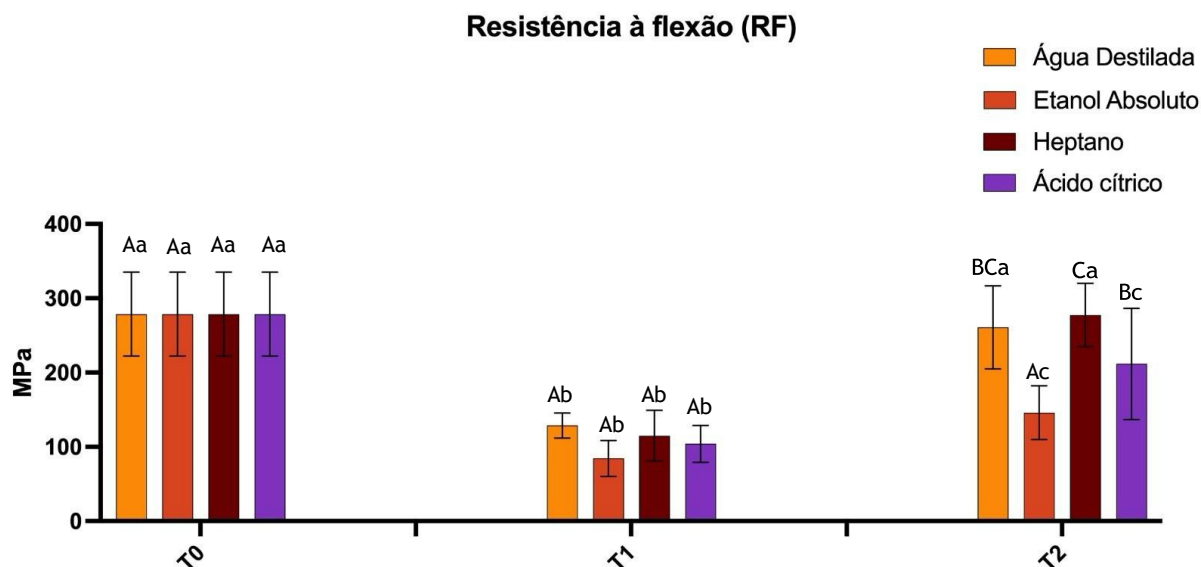


Figura 8. Média e desvio padrão da resistência à flexão (RF) após os diferentes períodos de imersão (T_0 , T_1 e T_2) nos solventes orgânicos: água destilada (I_A), etanol absoluto (I_E), heptano (I_H) e ácido cítrico (I_C).

Legenda: Letras maiúsculas diferentes indicam diferença significativa entre as imersões (água destilada, etanol absoluto, heptano e ácido cítrico) dentro do mesmo período ($p < 0.05$). Letras minúsculas diferentes indicam diferença significativa de cada imersão, entre os diferentes períodos avaliados ($p < 0.05$).

4.4 Módulo de elasticidade (ME)

Os resultados do Módulo de Elasticidade estão descritos na Figura 9. O teste de ANOVA indicou que houve diferença estatisticamente significativa para a interação entre os dois fatores: imersão e período de envelhecimento ($f=6.72$; $p=0.0001$).

Na comparação entre as imersões dentro do mesmo período (T_0 , T_1 e T_2), no período T_0 não houve diferença significativa entre as imersões. No período T_1 , o etanol absoluto apresentou os menores valores de ME com diferença estatística ($p=0,0225$) quando comparado ao Ácido Cítrico, assim como no período T_2 , essa diferença significativa foi observada em relação a água destilada, heptano e ácido cítrico.

Avaliando cada imersão separadamente e seus respectivos períodos de envelhecimento, todas as imersões apresentaram diminuição significativa nos valores de ME entre T_0 e T_1 ($p < 0,0001$), assim como entre T_0 e T_2 , com exceção do heptano. Entre os períodos T_1 e T_2 , todas as imersões apresentaram um aumento significativo nos valores de ME em T_2 , com exceção do etanol absoluto.

