

UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA
CENTRO DE CIÊNCIAS DA SAÚDE
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ODONTOLOGIA

**CARACTERIZAÇÃO, AVALIAÇÃO DAS
PROPRIEDADES FÍSICO-MECÂNICAS E
ATIVIDADE ANTIFÚNGICA APÓS ESCOVAÇÃO DE
RESINAS ACRÍLICAS TERMOPOLIMERIZADAS
INCORPORADAS COM NITRATO DE CÉRIO**

Débora e Silva Campos

SAPIENTIA AEDIFICAT

DÉBORA E SILVA CAMPOS

CARACTERIZAÇÃO, AVALIAÇÃO DAS PROPRIEDADES FÍSICO-MECÂNICAS E ATIVIDADE ANTIFÚNGICA APÓS ESCOVAÇÃO DE RESINAS ACRÍLICAS TERMOPOLIMERIZADAS INCORPORADAS COM NITRATO DE CÉRIO

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Odontologia, da Universidade Federal da Paraíba, como parte dos requisitos para obtenção do título de Doutora em Odontologia – Área de Concentração em Ciências Odontológicas.

Orientador: Prof. Dr. André Ulisses Dantas Batista

João Pessoa

2022

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA BIBLIOTECA CENTRAL

BIBLIOTECÁRIO: ANNA REGINA DA SILVA RIBEIRO - CRB-15/024

C198c Campos, Débora e Silva.

Caracterização, avaliação das propriedades físico-mecânicas e atividade antifúngica após escovação de resinas acrílicas termopolimerizadas incorporadas com nitrato de cério / Débora e Silva Campos. - João Pessoa, 2022.

96 f. : il.

Orientação: André Ulisses Dantas Batista.

Tese (Doutorado) - UFPB/CCS.

1. Estomatite protética. 2. Estomatite sob prótese. 3. Nitrato de cério - Antifúngico. 4. Polimetil metacrilato. I. Batista, André Ulisses Dantas. II. Título.

UFPB/BC

CDU 616.31-002 (043)

Informações Complementares:

Título em outro idioma: Characterization, evaluation of physical and mechanical properties and antifungal activity after brushing of thermopolymerized acrylic resins incorporated with cerium nitrate

Palavras-chave em outro idioma: Polymethyl Methacrylate, Cerium, Denture Stomatitis

Área de concentração: Ciências Odontológicas

Linha de Pesquisa: Biomateriais em Odontologia

Banca examinadora: André Ulisses Dantas Batista (Orientador, UFPB); Ricardo Dias de Castro (UFPB); Carmem Silvia Laureano Dalle Piagge (UFPB); Lucas Ricardo Fernandes Figueiredo (UFPB); Sônia Saeger Meireles Monte Raso (UFPB).

Data de defesa: 29/08/2022

Informações acadêmicas e profissionais do(a) aluno(a)

- ORCID: 0000-0002-5579-8844

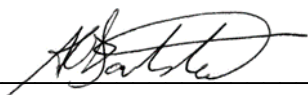
- Link do Currículo Lattes: <http://lattes.cnpq.br/5918729146861904>

DÉBORA E SILVA CAMPOS

**CARACTERIZAÇÃO, AVALIAÇÃO DAS PROPRIEDADES FÍSICO-MECÂNICAS
E ATIVIDADE ANTIFÚNGICA APÓS ESCOVAÇÃO DE RESINAS ACRÍLICAS
TERMOPOLIMERIZADAS INCORPORADAS COM NITRATO DE CÉRIO**

A comissão examinadora abaixo relacionada julgou a Defesa de Tese apresentada em sessão pública no dia 29 de Agosto de 2022 e atribuiu o conceito APROVADO(A).

Banca Examinadora:



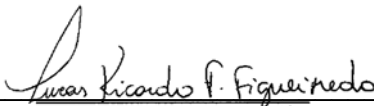
Prof. Dr. André Ulisses Dantas Batista
Orientador - UFPB



Prof. Dr. Ricardo Dias de Castro
Examinador - UFPB



Profa. Dra. Carmem Silvia Laureano Dalle Piagge
Examinadora – UFPB



Prof. Dr. Lucas Ricardo Fernandes Figueiredo
Examinador - UFPB



Profa. Dra. Sônia Saeger Meireles Monte Raso
Examinadora - UFPB

DEDICATÓRIA

*À minha família e amigos,
por sempre apoiarem minhas decisões
e acreditarem em mim!*

AGRADECIMENTOS

À Deus, por todas as bênçãos que acontecem em minha vida e pelas inúmeras graças alcançadas.

Aos meus pais, Carlos e Conceição, por todos os ensinamentos e por serem meu alicerce. Além de serem pais incríveis, cuidam de mim com tanto amor, acreditam que sou capaz e sempre me estimulam a realizar meus sonhos.

À minha irmã, Vanessa, pelos cuidados que tem comigo, além de ser minha inspiração e estar incondicionalmente ao meu lado apoiando minhas decisões.

Ao meu namorado, Victor, por todo apoio e companheirismo. É um exemplo de perseverança e dedicação aos estudos, além de tornar os meus dias mais leves.

À minha família, que mesmo distante se faz presente e contribui diariamente com meu engrandecimento pessoal.

Ao meu orientador, Prof. André Ulisses, pela competência, profissionalismo e dedicação. Tem sido uma referência de profissional desde a especialização, compartilhando conhecimentos e acreditando no meu trabalho. Foi meu orientador durante o mestrado e, agora no doutorado, demonstrou ainda mais parceria, viabilizando a concretização deste sonho mesmo diante de todas as adversidades.

À Isis, Tereza e Faumana, pela amizade em forma de irmandade. São pessoas incríveis, que estão caminhando comigo lado a lado na pós-graduação e na vida, comemorando cada conquista pessoal e profissional.

Aos amigos, por todo apoio e compreensão durante os momentos de ausência.

À CAPES, ao PPGO e à Universidade Federal da Paraíba, pelo apoio institucional recebido, fornecendo condições para o meu engrandecimento profissional.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001 – e Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – CNPq, processo nº 431079/2016-1 (Edital 01/2016 – Universal).

A todos que diretamente ou indiretamente fizeram parte da minha formação, muito obrigada!

RESUMO

Introdução: A colonização do polimetil metacrilato (PMMA) por microrganismos favorece o desenvolvimento de estomatite protética. O nitrato de cério (NC) vem demonstrando ser um efetivo antifúngico quando incorporado ao PMMA, com propriedades físico-químicas e térmicas favoráveis. No entanto, existe a necessidade de continuidade dos estudos para avaliação das demais propriedades. **Objetivo:** Caracterizar, avaliar as propriedades físico-mecânicas e atividade antifúngica após escovação de uma resina acrílica termopolimerizada modificada com a incorporação de diferentes percentuais em massa (0,25%, 0,5% e 1%) de NC. **Materiais e métodos:** Foram confeccionados 5 grupos de amostras de PMMA (GC1-PMMA; GC2-PMMA+álcool; NC-0,25%; NC-0,5% e NC-1%). Foi realizada a caracterização estrutural através da espectroscopia FTIR, e avaliados os ângulos de contato, porosidade, dureza Vickers, resistência à flexão, resistência à abrasão (variação de massa e rugosidade de superfície) e atividade antifúngica após escovação. **Resultados:** A espectroscopia FTIR confirmou a presença de NC nas amostras através dos picos característicos. Os grupos experimentais contendo NC não diferiram em relação ao GC1 quanto ao ângulo de contato, porosidade e variação de rugosidade na análise da resistência à abrasão. A variação de massa demonstrou redução nos grupos GC1 e NC-1%, e aumento nos grupos GC2, NC-0,25% e NC-0,5%. Após a escovação, houve redução de adesão de biofilme fúngico nas amostras de NC-0,25% e NC-0,5%. Para a resistência à flexão, apenas NC-0,5% não apresentou diferenças estatísticas do GC1. A avaliação da dureza Vickers demonstrou uma redução nos grupos experimentais. **Conclusão:** As incorporações de NC-0,25% e NC-0,5% demonstraram ser as mais promissoras, com redução na formação de biofilme fúngico mesmo após as irregularidades provenientes da escovação, sem alterações no ângulo de porosidade, ângulo de contato e variação de rugosidade. Apesar da redução na dureza, a resistência à flexão demonstrou valores acima do limite aceitável.