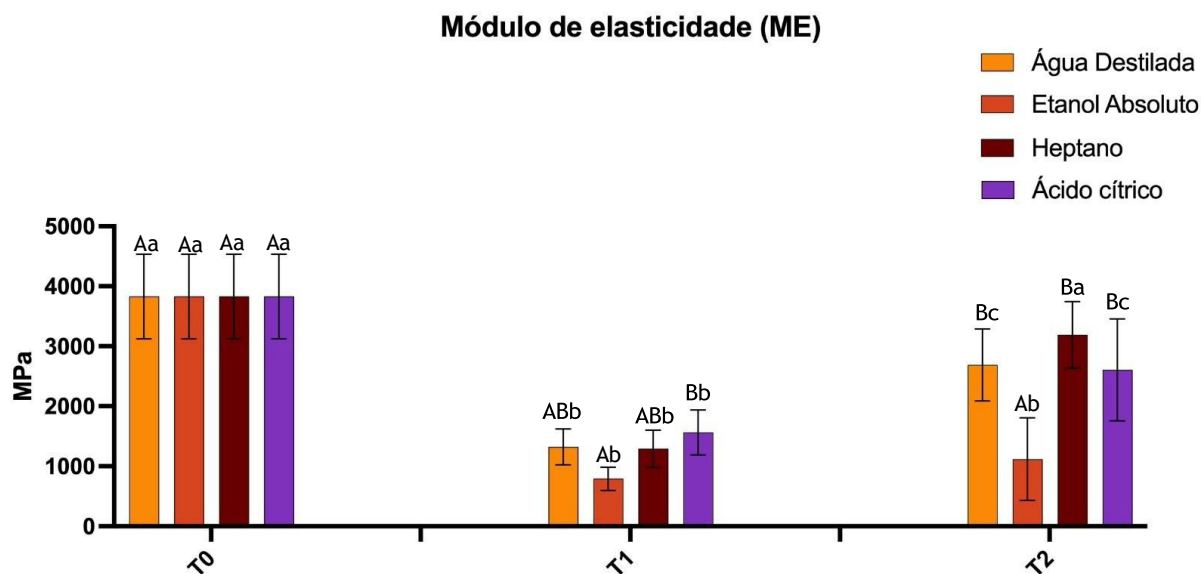


Figura 9. Média e desvio padrão do módulo de elasticidade (ME) após os diferentes períodos de imersão (T₀, T₁ e T₂) nos solventes orgânicos: água destilada (I_A), etanol absoluto (I_E), heptano (I_H) e ácido cítrico (I_C).

Legenda: Letras maiúsculas diferentes indicam diferença significativa entre as imersões (água destilada, etanol absoluto, heptano e ácido cítrico) dentro do mesmo período ($p < 0.05$). Letras minúsculas diferentes indicam diferença significativa de cada imersão, entre os diferentes períodos avaliados ($p < 0.05$).

5. DISCUSSÃO

A hipótese nula testada de que não haverá diferença significativa na rugosidade superficial, microdureza knoop, resistência flexural e módulo de elasticidade do PMMA para CAD/CAM, independente do solvente orgânico simulador de alimentos e dos diferentes períodos de análise, foi rejeitada, uma vez que foi observada diferença significativa nas propriedades avaliadas.

De acordo com os resultados do presente estudo, todos os grupos apresentaram valores de rugosidade abaixo de $0,2\mu\text{m}$ (cl clinicamente aceitáveis) após o polimento inicial (T₀), indicando que este resultado pode ser atribuído tanto à alta qualidade estrutural dos blocos de PMMA para CAD/CAM quanto à eficácia do sistema de

polimento OptraGloss da Ivoclar. A literatura tem destacado que, devido ao seu processo de fabricação industrial com todas as etapas controladas, como pressão, temperatura e tempo de polimerização, os blocos de PMMA para CAD/CAM apresentam superioridade em propriedades mecânicas, químicas e estéticas quando comparados às resinas acrílicas convencionais ^{16,17,18,19}.

Apesar das suas boas propriedades físico-mecânicas, o processo de fresagem dos blocos causa ranhuras na superfície devido às fresas com pontas diamantadas, tornando necessário um polimento eficiente. Isso evidencia a qualidade do polimento realizado com o sistema utilizado neste estudo. O sistema simplificado Optragloss utiliza polidores de silicone revestidos com diamante e foi desenvolvido para realizar o polimento em um único passo, representando uma novidade lançada recentemente.

Dos 04 solventes orgânicos simuladores de alimentos analisados, apenas o heptano em T₁ e a água destilada em T₂ apresentaram valores rugosidade acima do limite clinicamente aceitável. Estudos mostraram que uma rugosidade superficial superior a 0,2µm afeta negativamente as propriedades mecânicas e ópticas dos materiais restauradores ^{12,20,21}. Superfícies ásperas ou rugosas estão diretamente associadas a maior acúmulo de biofilme, doença periodontal, cárie secundária e pigmentação, além de reduzirem a resistência mecânica dos materiais restauradores ao favorecerem a criação e propagação de microfissuras, aumentando o risco de fratura ¹³. O heptano é um solvente orgânico capaz de difundir-se facilmente na matriz polimérica agindo como plastificante²². Além disso, a perda de constituintes da matriz polimérica tem sido associada à formação de rachaduras na interface entre a resina e a matriz polimérica ^{23,24}. Esses processos podem explicar o aumento da rugosidade após a imersão por 24 horas. Já o aumento da rugosidade após imersão em água destilada, também foi observado no estudo de Farahat et al ⁶, onde esse envelhecimento afetou significativamente a rugosidade das amostras em comparação com o etanol absoluto, durante períodos prolongados de envelhecimento. Além disso, verificou-se que as imersões em ácido cítrico e etanol absoluto apresentaram valores estatisticamente semelhantes nos períodos T₁ e T₂, enquanto a imersão em Heptano mostrou menor rugosidade no T₂ em comparação com o T₁. Farahat et al⁶ também observaram resultados semelhantes em seu estudo sobre estabilidade ao comparar 1, 10 e 15 dias de envelhecimento. Esse fato poderia ser explicado devido a um platô de envelhecimento, onde o solvente causa um pico de alteração em um primeiro

tempo e que se estabiliza ao longo do tempo, demonstrando resultados semelhantes nos tempos subsequentes.

Outra importante análise do material restaurador é a microdureza, definida como a resistência à indentação ou penetração permanente, usada para prever a resistência ao desgaste de um material e sua capacidade de desgastar estruturas dentárias opostas tendo grande influência no comportamento mecânico do material ^{23,25,26} principalmente, em áreas que necessitam de alta resistência mecânica, já que a redução da dureza da superfície pode tornar o material mais suscetível à deformação ^{20,27}. No presente estudo, observa-se uma estabilidade dessa propriedade no período inicial (T_0), seguido de algumas alterações nos demais tempos (T_1 e T_2), demonstrando que os solventes podem causar alterações dessa propriedade, com destaque para o solvente etanol absoluto, o qual reduziu significativamente a microdureza em T_1 e T_2 , estes resultados corroboram com diversos estudos ^{28,29,30,31,32} da literatura que relatam o efeito do etanol nos materiais à base de polímeros. O etanol causa a remoção parcial da matriz polimérica da superfície, penetra na matriz polimérica e amplia o espaço entre as cadeias poliméricas, resultando em deformação e amolecimento do material. Além disso, pode induzir a formação de fissuras por tensão, reduzindo tanto a resistência estática quanto dinâmica do material, e causa efeitos corrosivos na superfície, acelerando o processo de fadiga do material. Esses efeitos não afetam apenas a microdureza, mas também aumentam a rugosidade e reduzem a resistência à flexão e o módulo de elasticidade, conforme observado neste estudo. No presente estudo observou-se que o etanol causava um amolecimento notável do PMMA para CAD/CAM independente do tempo de envelhecimento, assim como, foi observada a recuperação plástica após a secagem, o que pode tornar os dados de microdureza difíceis de interpretar devido às alterações estruturais induzidas pelo solvente.

De forma geral, de acordo com os resultados deste estudo pode-se dizer que os solventes têm potencial para reduzir a microdureza do material testado, podendo ser explicado pelo fato de que há absorção desses solventes, tornando a superfície amolecida, devido principalmente ao processo de ligação dos solventes com a matriz polimérica, a qual incha levando uma redução das ligações entre as cadeias poliméricas e assim reduzindo a microdureza. Esse resultado não foi obtido no grupo heptano, que apresentou aumento do valor de MK em T_2 comparado ao T_1 , porém

torna-se importante ressaltar que apesar da diferença significativa em T_2 os valores apresentam-se muito próximos e não houve diferença entre T_0 e T_1 , mostrando que esse solvente pode ser menos agressivo ao material nessa propriedade.

Ainda sobre as propriedades mecânicas, a resistência flexural é um parâmetro importante de avaliação da resistência mecânica e rigidez do material. As restaurações provisórias devem ter resistência mecânica adequada para suportar as forças oclusais durante o tempo de uso clínico, especialmente em reabilitações complexas, que envolvem o uso prolongado das restaurações, que incluem tratamentos multidisciplinares ou até pacientes com hábitos parafuncionais³³. Já o módulo de elasticidade indica a resistência à força por unidade de superfície implicando que materiais com maior módulo podem suportar tensões mais elevadas.