Palavras-chave: Estomatite sob prótese, polimetil metacrilato, cério.

ABSTRACT

Background: The colonization of polymethyl methacrylate (PMMA) by microorganisms favors the development of denture stomatitis. Cerium nitrate (CN) has been shown to be an effective antifungal when incorporated into PMMA, with favorable physicochemical and thermal properties. However, there is a need to continue studies to evaluate the other properties. **Purpose:** To characterize and evaluate the physical-mechanical properties and antifungal activity after brushing a thermopolymerized acrylic resin modified with the incorporation of different percentages by mass (0.25%, 0.5% and 1%) of CN. **Materials and methods:** Five groups of PMMA samples were made (CG1-PMMA; CG2-PMMA+alcohol; CN-0.25%; CN-0.5% and CN-1%). Structural characterization was performed using FTIR spectroscopy, and contact angles, porosity, Vickers hardness, flexural strength, abrasion resistance (mass variation and surface roughness) and antifungal activity after brushing were evaluated. **Results:** FTIR spectroscopy confirmed the presence of CN in the samples through characteristic peaks. The experimental groups containing NC did not differ in relation to CG1 in terms of contact angle, porosity and roughness variation in the analysis of abrasion resistance. The mass variation showed a reduction in the CG1 and CN-1% groups, and an increase in the CG2, CN-0.25% and CN-0.5% groups. After brushing, there was a reduction in the adhesion of fungal biofilm in the samples of CN-0.25% and CN-0.5%. For flexural strength, only CN-0.5% did not show statistical differences from CG1. The evaluation of Vickers hardness showed a reduction in the experimental groups. **Conclusion:** The incorporations of CN-0.25% and CN-0.5% proved to be the most promising, with a reduction in the formation of fungal biofilm even after irregularities from brushing, without changes in the porosity angle, contact angle and roughness variation. Despite the reduction in hardness, the flexural strength showed values above the acceptable limit.

Keywords: Polymethyl Methacrylate, Cerium, Denture Stomatitis.

SUMÁRIO

	Página
1. INTRODUÇÃO	9
2. REVISÃO DA LITERATURA	13
3. OBJETIVOS	20
4. CAPÍTULO 1 – Effect of simulated brushing with dentifrices on the surface roughness and mass loss of the acrylic resin: a systematic review and meta-analysis of in vitro studies	21
5. CAPÍTULO 2 – Caracterização, avaliação das propriedades físico-mecânicas e atividade antifúngica após escovação de resinas acrílicas termopolimerizadas incorporadas com nitrato de cério	51
6. CONSIDERAÇÕES GERAIS	87
7. CONCLUSÃO	89
REFERÊNCIAS	90

1. INTRODUÇÃO

O Polimetil metacrilato (PMMA) é um material bastante utilizado em odontologia, principalmente para a confecção de próteses dentárias. Também denominado como resina acrílica, apresenta diversas vantagens, destacando-se a biocompatibilidade, estética, baixo custo, propriedades mecânicas aceitáveis e fácil processamento (Alzayyat et al. 2022; Garcia et al. 2022).

As resinas acrílicas podem apresentar diferentes métodos de polimerização, sendo as de cura térmica mais utilizadas na confecção de bases de próteses (Durkan e Oyar, 2018). Dentre os PMMAs termicamente ativados, a polimerização por micro-ondas pode ser considerada a técnica mais favorável por promover uma ativação homogênea, menor proporção de monômeros residuais e melhores propriedades físicas e mecânicas, além da facilidade de manuseio (Figuerôa et al. 2018; Paes-Junior et al. 2021; Ayaz e Ustun, 2020; Durkan e Oyar, 2018).

Apesar do seu amplo uso, algumas limitações estão presentes, principalmente relacionadas às características de superfície, como hidrofobicidade e rugosidade, que contribuem para adesão de microrganismos, colonização e formação de biofilme na prótese dentária, apresentando um papel importante no desenvolvimento de estomatite protética (Garcia et al. 2022). A estomatite protética é caracterizada por uma inflamação da mucosa subjacente à base da prótese altamente prevalente e pode ser consequência da aderência de microrganismos, principalmente fungos do gênero *Candida spp.*, especialmente *Candida albicans*. (Pereira-Cenci et al. 2008; Sousa et al. 2021) Diversas abordagens de prevenção e tratamento são relatadas na literatura, tanto a nível local quanto sistêmico. Medicamentos antifúngicos, laserterapia, higienização e desinfecção da prótese, descontinuação do seu uso e até mesmo a substituição e confecção de uma nova prótese pode ser necessária (Bajunaid 2022; Gad et al. 2022; Yarborough et al. 2016; Sousa et al. 2021).

Dentre as medidas preventivas, a higienização das próteses é essencial para a manutenção da saúde do paciente e pode ser realizada através de métodos químicos, físicos, mecânicos ou associados (Chang et al. 2021; Costa

et al. 2021). A limpeza mecânica promovida pela escovação é a mais utilizada pelos usuários de prótese (Papadiochou e Polyzois, 2018; Chang et al. 2021) e apresenta as vantagens de ser um método simples, eficaz e de baixo custo (Melo et al. 2021; Papadiochou e Polyzois, 2018). Ademais, a escovação de resinas acrílicas para base de prótese é capaz de reduzir com sucesso tanto a carga microbiana quanto a viabilidade do biofilme multiespécies, devendo ser realizada de forma regular (Panariello et al. 2016; Brown et al. 2022; Harrison, Johnson, e Douglas, 2004). No entanto, a remoção mecânica de resíduos de próteses realizadas com escovas, associadas ou não a dentífrícios, pode resultar em desgaste abrasivo, com aumento da rugosidade de superfície e, com o passar do tempo, danos na superfície do PMMA tornam a limpeza cada vez mais difícil, pois as irregularidades superficiais favorecem a aderência de microrganismos à prótese e dificultam sua remoção (Pires et al. 2018; Papadiochou e Polyzois, 2018; Abualsaud et al. 2021; Wady et al. 2012; Ramadhan, Damiyanti e Triaminingsih, 2018).

Outra modalidade preventiva na qual diversas pesquisas têm sido direcionadas é para o desenvolvimento de uma resina acrílica com propriedades antimicrobianas, seja através da modificação do monômero, incorporação de substâncias antimicrobianas ao pó do PMMA ou revestimento da superfície (Ajay, Suma e Ali, 2019; Darwish et al. 2019; Garcia et al. 2022; Bajunaid 2022).

A modificação do PMMA com substâncias antimicrobianas para confecção de base de prótese, como nanopartículas de prata (Gad et al. 2022), nanopartículas de dióxido de silício (Al-Thobity e Gad, 2021; Alzayyat et al. 2022), óxido de cério (Machado-Santos et al. 2020) e nitrato de cério (Farias, 2017; Campos, 2019; Freitas, 2018; Freire, 2017), pode ser uma alternativa bastante eficaz para redução da aderência de microrganismos e prevenção de formação de biofilme em sua superfície, porém, destaca-se a importância de avaliar as demais propriedades, como físicas e mecânicas, para verificar a viabilidade de uso, bem como a biocompatibilidade, longevidade e desempenho clínico (Tijana et al. 2021; Bajunaid, 2022).

Dentre as substâncias antimicrobianas, o cério (Ce), pertencente ao grupo dos lantanídeos, é um metal não tóxico, de baixo custo e que já vem

sendo utilizado em ciências da saúde, com ênfase no tratamento tópico de queimaduras, apresentando resultado clinicamente eficaz (Reese et al. 2021; Qian et al. 2020). Suas propriedades biológicas incluem ação antioxidante, anti-inflamatória, ampla atividade antibacteriana e expressiva ação antifúngica sobre *Candida* spp (Charbgoon, Ahmad e Darroudi, 2017; Babenko et al. 2012; Cobrado et al. 2012; Silva-dias et al. 2015; Reese et al. 2021; Qian et al. 2020).