³⁴. No presente estudo, observa-se uma redução da RF e ME em T_1 quando comparados ao T_0 (controle) em todos os solventes, mostrando assim que esses solventes agem de forma degradante sobre esses materiais. A dissolução do polímero por um solvente ocorre principalmente por difusão do solvente e desmembramento da cadeia polimérica. A difusão do solvente no polímero torna-se fácil quando monômeros de ligação não cruzada estão presentes com um solvente estável. O solvente inicialmente plastifica o polímero formando uma camada inchada semelhante a um gel entre o polímero vítreo e a camada de gel e também entre a camada de gel e o solvente, após isso pode haver dissolução do polímero ou resultar na formação de fissuras, enfraquecendo o material. Após um período de tempo, a dissolução adicional do solvente atinge um estágio final conhecido como estado quase estacionário. A dissolução do polímero é governada principalmente pelo peso molecular do material²⁸. No tempo T_2 , em ambas as propriedades, nota-se um certo aumento da RF e ME, como se no período T_1 fosse o pico de ação desses solventes e houvesse uma estabilização em maior tempo, e consequente aumento dos valores das propriedades avaliadas, por isso são observadas algumas diferenças na comparação entre T_1 e T_2 , com maiores valores em T_2 .

Destaca-se novamente a capacidade de degradação do etanol absoluto nas propriedades avaliadas de RF e ME, quando avaliadas em T_1 e T_2 , esse solvente apresenta-se como o mais agressivo comparados aos demais. Durante a realização do teste havia amostras do solvente etanol que não seguiam o padrão de fratura realizada durante o teste de resistência à flexão/módulo de elasticidade, assim

tornando difícil a interpretação dos resultados, pois algumas se deformavam por completo sem ruptura. Sendo assim, os pacientes que consomem bebidas alcoólicas devem ser alertados sobre os potenciais efeitos adversos do álcool em suas próteses provisórias. O álcool pode comprometer a durabilidade funcional das restaurações provisórias, especialmente quando se espera que essas próteses permaneçam em uso por um longo período²³.

É importante ressaltar que não foi realizado um teste de interação química entre os solventes analisados no estudo e suas respectivas interações com a composição do PMMA para CAD/CAM. A literatura é escassa quanto à essa análise, assim como não foram encontrados estudos com o mesmo delineamento do presente trabalho, tornando-se difícil ter dados comparativos.

Algumas limitações devem ser mencionadas, como a dificuldade de simular toda a complexidade do sistema estomatognático apenas com solventes, mais propriedades devem ser avaliadas, assim como o desenvolvimento de novos estudos *in vitro* e clínicos para uma compreensão mais completa dos efeitos dos solventes sobre os materiais odontológicos.

6. Conclusão

Conclui-se que, os solventes simuladores de alimentos alteram a rugosidade superficial e exercem uma influência negativa nas propriedades mecânicas do PMMA CAD/CAM, afetando a estabilidade e o desempenho mecânico das restaurações provisórias ao longo do tempo de uso. Ainda, o etanol absoluto apresentou os efeitos mais prejudiciais sobre as propriedades avaliadas.