A incorporação de nitrato de cério em PMMA já realizada em estudos prévios do grupo de pesquisa demonstrou efetividade na redução do biofilme de *C. albicans* e inibição da formação de biofilme (Freire, 2017; Freitas, 2018), sem resultar em alterações de cor visíveis e mantendo os valores de rugosidade superficial abaixo do limite de relevância clínica (0,2 μm) (Campos, 2019), podendo ser uma alternativa promissora como material de base protética. Apesar da possibilidade de aumentar a longevidade do material e reduzir a adesão in vitro do biofilme de *Candida* spp, sem apresentar efeitos deletérios significativos nas propriedades já testadas, a continuidade dos estudos com a avaliação de outras propriedades deve ser realizada. É necessário compreender melhor sobre a interação que ocorre entre o PMMA e o nitrato de cério, além de analisar propriedades essenciais para a possibilidade de uso clínico e sucesso a longo prazo.

Dessa forma, a presente tese foi dividida em dois capítulos, que de forma integrada procuraram contribuir com informações adicionais sobre os possíveis efeitos da incorporação do cério no PMMA de base de dentadura. No **capítulo 1** foi realizada uma revisão sistemática da literatura e metanálise para avaliar a influência da escovação simulada com dentifrícios no desgaste abrasivo da resina acrílica, e embasar a metodologia do ensaio de abrasão por escovação realizado. No **capítulo 2** apresenta-se o resultado dos experimentos de caracterização da resina de PMMA incorporada com o cério. Portanto, este trabalho tem como principais objetivos 1) realizar uma revisão sistemática da literatura para avaliar o efeito da escovação simulada com o uso de dentifrícios e água na rugosidade superficial e perda de massa da resina acrílica e 2) desenvolver um trabalho de pesquisa com a finalidade de caracterizar e avaliar o efeito da incorporação de cério no ângulo de contato, porosidade, resistência à abrasão e perda de massa induzida por escovação simulada, adesão de

biofilme após escovação, resistência à flexão e dureza Vickers de uma resina acrílica termopolimerizável por micro-ondas.

2. REVISÃO DA LITERATURA

- **Resistência à abrasão por escovação**

A escovação é o método mais comumente utilizado para limpeza mecânica das próteses dentárias e tem como vantagens ser um método simples, eficaz e de baixo custo. (Papadiochou e Polyzois, 2018; Melo et al. 2021) A remoção mecânica de resíduos de próteses muitas vezes é feita com o uso de escovas, sejam escovas dentais ou escovas de prótese, dentifrício e água. Estudos relatam que a higienização utilizando apenas escovas e água pode não ser tão eficaz na remoção de todos os microrganismos, sendo comum o uso de dentifrícios. (Panariello et al. 2016; Brown et al. 2022; Harrison, Johnson e Douglas, 2004)

Partículas abrasivas presentes nos dentifrícios associadas à força aplicada pelas cerdas da escova, além de outros fatores, como tipo de escova, carga e composição do dentifrício, causam desgaste abrasivo na superfície acrílica. Este desgaste pode ser mensurado através da avaliação da rugosidade superficial e da perda de massa. (Pontes et al. 2016)

Devido à complexidade e necessidade de uma melhor compreensão da influência dos fatores envolvidos nos testes de resistência à abrasão, esta temática foi abordada em um capítulo à parte **(Capítulo 1 – Efeito da escovação com dentifrícios na rugosidade superficial e perda de massa da resina acrílica: revisão sistemática e metanálise de estudos *in vitro*)**. Sistematizar a literatura a respeito dos efeitos da escovação na resina acrílica, sobretudo na rugosidade e perda de massa, é importante para verificar os dados já existentes na literatura e servir como parâmetro para orientar o ensaio de resistência à abrasão que foi um dos testes desenvolvidos nesta tese em amostras de resina acrílica termopolimerizada comercial e modificada pela incorporação de nitrato de cério.

- **Modificação da resina acrílica com Cério**

A incorporação de substâncias antimicrobianas em resina acrílica tem sido bastante estudada e, dentre a diversidade de materiais utilizados, é possível citar: nanopartículas de dióxido de zircônia (Gad et al. 2021; Abualsaud et al. 2021), nanopartículas de prata (Gad et al. 2022), nanopartículas de dióxido de silício (Al-Thobity e Gad, 2021; Alzayyat et al. 2022), revestimento com dióxido de titânio (Darwish et al. 2019), metacrilato de zircônia (Khader et al. 2022), óxido de cério (Machado-Santos et al. 2020) e nitrato de cério (Farias, 2017; Campos, 2019; Freitas, 2018; Freire, 2017).

O cério tem sido utilizado em Ciências da Saúde e as pesquisas desenvolvidas abrangem diversas áreas biológicas, como regeneração da pele (Veiga et al. 2022), redução de dano histopatológico e oxidativo no tecido pulmonar e renal de ratos (Ozdemirkan et al. 2022), reparo de feridas e prevenção da formação de cicatrizes em experimentos animais (He et al. 2022). A incorporação de cério em um vidro bioativo demonstrou efeitos na estimulação da linfangiogênese *in vitro*, destacando o potencial para a cicatrização de feridas (Xie et al. 2022), e a sua incorporação a um substituto ósseo bioativo apresentou um bom desempenho na capacidade de melhorar a resposta celular osteoblástica na regeneração óssea (Moraes et al. 2015). Seu uso também demonstrou ser promissor no revestimento de cateter e outros dispositivos, evidenciando ser capaz de promover desorganização e quase erradicação de biofilmes pré-formados em estudos *in vitro* e *in vivo*, com atividade microbicida, e, em baixas concentrações, efeito fungistático (Cobrado et al. 2013; Cobrado et al. 2012; Silva-dias et al. 2015).

As aplicações biológicas do cério incluem efeito antibacteriano e expressiva ação antifúngica sobre spp. do gênero *Candida*, apesar das suas propriedades farmacológicas ainda não terem sido totalmente exploradas. (Charbgoon, Ahmad e Darroudi, 2017; Babenko et al. 2012; Cobrado et al. 2012; Silva-dias et al. 2015). Ainda não há um esclarecimento exato sobre o mecanismo de inibição do biofilme e suas propriedades antimicrobianas e fungicidas, no entanto, sugere-se que há absorção de cério para o citoplasma com inibição da respiração celular, inibição do metabolismo da glicose e

ruptura da membrana celular. (Cobrado et al. 2013; Cobrado et al. 2012; Silvadias et al. 2015).

Em Odontologia, o uso combinado de cério com flúor foi capaz de reduzir a perda mineral e o desenvolvimento/progressão da profundidade da lesão em condições de cárie artificial (Wegehaupt et al. 2014). Especificamente na área de Prótese Dentária, a incorporação de nitrato de cério em resina acrílica já vem sendo analisada e os resultados são favoráveis (Freire, 2017; Freitas, 2018; Campos, 2019).

Preliminarmente, os estudos de Freire (2017) e Farias (2017) utilizaram DMSO e Tween como solventes para preparação das soluções contendo nitrato de cério para incorporação em resina acrílica. Os resultados das propriedades biológicas das resinas contendo cério demonstraram uma redução do biofilme de *C. albicans* e, no ensaio de aderência fúngica, houve inibição da formação de biofilme (Freire, 2017). Entretanto, foram observadas alterações estatisticamente significantes nas propriedades avaliadas das amostras modificadas por nitrato de cério, de modo que os valores de rugosidade de superfície foram estatisticamente significantes e maiores que o controle, irregularidades e depressões nas superfícies foram detectadas pela microscopia eletrônica de varredura, alterações dos parâmetros de cor, menores valores de dureza e ângulo de contato (Freire, 2017). Além disso, a presença de maiores porosidades internas nos grupos experimentais foi encontrada, a qual pode atuar na redução do desempenho mecânico do material, como a resistência à flexão, que foi negativamente afetada, cujas amostras apresentaram menores valores em relação à resina acrílica sem modificações (Farias, 2017).