REFERÊNCIAS

1. Alt V, Hannig M, Wöstmann B, Balkenhol M. Fracture strength of temporary fixed partial dentures: CAD/CAM versus directly fabricated restorations. *Dent Mater.* 2011 Apr;27(4):339-47. doi: 10.1016/j.dental.2010.11.012. Epub 2010 Dec 21. PMID: 21176946.
2. Abdullah AO, Tsitrou EA, Pollington S. Comparative in vitro evaluation of CAD/CAM vs conventional provisional crowns. *J Appl Oral Sci [Internet].* 2016 May;24(3):258–63. Available from: <https://doi.org/10.1590/1678-775720150451>
3. Jurado CA, Barkmeier WW, Alshabib A, Alresayes SS, Fu CC, Teixeira EC, Baruth AG, Tsujimoto A. Effectiveness of Different Polishing Kits for Chairside CAD/CAM Provisional Restorative Materials. *Oper Dent.* 2022 Nov 1;47(6):670-677. doi: 10.2341/21-147-L. PMID: 36279319.
4. Abad-Coronel C, Calle C, Abril G, Paltán CA, Fajardo JI. Fracture Resistance Analysis of CAD/CAM Interim Fixed Prosthodontic Materials: PMMA, Graphene, Acetal Resin and Polysulfone. *Polymers.* 2023; 15(7):1761. <https://doi.org/10.3390/polym15071761>
5. Rayyan, M. M., Aboushelib, M., Sayed, N. M., Ibrahim, A., & Jimbo, R. (2015). Comparison of interim restorations fabricated by CAD/CAM with those fabricated manually. *The Journal of Prosthetic Dentistry*, 114(3), 414–419. doi:10.1016/j.prosdent.2015.03.00
6. Farahat DS, El-Wassefy NA. Effects of food-simulating solutions on the surface properties of two CAD/CAM resin composites. *J Clin Exp Dent.* 2022 Oct 1;14(10):e782-e790. doi: 10.4317/jced.59822. PMID: 36320679; PMCID: PMC9617271.
7. Babaier R, Watts DC, Silikas N. Effects of three food-simulating liquids on the roughness and hardness of CAD/CAM polymer composites. *Dent Mater.* 2022 May;38(5):874-885. doi: 10.1016/j.dental.2022.04.001. Epub 2022 Apr 15. PMID: 35431089.
8. Food and Drug Administration (FDA). Guidelines for chemistry and technology requirements of indirect food additive petitions, bureau of foods. In: Department of Health EaW (ed.). Washington, DC, USA; 1976.
9. Ionescu AC, Brambilla E, Pires PM, López-Castellano A, Alambiaga-Caravaca AM, Lenardi C, Sauro S. Physical-chemical and microbiological performances of graphene-doped PMMA for CAD/CAM applications before and after accelerated aging protocols. *Dent Mater.* 2022 Sep;38(9):1470-1481).
10. Köroğlu A, Sahin O, Dede DÖ, Yilmaz B. Effect of different surface treatment methods on the surface roughness and color stability of interim prosthodontic materials. *J Prosthet Dent.* 2016;115(4):447-55. doi:10.1016/j.prosdent.2015.10.005.
11. Mickeviciute E, Ivanauskiene E, Noreikiene V. In vitro color and roughness stability of different temporary restorative materials. *Stomatologija.* 2016;18(2):66-72. PMID: 27649722
12. Ergün G, Mutlu-Sagesen L, Ozkan Y, Demirel E. In vitro color stability of provisional crown and bridge restoration materials. *Dent Mater J.* 2005;24(3):342-50. doi: 10.4012/dmj.24.342. (Nejatidanesh F, Momeni G, Savabi O. Flexural strength of interim resin materials for fixed prosthodontics. *J Prosthodont.* 2009;18(6):507-11. doi:10.1111/j.1532-849X.2009.00473.x.)
13. Elagra MI, Rayyan MR, Alhomaidhi MM, Alanazy AA, Alnefaie MO. Color stability and marginal integrity of interim crowns: An in vitro study. *Eur J Dent.* 2017;11(3):330-334. doi: 10.4103/ejd.ejd_66_17
14. Furtado de Mendonca, A., Shahmoradi, M., Gouvêa, C. V. D., De Souza, G. M., & Ellakwa, A. (2019). Microstructural and Mechanical Characterization of CAD/CAM Materials for Monolithic Dental Restorations. *Journal of prosthodontics : official journal of the American College of Prosthodontists*, 28(2), e587–e594 .
15. Spitznagel, F. A., Boldt, J., & Gierthmuehlen, P. C. (2018). CAD/CAM Ceramic Restorative Materials for Natural Teeth. *Journal of dental research*, 97(10), 1082–1091. Lauvahutanon,