Posteriormente, houve uma modificação das soluções de nitrato de cério, sendo utilizado álcool etílico absoluto como solvente, e os resultados *in vitro* da resina acrílica contendo nitrato de cério demonstraram comportamento fungicida contra cepas de *C. albicans*, *C. tropicalis*, *C. glabrata* e *C. krusei*, no qual a redução de biofilme aderido aos discos de PMMA contendo nitrato de cério foi proporcional às concentrações testadas (0,25%, 0,5% e 1% - porcentagens baseadas na massa de polímero) (Freitas, 2018).

Em continuidade a essa linha de pesquisa, foram testadas as propriedades físico-químicas e térmicas de resinas acrílicas termopolimerizáveis incorporadas com nitrato de cério, em soluções preparadas com álcool absoluto. Os resultados demonstraram ser promissores, com alterações de cor não visíveis ao olho humano, sendo consideradas aceitáveis clinicamente, bem como valores de rugosidade superficial abaixo do limite de relevância clínica ($0,2 \mu\text{m}$). Além disso, a presença do nitrato de cério nas amostras foi confirmada através de fluorescência de raios X e curvas características da calorimetria exploratória diferencial, mantendo similaridade aos grupos controle em relação à termogravimetria (curva de perda de massa) e temperatura de transição vítrea (Campos, 2019).

- **Propriedades físico-mecânicas e de superfície**

As demais propriedades devem ser avaliadas, incluindo as propriedades físico-mecânicas, visto que a incorporação de cério em resina acrílica pode atuar como um método de reforço deste material, aumentando a resistência à flexão e módulo de elasticidade, além de apresentar propriedades químicas apropriadas (Machado-Santos et al. 2020).

A caracterização do material é importante para elucidar fenômenos físicos, químicos e/ou biológicos peculiares de cada material (de Queiroz et al. 2012). Mais pesquisas são necessárias para compreender melhor sobre a interação que ocorre entre o PMMA e o nitrato de cério, além de analisar propriedades essenciais para a possibilidade de uso clínico e sucesso a longo prazo, como molhabilidade, dureza, porosidade, resistência à flexão, resistência à abrasão por escovação, etc.

A molhabilidade é uma propriedade inversamente proporcional ao ângulo de contato e, quanto menor a molhabilidade, mais hidrofóbico torna-se o material. Alguns pesquisadores relatam correlação entre o aumento da propriedade hidrofílica com uma redução na formação de biofilme (Al-bakri et al. 2014; Cierech et al. 2018), onde acredita-se que o material hidrofílico interfere na fase inicial de adesão microbiana baseada em interações eletrostáticas, forças de Van der Waals e interações de hidrogênio, visto que espécies de *Candida* têm forte afinidade à superfície de base de prótese

acrílica pela sua natureza específica e também por suas propriedades hidrofóbicas, sendo demonstrado que o aumento da hidrofilicidade do material dificulta o processo de deposição microbiana (Ciarech et al. 2018).

As porosidades inerentes ao processo de polimerização são características não desejáveis para uma base de prótese em resina acrílica, pois podem provocar alterações nas propriedades do material, estando associadas com diminuição das propriedades mecânicas e resultar em alto estresse interno, levando a uma maior vulnerabilidade à distorção e fratura (Figuerôa et al. 2018), além de poder irritar a mucosa devido ao acúmulo de microrganismos e matéria orgânica que dificultam a higienização (Goiato et al. 2000).

A rugosidade de superfície dos materiais dentários mostrou influenciar na aderência, colonização e formação de biofilmes, com maior aderência de microrganismos em superfícies mais ásperas em comparação com superfícies polidas (Mayahara et al. 2014; Govindswamy et al. 2014; W. J. da Silva et al. 2016; Pereira et al. 2007). Além da rugosidade, a dureza consiste em uma propriedade de superfície definida como a resistência de um material a endentação ou penetração de superfície permanente (Ardestani et al. 2021), sendo considerada um indicador de abrasividade de um material de base de prótese.

A modificação do PMMA pode afetar a dureza de maneira significativa e a incorporação de substâncias antimicrobianas em PMMA pode atuar como um reforço nesta propriedade, que pode ser atribuído ao acúmulo de nanopartículas na matriz acrílica, especialmente na superfície (Gad et al. 2020). Entretanto, o resultado inverso também é relatado na literatura, o qual pode estar associado a um processo de polimerização incompleto da resina acrílica modificada, afetando as propriedades por meio de um plastificante, além da possibilidade das substâncias incorporadas atuarem como impurezas dentro da matriz da resina (Gad et al. 2018; Da Silva et al. 2012). A incorporação de nitrato de cério em soluções de DMSO e Tween realizada em estudos prévios afetou negativamente a dureza de superfície da resina acrílica em relação ao PMMA sem modificação (Freire, 2017). Em virtude da

modificação das soluções de nitrato de cério, sendo utilizado álcool etílico absoluto como solvente, é importante avaliar a influência desta alteração na dureza da resina acrílica.

As propriedades da superfície do PMMA podem ser afetadas pela dureza, bem como pela sua resistência a arranhões e abrasão durante a escovação (Cevik e Yildirim-Bicer, 2018; Gad et al. 2018). A higienização da prótese dentária é essencial para manter uma boa saúde bucal e a limpeza mecânica promovida pela escovação é bastante utilizada (Papadiochou e Polyzois, 2018). Nesse contexto, avaliar as modificações na rugosidade de superfície após ciclos de escovação são importantes quando se trata de um PMMA modificado com o intuito de prevenir estomatite protética.

Apesar da eficácia e das vantagens da escovação, a literatura relata que ocorre um aumento da rugosidade ao longo do tempo (Sorgini et al. 2012; Sorgini et al. 2015). Essas alterações na superfície da resina acrílica podem resultar em aumento da vulnerabilidade à adesão microbiana (Gad et al. 2021), cujas irregularidades aumentam a área disponível para colonização, permitindo a formação de biofilmes volumosos e espessos (da Silva et al. 2016; Govindswamy et al. 2014; Gharechahi, Moosavi e Forghani 2012; Mayahara et al. 2014; Pereira et al. 2007; Ramage et al. 2004). Apesar de estudos prévios (Freire, 2017; Freitas, 2018) terem demonstrado que a incorporação de nitrato de cério reduziu efetivamente a aderência microbiana, estes resultados foram obtidos em superfície lisa proporcionada pela placa de vidro durante a confecção das amostras. No entanto, é preciso verificar se esta efetividade na redução de biofilme aderido está presente também em uma condição de superfície mais rugosa, com a presença de irregularidades decorrentes da escovação, visto que ainda não foram realizados estudos que investigassem esta atividade.

O uso de próteses dentárias durante a mastigação gera aplicação de forças e submetem as mesmas ao estresse flexural. Além disso, é importante destacar que comumente as próteses são suportadas por cristas alveolares irregulares devido ao padrão de reabsorção óssea gradual e irregular. A resistência à flexão é um teste que avalia a propriedade mecânica do material,

sendo considerada uma medida de rigidez e resistência à fratura, bastante necessária para previsão de desempenho clínico, sendo desejáveis maiores valores de resistência à flexão com a incorporação de substâncias antimicrobianas para evitar fraturas durante o seu uso (Gad et al. 2018; Durkan e Oyar, 2018).

Devido ao benefício potencial demonstrado em estudos prévios, a continuidade dos estudos para avaliação das propriedades físico-mecânicas de resinas acrílicas modificadas por nitrato de cério é necessária, visto que, além de apresentar propriedades biológicas e possivelmente atuar na prevenção da estomatite protética, a presença de cério pode não interferir negativamente nas propriedades necessárias ao desempenho clínico da resina acrílica.

Diante do exposto, esta tese será apresentada em dois capítulos, sendo o primeiro capítulo referente a uma revisão sistemática e metanálise para avaliar a influência da escovação simulada com dentifrícios na rugosidade e perda de massa de resinas acrílicas. O segundo capítulo refere-se a um artigo de pesquisa original para avaliar o efeito da incorporação de nitrato de cério em diferentes porcentagens em massa na resina acrílica termicamente ativada por energia de micro-ondas através da caracterização, das propriedades físico-mecânicas, resistência à abrasão por escovação e adesão de biofilme após escovação.

3. OBJETIVOS

3.1. Geral

Caracterizar, avaliar as propriedades físico-mecânicas e atividade antifúngica após escovação de uma resina acrílica termopolimerizada por energia de micro-ondas modificada com a incorporação de diferentes percentuais em massa (0,25%, 0,5% e 1%) de nitrato de cério.

3.2. Específicos

- Caracterizar estruturalmente uma resina acrílica termopolimerizada incorporada com nitrato de cério e uma resina comercial (controle) através de espectroscopia no Infravermelho por Transformada de Fourier (FTIR).
- Mensurar o ângulo de contato de uma resina acrílica termopolimerizada incorporada com nitrato de cério e uma resina comercial (controle).
- Avaliar a porosidade de uma resina acrílica termopolimerizada incorporada com nitrato de cério e uma resina comercial (controle) através de escaneamento em Micro-CT.
- Avaliar a resistência à abrasão por escovação de uma resina acrílica termopolimerizada incorporada com nitrato de cério e uma resina comercial (controle) através da perda de massa e análise rugosimétrica em perfilometria óptica sem contato.
- Avaliar a atividade antimicrobiana sobre a redução do biofilme fúngico após a escovação.
- Avaliar a resistência à flexão de uma resina acrílica termopolimerizada incorporada com nitrato de cério e uma resina comercial (controle) através do teste de flexão de três pontos.
- Avaliar a microdureza Vickers de uma resina acrílica termopolimerizada incorporada com nitrato de cério e uma resina comercial (controle).

4. CAPÍTULO 1

Effect of simulated brushing with dentifrices on the surface roughness and mass loss of the acrylic resin: a systematic review and meta-analysis of in vitro studies

O manuscrito a seguir será submetido para publicação no periódico “*Journal of Prosthetic Dentistry*”.

ABSTRACT

Statement of problem: Brushing with dentifrices is the most used denture cleaning method. However, it can result in abrasive wear, with mass loss and increase in surface roughness, which favors the adherence of microorganisms. **Purpose:** To perform a systematic review and meta-analysis to assess the influence of simulated brushing, using dentifrices and water, on surface roughness and mass loss of acrylic resins. **Methods:** Searches were performed in Pubmed, Scopus, Web of Science, Lilacs, Embase, Open Gray, and Google Scholar databases in March 2022. The study selection process, data extraction, and risk of bias analysis were performed following the PRISMA guidelines. The protocol of this systematic review was registered in the Open Science Framework. Meta-analysis was performed using a random effects model ($\alpha=0.05$) in RevMan software. **Results:** A total of 14 studies were included in the qualitative synthesis and 2 studies in the quantitative synthesis. The manual toothbrush was the most analyzed (n=9), followed by the electric toothbrush (n=5) and denture brush (n=1). Denture base resin (n=8) was more evaluated than acrylic resin for the abrasiveness of toothpaste (n=6). Most studies used conventional toothpaste (n=12), while 6 used specific dentifrices. The period of brushing corresponding to 1 year was the most predominant (n=6). Surface roughness (n=13) was more evaluated than mass loss (n=4). In general, dentifrices resulted in greater surface roughness than water. According to meta-analysis results, brushing using dentifrices showed higher mass loss values compared to brushing with distilled water ($p < 0.05$). **Conclusion:** Brushing acrylic resins with dentifrices resulted in higher abrasiveness when compared to water. **Clinical implications:** Brushing is the most common method of cleaning dental prostheses and its association with dentifrices has shown deleterious effects on surface roughness and mass loss. This can reduce the durability of the prosthesis and favor the development of microorganisms and oral infections.

Keywords: Polymethyl Methacrylate; Acrylic Resin; Brushing; Surface Roughness; Mass Loss; Systematic Review.

INTRODUCTION

Polymethyl methacrylate (PMMA) has been used in Dentistry since the mid-1940s, with a wide range of uses, especially for the manufacture of prostheses.^{1,2} This material can have some advantages such as low cost, biocompatibility, ease of handling, and adequate aesthetic results. Furthermore, PMMA can provides functional results because of its ability to reproduce the shape and size of oral tissues.^{1,2}

The main disadvantage of acrylic resin is its ease of adherence of microorganisms and formation of biofilm on its surface, causing infections such as denture stomatitis.³⁻⁵ Therefore, cleaning of the prosthesis is essential for the maintenance of patient's health. Moreover, the cleaning can to favor the longevity of the prosthetic rehabilitation, since the prosthesis can act as a reservoir for microorganisms, requiring its replacement.^{4,6}

Several cleaning methods have been proposed, with chemical, physical, mechanical, or associated methods.^{6,7} The immersion of dentures in chemical solutions, such as sodium hypochlorite, alkaline peroxides, and chlorhexidine, aims to promote cleaning based on detergent and antimicrobial properties of the solutions. However, it can cause damage to acrylic resin, such as stains or discoloration and surface irregularities, resulting in deleterious effects.^{7,8} The physical action of microwave irradiation, despite being considered an efficient and low-cost method for denture disinfection,^{9,10} can result in changes in surface properties, coloring, and linear dimensions.^{11,12} Brushing is the mechanical cleaning method most commonly used by prosthesis users.^{6,13} However, this method has disadvantages, including the abrasive wear and possibility of not removing the biofilm completely.^{8,13,14}

Mechanical removal of denture residues is often done with the use of brushes, whether toothbrushes or denture brushes, dentifrice, and water. Abrasive particles

present in dentifrices associated with the force applied by the brush bristles cause wear on the surface of the acrylic resin, increasing surface roughness and mass loss.^{6,15} The composition of the dentifrice, as well as size and shape of the particles, can influence the abrasiveness.¹⁶ Dentifrices specific for dentures may not contain abrasive particles or have less abrasiveness, which is more recommended for cleaning. However, their use is not common in some countries.^{15,17}

Over time, damage to the surface of the PMMA makes cleaning increasingly difficult because the surface irregularities present favor the adherence of microorganisms to the prosthesis and make its removal more difficult. As a result, compromises the aesthetics and adaptation of the denture.^{14,18,19} Thus, this systematic review and meta-analysis of in vitro studies was designed to assess the influence of simulated brushing with the use of dentifrices and water on the surface roughness and mass loss of acrylic resin.

METHODS

This systematic review and meta-analysis was reported following the PRISMA 2020 (Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses) guidelines.²⁰ The protocol of this study was registered in the Open Science Framework under the DOI number 10.17605/OSF.IO/QD4GH, available at <https://osf.io/qd4gh>.

The research question guiding this study was: “What is the effect of brushing with dentifrice on the surface roughness and mass loss of the acrylic resin?”, based on the PICO strategy: Population – P: acrylic resin; Intervention – I: brushing with dentifrice; Control – C: brushing with water; Outcome – O: surface roughness or mass loss.

Search strategy

The databases used for the search were: Pubmed, Scopus, Web of Science, Lilacs, Embase. Searches were also carried out in the Open Grey and Google Scholar databases referring to gray literature. To form the search strategies (Table 1) the following Medical Subject Headings (MeSH) and their respective terms were combined with the boolean operators (AND, OR): “Polymethyl Methacrylate”, “PMMA”, “Acrylic Resin”, “Denture Base”, “Brushing”, “Surface Roughness”, “Mass Loss”. Searches were performed in March 2022, with no restriction on language or year of publication. Additionally, a manual search of manuscripts was performed by checking the reference list of the included studies.

Eligibility criteria

In vitro studies that evaluated the effect of simulated brushing on the surface roughness or mass loss of the acrylic resins, using a toothbrush or denture brush, with conventional or specific dentifrice, and water (control) were included. Studies that used acrylic resins indicated for making denture base, as well as acrylic for the analysis of dentifrice abrasiveness, were considered.