- S., Takahashi, H., Shiozawa, M., Iwasaki, N., Asakawa, Y., Oki, M., Finger, W. J., & Arksornnukit, M. (2014). Mechanical properties of composite resin blocks for CAD/CAM. *Dental materials journal*, 33(5), 705–710
16. Thompson GA, Luo Q. Contribution of postpolymerization conditioning and storage environments to the mechanical properties of three interim restorative materials. *J Prosthet Dent*. 2014;112(3):638-48. doi: 10.1016/j.prosdent.2014.04.008.
 17. de Oliveira Limírio JPJ, Gomes JML, Alves Rezende MCR, Lemos CAA, Rosa CDDRD, Pellizzer EP. Mechanical properties of polymethyl methacrylate as a denture base: Conventional versus CAD-CAM resin - A systematic review and meta-analysis of in vitro studies. *J Prosthet Dent*. 2022 Dec;128(6):1221-1229.;
 18. Beuer F, Aggstaller H, Richter J, Edelhoff D, Gernet W. Influence of preparation angle on marginal and internal fit of CAD/CAM-fabricated zirconia crown copings. *Quintessence Int*. 2009;40(3):243-50.
 19. Kelvin Khng KY, Ettinger RL, Armstrong SR, Lindquist T, Gratton DG, Qian F. In vitro evaluation of the marginal integrity of CAD/CAM interim crowns. *J Prosthet Dent*. 2016;115(5):617-23. doi: 10.1016/j.prosdent.2015.10.002. Epub 2016 Jan 7.)
 20. Gurbuz O, Cilingir A, Dikmen B, Ozsoy A, Mert Eren M. Effect of surface sealant on the surface roughness of different composites and evaluation of their microhardness. *Eur Oral Res*. 2020;54(1):1-8. doi: 10.26650/eor.20200020.
 21. Nejatidanesh F, Momeni G, Savabi O. Flexural strength of interim resin materials for fixed prosthodontics. *J Prosthodont*. 2009;18(6):507-11. doi: 10.1111/j.1532-849X.2009.00473)
 22. Ionescu AC, Brambilla E, Pires PM, López-Castellano A, Alambiaga-Caravaca AM, Lenardi C, Sauro S. Physical-chemical and microbiological performances of graphenedoped PMMA for CAD/CAM applications before and after accelerated aging protocols. *Dent Mater*. 2022 Sep;38(9):1470-1481.
 23. Akova T, Ozkomur A, Uysal H. Effect of food-simulating liquids on the mechanical properties of provisional restorative materials. *Dent Mater*. 2006 Dec;22(12):1130-4
 24. Roulet JF, Walti C. Influence of oral fluid on composite resin and glass-ionomer cement. *J Prosthet Dent* 1984;52(2):182–9
 25. Guedes APA, Oliveira-Reis B, Catelan A, Suzuki TYU, Briso ALF, Santos PHD. Mechanical and surface properties analysis of restorative materials submitted to erosive challenges in situ. *Eur J Dent*. 2018;12(4):559-565. doi: 10.4103/ejd.ejd_188_18.
 26. Kakaboura A, Rahiotis C, Zinelis S, Al-Dhamadi YA, Silikas N, Watts DC. In vitro characterization of two laboratory-processed resin composites. *Dent Mater*. 2003;19(5):393-8. doi: 10.1016/s0109-5641(02)00082-9.
 27. Yikilgan İ, Kamak H, Akgul S, Ozcan S, Bala O. Effects of three different bleaching agents on microhardness and roughness of composite sample surfaces finished with different polishing techniques. *J Clin Exp Dent*. 2017;9(3):e460-e465. doi: 10.4317/jced.53136.
 28. Basavarajappa S, Al-Kheraif AA, ElSharawy M, Vallittu PK. Effect of solvent/disinfectant ethanol on the micro-surface structure and properties of multiphase denture base polymers. *J Mech Behav Biomed Mater*. 2016 Feb;54:1-7.-
 29. Khaledi AA, Bahrani M, Shirzadi S. Effect of Food Simulating Agents on the Hardness and Bond Strength of a Silicone Soft Liner to a Denture Base Acrylic Resin. *Open Dent J*. 2015 Dec 23;9:402-8.
 30. Yap AU, Mah MK, Lye CP, Loh PL. Influence of dietary simulating solvents on the hardness of provisional restorative materials. *Dent Mater*. 2004 May;20(4):370-6.-
 31. Regis RR, Soriani NC, Azevedo AM, Silva-Lovato CH, Paranhos HF, de Souza RF. Effects of ethanol on the surface and bulk properties of a microwave-processed PMMA denture base resin. *J Prosthodont*. 2009 Aug;18(6):489-95

32. Vlissidis D, Prombonas A. Effect of alcoholic drinks on surface quality and mechanical strength of denture base materials. *Journal of Biomedical Materials Research*. 1997; 38: 257-261
33. Alp G, Murat S, Yilmaz B. Comparison of Flexural Strength of Different CAD/CAM PMMA-Based Polymers. *J Prosthodont*. 2019;28(2):e491-e495. doi: 10.1111/jopr.12755
34. Takamizawa T, Barkmeier WW, Tsujimoto A, Scheidel D, Erickson RL, Latta MA, Miyazaki M. Mechanical Properties and Simulated Wear of Provisional Resin Materials. *Oper Dent*. 2015 Nov-Dec;40(6):603-13. doi: 10.2341/14-132-L.1.