Case reports, case series, editorials, clinical trials, letters to the editor, and literature reviews were part of the exclusion criteria. In addition, studies that did not compare brushing with water or used experimental products/materials, other types of acrylic resin, acrylic resin teeth, or performed combined cleaning methods were not considered.

Selection process

Articles obtained from each database were imported into Rayyan software for duplicate removal and application of eligibility criteria. The study selection process was

performed by two independent examiners (DSC, TKVLC), by reading the title and abstract. Potentially eligible articles were read in full-text and, in case they did not meet the criteria of this review, they were excluded with justification. Disagreements were resolved by a third examiner (AUSB).

Data extraction

Data extracted from the studies included in this systematic review were performed by two independent authors (DSC, IAFM) following a standardized form. The following information was collected: author and year, evaluated PMMA, brush type, dentifrice type, slurry proportion (dilution of dentifrice in water), brushing cycle/time, load, evaluation of surface roughness, evaluation of mass loss, and conclusion. In case of disagreement, a third author was consulted (AUSB).

Table 1: Review question, PICO approach, search strategy in the different databases evaluated, and the inclusion/exclusion criteria

Review Question	What is the effect of brushing with dentifrice on the surface roughness and mass loss of the acrylic resin?
PICO approach	Population – P: acrylic resin Intervention – I: brushing with dentifrice Control – C: brushing with water Outcome – O: surface roughness or mass loss
Database	Search strategy
PubMed	((((((((((("Polymethyl Methacrylate"[MeSH Terms]) OR (PMMA[Title/Abstract])) OR (Polymethylmethacrylate[Title/Abstract])) OR ("Acrylic Resins"[MeSH Terms])) OR ("Acrylic Resin"[Title/Abstract])) OR ("Denture Bases"[MeSH Terms])) OR ("Denture Base"[Title/Abstract])))) AND (((((((((toothbrushing[Title/Abstract])) OR (toothbrushings[Title/Abstract])) OR (brushing[Title/Abstract])) OR (toothbrush[Title/Abstract])) OR (toothbrushes[Title/Abstract])) OR ("denture brush"[Title/Abstract])) OR ("denture brushes"[Title/Abstract])) OR ("abrasion resistance"[Title/Abstract])))) AND (((("surface roughness"[Title/Abstract])) OR (roughness[Title/Abstract])) OR ("weight loss"[Title/Abstract])) OR ("mass loss"[Title/Abstract]))))
Scopus	TITLE-ABS-KEY("Polymethyl Methacrylate" OR PMMA OR Polymethylmethacrylate OR "Acrylic Resins" OR "Acrylic Resin" OR "Denture Bases" OR "Denture Base") AND TITLE-ABS-KEY(toothbrushing OR toothbrushings OR brushing OR toothbrush OR toothbrushes OR "denture brush" OR "denture brushes" OR "abrasion resistance") AND TITLE-ABS-KEY("surface roughness" OR roughness OR "weight loss" OR "mass loss")
Web of Science	TS=("Polymethyl Methacrylate" OR PMMA OR Polymethylmethacrylate OR "Acrylic Resins" OR "Acrylic Resin" OR "Denture Bases" OR "Denture Base") AND TS=(toothbrushing OR toothbrushings OR brushing OR toothbrush OR toothbrushes OR "denture brush" OR "denture brushes" OR "abrasion resistance") AND TS=("surface roughness" OR roughness OR "weight loss" OR "mass loss")
Lilacs	((mh:("Polymethyl Methacrylate")) OR (tw:(PMMA)) OR (tw:(Polymethylmethacrylate)) OR (mh:("Acrylic Resins")) OR (tw:("Acrylic Resin")) OR (mh:("Denture Bases")) OR (tw:("Denture Base")))) AND ((mh:(toothbrushing)) OR (tw:(toothbrushings)) OR (tw:(brushing)) OR (tw:(toothbrush)) OR (tw:(toothbrushes)) OR (tw:("denture brush")) OR (tw:("denture brushes")) OR (tw:("abrasion resistance")))) AND ((tw:("surface roughness")) OR (tw:(roughness)) OR (tw:("weight loss")) OR (tw:("mass loss"))))
Embase	(‘Polymethyl Methacrylate’:ab,ti OR PMMA:ab,ti OR Polymethylmethacrylate:ab,ti OR ‘Acrylic Resins’:ab,ti OR ‘Acrylic Resin’:ab,ti OR ‘Denture Bases’:ab,ti OR ‘Denture Base’:ab,ti) AND (toothbrushing:ab,ti OR toothbrushings:ab,ti OR brushing:ab,ti OR toothbrush:ab,ti OR toothbrushes:ab,ti OR ‘denture brush’:ab,ti OR ‘denture brushes’:ab,ti OR ‘abrasion resistance’:ab,ti) AND (‘surface roughness’:ab,ti

	OR roughness:ab,ti OR 'weight loss':ab,ti OR 'mass loss':ab,ti)
OpenGrey	("Polymethyl Methacrylate" OR PMMA OR Polymethylmethacrylate OR "Acrylic Resins" OR "Acrylic Resin" OR "Denture Bases" OR "Denture Base") AND (toothbrushing OR toothbrushings OR brushing OR toothbrush OR toothbrushes OR "denture brush" OR "denture brushes" OR "abrasion resistance") AND ("surface roughness" OR roughness OR "weight loss" OR "mass loss")
Google Scholar	("Polymethyl Methacrylate" OR PMMA OR Polymethylmethacrylate OR "Acrylic Resins" OR "Acrylic Resin" OR "Denture Bases" OR "Denture Base") AND (toothbrushing OR toothbrushings OR brushing OR toothbrush OR toothbrushes OR "denture brush" OR "denture brushes" OR "abrasion resistance") AND ("surface roughness" OR roughness OR "weight loss" OR "mass loss")
Inclusion Criteria	• in vitro studies • studies that evaluated the effect of simulated brushing on the surface roughness or on the mass loss of the acrylic resins • brushing with conventional or denture dentifrices and water as control • use of toothbrushes or denture brushes
Exclusion Criteria	• case reports • case series • editorials • clinical trials / in situ evaluation • letters to the editor • literature reviews • no comparison of brushing with water • experimental products/materials • other types of acrylic resin • acrylic resin teeth • combined cleaning methods

Methodological quality and risk of bias assessment

The risk of bias was assessed by two independent examiners (DSC, IAFM) based on an adaptation of previously published systematic reviews of in vitro studies^{21–24} and the Cochrane Collaboration's tool²⁵. For this, the Review Manager software (version 5.4, Cochrane Collaboration, Oxford, UK) was used and the following domains were analyzed: Sample size calculation, Comparable groups, Randomization, Detailed information regarding measurements, Proper statistical analysis, Manufacturer's instructions, Single operator, and Blinded operator.

The parameters were judged as "yes" (+), "no" (-), or "unclear" (?). The authors were contacted by email for further clarification about the methodology and, in cases of no response (no information), the items were classified as unclear (?). The studies were classified based on the total amount of "yes" for all domains evaluated, considering: 1 to 3 (high risk of bias), 4 to 5 (medium risk of bias) and 6 to 8 (low risk of bias).²¹

Meta-analysis

The meta-analysis of the included studies was conducted using the Review Manager software (version 5.5, Cochrane Collaboration). A pooled-effect estimate was obtained by comparing the standardized mean difference between mass loss values for each dentifrice. For all analyses a p-value < 0.05 was considered statistically significant. Subgroup analyses were also performed to comparing the mass loss when brushing with dentifrices or distilled water.

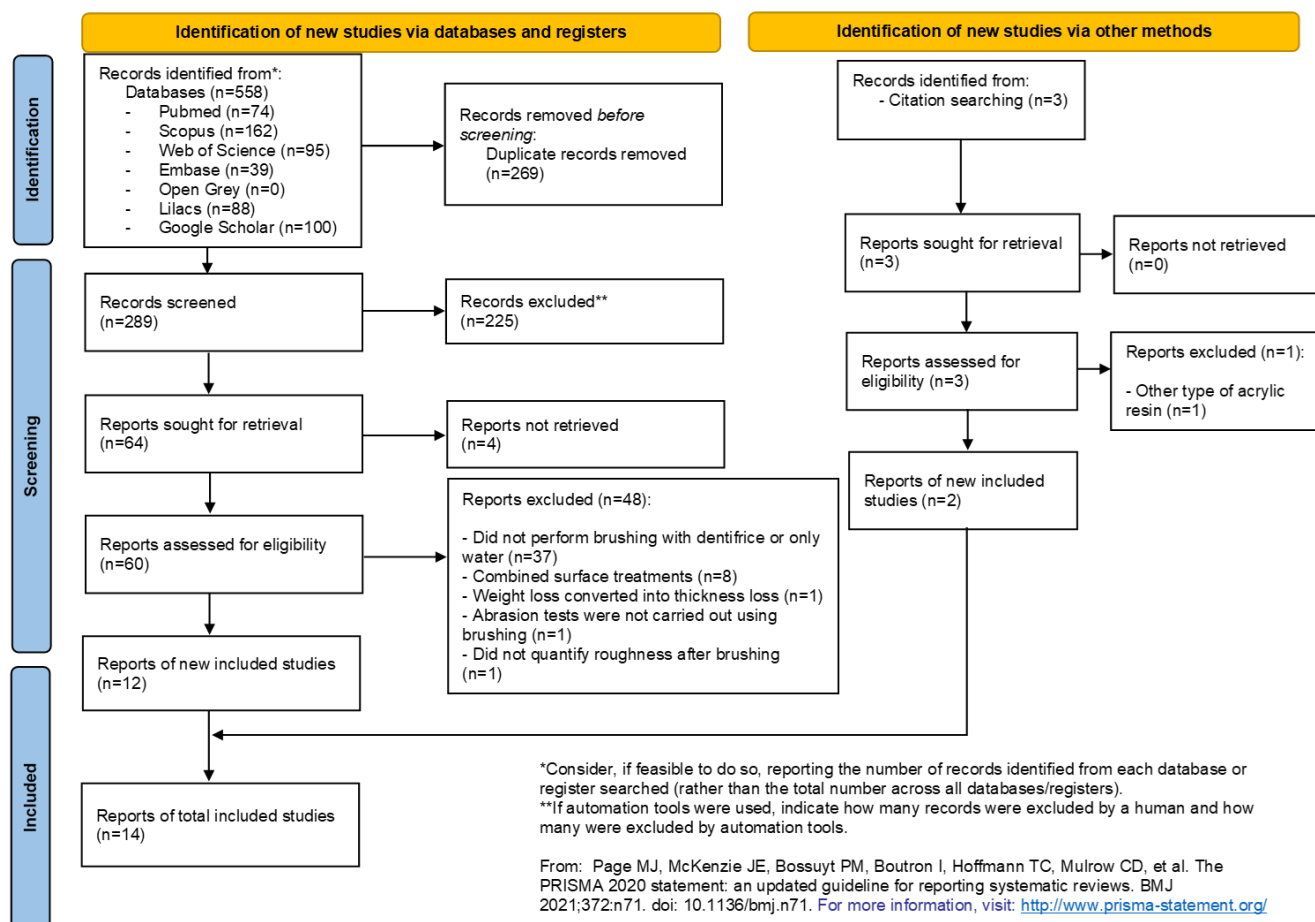
The meta-analysis was performed within 1 year with Plexiglass acrylic resin for Colgate Tripla Ação, Sorriso and Corega dentifrices, compared with distilled water. Due to the variability in the composition of dentifrices, data were grouped by the commercial brand to carry out the meta-analysis and the type of brush, acrylic resin, and brushing time/cycle.

RESULTS

Study selection

The selection process of the studies is illustrated in figure 1 according to PRISMA guidelines. Initially, 558 articles were identified in the databases (for Google Scholar the first 100 references were selected) and, after excluding 269 duplicates, 289 studies were selected for the title and abstract reading. For full-text reading, 60 articles were eligible, of which 48 were excluded with justification. Three studies were evaluated as a result of complementary database searches on the reference, but only 2 met the inclusion criteria. Thus, 14 studies were included in the qualitative synthesis and 2 studies in the quantitative synthesis (meta-analysis).

Figure 1: PRISMA 2020 flow diagram for updated systematic reviews which included searches of databases, registers and other sources.



Study characteristics

Data extraction from the included studies is shown in table 2. Denture base resin was evaluated in 8 studies, all of them were heat-polymerized, while 6 studies used acrylic resin considered internationally acceptable for the analysis of dentifrice abrasiveness, like Plexiglass. Among the brushes used, the adaptation of the toothbrush for use in a brushing machine was the most used (n=9), followed by the electric toothbrush (n=5), and just 1 study used a specific brush for cleaning complete dentures (denture brush).

Regarding dentifrices, all 14 selected studies used the conventional dentifrice (toothpaste), among which 8 evaluated Colgate and 4 Sorriso. The specific dentifrice for denture was evaluated in 6 studies, being the most evaluated Dentu-crème (n=4), followed by Corega (n=3). Brushing with water was present in all studies, with distilled water being the most used (n=9). The most evaluated ratio of dentifrice dilution in water (slurry) was 1:1 (n=6), and distilled water was used to prepare the solutions in 6 studies. Regarding the number of cycles and the equivalence in brushing time performed, the most evaluated period was 1 year (n=6), corresponding to around 18.000 cycles. The predominant load applied was 200 grams (n=8). Surface roughness was evaluated in 13 studies while the mass loss was evaluated in 4 studies.

The heterogeneity of the data referring to surface roughness did not allow performing the meta-analysis for any type of acrylic resin evaluated, but, in general, most of the included studies demonstrated an increase in roughness after brushing with dentifrices, regardless of the type of dentifrice or acrylic resin tested.

Table 2: Data extraction of the included studies.

Authors and year	PMMA	Brush type	Dentifrice type	Slurry proportion	Cicle/ Time	Load	Surface roughness evaluation	Mass loss evaluation	Conclusions
Consani et al., 1995 ³⁰	Plexiglas (Rohm & Haas Co.)	Toothbrush (Prevent 30, Anakol)	Conventional dentifrices - Signal G (Gessy-Lever) - Signal Plus (Gessy-Lever) - Kolynos Clorofila (Anakol) - Flúor 2 Extra (Anakol) - Kolynos S. Branco (Anakol) - Close-up (Gessy-Lever) - Colgate Anti-Tártaro (Colgate) - Colgate MFP (Colgate) - Signal Anti-Tártaro (Gessy-Lever) - Colgate Gengi-Dent (Colgate) - Anti-Cárie Xavier (Hepacholan) - Kolynos Star Gel (Anakol) - Colgate Gel (Colgate) - Sensodyne F (Billi Farm.) - Colgate MFP + Ca (Colgate) - Kolynos S.B.Pump (Anakol) - Tandy (Anakol) - Fresh (Anakol)	4,6 ml of dentifrice and 6 ml of distilled water	30.000 cycles	200 g	Perth-o-meter (Hannover)	—	Surface roughness: Prevent = Fluotrat = Kolynos anti-placa = Water. The least abrasive toothpaste was Prevent and the most abrasive was Signal G. The other products showed intermediate values.

			- Fluotrat (Biolab-Searle) - Kolynos Anti-Placa (Anakol) - Prevent (Anakol) Control group Water						
Freitas-Pontes et al., 2009 ³¹	Denture resin heat-polymerized (Lucitone 550, Dentsply / QC-20, Dentsply / Clássico, Artigos Odontológicos / Vipi Cril, Dental Vipi)	Toothbrush (Tek, Soft, Johnson & Johnson)	Conventional dentifrices - Colgate com cálcio (Colgate Palmolive) Specific dentifrice - Bonyplus (Bonyf AG) - Dentu-crème (Block Drug Company) Control group Distilled water	Dentifrice/ distilled water slurry (2:1; w/w)	35.600 strokes (2 years)	200 g	—	Analytical balance accurate to 0.1 mg (Metler Toledo GmbH)	Mass reduction: Colgate > Dentu-Creme > Bonyplus = Distilled water. QC-20 and Lucitone 550 resins were less resistant to abrasion than Clássico and Vipi-Cril
Gautam et al., 2017 ²⁰	Denture resin heat-cured	Electric-powered toothbrush (Colgate)	Conventional dentifrices - Colgate Total Cream (Colgate Palmolive) - Patanjali Dant Kanti (Patanjali Ayurved Ltd.) Control group Distilled water	—	0, 1.000, 9.000 and 18.000 strokes	—	Roughness tester (Mitutoyo)	—	Surface roughness: Patanjali Dant Kanti > Colgate Total Cream > Distilled water

Harrison et al., 2004 ³²	Denture resin heat cured (Meliodent, Kulzer)	Electric toothbrush (Philips)	Conventional dentifrice - Colgate Total (Colgate Palmolive) - Clinomyn (E.C. De Witt & Co Ltd.) Specific dentifrice - Dentu-crème (Stafford Miller) Control group Water - Tap water	Dentifrices dilutions: 1:1, 1:2 and 1:3, with water	1 year	200 g	Stylus profilometer (Surftest 301, Mitutoyo)	—	Surface roughness: Clinomyn > Dentu-crème > Colgate Total > Water (almost unaltered). There were no significant differences between any of the dilutions for any of the cleaners used.
Haselden et al., 1998 ³³	Denture resin (Meliodent)	Toothbrush (Oral-B)	Conventional dentifrice - Colgate (Colgate Palmolive) - Clinomyn (E.C. De Witt) Specific dentifrice - Dentucreme (Stafford Miller) Control group Water	1 ml of dentifrice and 1 ml of tap water	30.000 reciprocal strokes (3 years)	250 g	Profilometer (Surftest 4, Mitutoyo)	—	Surface roughness: Dentu-creme = Clinomyn > Colgate > Water. No apparent wear was measurable for water alone.
Kurniawan et al., 2019 ³⁴	Denture resin heat-cured (SR Triplex Hot, Ivoclar Vivadent)	Electric toothbrush (Oral B Precision Clean)	Conventional dentifrices - Sensodyne Fresh Mint (GlaxoSmithKline) Control group Distilled water	Toothpaste and distilled water at a ratio of 1:1	1 year	200 g	Surface roughness tester (Taylor Hobson Surtronic S-100; Ametek Inc.)	—	Surface roughness: Sensodyne > Distilled water

Pascaretti-Grizon et al., 2013 ³⁵	PMMA blocks (Merck)	Electric toothbrush (Oral-B)	Conventional dentifrices - Colgate Total (Unilever) - Denivit (Schwartzkopf & Henkel) - Parodontax (Glaxo-Smith-Kline GSK) - Kontrol (Omega Pharma) - Per Blan (Per Blan, Paris) - Gencix (Esprit d'Ethique) Control group Distilled water	Toothpaste: 0.2 g of toothpaste diluted in 500 µl of distilled water. For the powder Gencix the volume used was variable.	2 min	250 g	Vertical scanning interference microscope (Wyko NT 9100; Bruker Nano Surface)	—	Surface roughness: Distilled water = Parodontax = Gencix used in reduced volume. PMMA blocks exhibited signs of abrasion with distilled water. Denivit and Colgate Total produced significantly higher erosion. The toothpastes were associated with a significant higher roughness than the different toothpastes or the brush alone except Gencix, used in reduced volume.
Patrão et al., 1998 ³⁶	Denture resin heat-cured (Clássico, Artigos Odontológicos Classico LTDA)	Toothbrushes - Oral-B 30 (Gillete do Brasil) - Kolynos Doctor (Kolynos) Denture brush - Denture (Kolynos)	Conventional dentifrices - Sorriso (Kolynos) - Liqui Fresh (Gessy Lever) Control group Distilled water	4,6 ml of dentifrice and 6 ml of water	30.000 cycles	200 g	Rugosimeter (Rug 0.3, Prazis)	—	Surface roughness: Sorriso > Liqui Fresh > Distilled water. There was no statistical difference between the brushes used for all dentifrices evaluated
Pisani et al., 2010 ³⁷	Plex Glass (Day Brasil S.A.)	Toothbrush (Colgate)	Conventional dentifrice - Sorriso (Colgate-Palmolive) Specific dentifrice	Dentifrice / distilled water: 1:1 ratio	6 years	200 g	Rugosimeter (Rug 0.3, Prazis)	Electronic balance with a 0.1 mg and capacity of 210 g (Ohaus)	Surface roughness: Sorriso > Corega > Distilled water. Weight loss: Corega =

			- Corega Brite (Stafford Miller Ind.) Control group Distilled water						Sorriso > Distilled water.
Ramadhan et al., 2018 ¹⁸	Heat-polymerized acrylic resin	Electric Toothbrush (Pierrot)	Conventional Dentifrices (abrasive agents) - Silica - Silica + calcium carbonate - Silica + calcium carbonate + perlite Control group Distilled water	—	1 year	—	Surface roughness device (did not mention commercial brand)	—	Surface roughness: Silica + calcium carbonate + perlite > Silica + calcium carbonate > Silica > Distilled water
Sorgini et al., 2012 ³⁸	Plexiglass (Day Brasil S.A.)	Toothbrush (Johnson & Johnson)	Conventional dentifrices - Colgate Tripla Ação (Colgate Palmolive) - Sorriso Tripla Refrescância (Colgate Palmolive) - Close Up Red Hot (Unilever) Specific dentifrices - Corega (Stafford Miller) - Dentu-Creme (GlaxoSmithKline) Control group Distilled water	Dentifrice / distilled water: 1:1 ratio	18.000, 36.000, 72.000 and 90.000 cycles, equivalent to 1, 2, 4 and 5 years	200 g	Roughness tester (Surftest SJ-201P; Mitutoyo)	Electronic balance accurate to 0.1 mg and capacity of 210 g (Ohaus)	Surface roughness: Distilled water had the same results over time. Similar surface roughness between dentifrices and water within 1 year. Conventional dentifrices > Specific dentifrices > Distilled water. Mass loss: There was a trend of mass loss proportional to the testing time, except for water, which maintained constant mass. Specific dentifrices > Conventional dentifrices > Distilled water.

Sorgini et al., 2015 ³⁹	Plexiglass (Day Brasil S.A.)	Toothbrush (Johnson & Johnson)	Conventional dentifrices - Sorriso (Colgate Palmolive) - Colgate Tripla Ação (Colgate Palmolive) Specific dentifrices - Corega (GSK - GlaxoSmithKline) - Polident (GSK - GlaxoSmithKline) Control group Distilled water	Dentifrice / distilled water: 1:1 ratio	17.800 cycles, equivalent to 1 year	200 g	Roughness tester (Surftest SJ-201P, Mitutoyo)	Electronic analytical balance (Metler Toledo) with 0.1 mg resolution and 210 g capacity	Surface roughness: Sorriso = Colgate = Corega > Polident = Distilled water. Weight loss: Brushing with distilled water resulted in less weight loss. Among the dentifrices, the highest values were found for Sorriso, Colgate and Corega and the lowest for Polident.
Tellefsen et al., 2011 ⁴⁰	PMMA Plexiglas XT	Toothbrushes: - TePe x-mjuk - Dentosal (ACO) - Jordan soft - TePe select, mjuk - Pepsodent essential - Oral B cross A - Jordan Medium - Oral B, barn - Butler gum 431 - TePe vagig, mjuk	Conventional dentifrice - Clinomyn Control group Water	Dentifrice / water: 1:2 ratio	4.000 and 24.000 strokes	2,35 N	Surface Profilometer (P15, KLA Tencor Corp.)	—	Surface roughness: Brushing with water alone caused less abrasion than when a toothpaste was added

Wang et al., 2013 ⁴¹	Thermo-polymerized PMMA	Toothbrush (did not mention commercial brand)	Conventional dentifrice (Did not mention commercial brand) Control group Water	—	18 months	—	Laser scanning confocal microscope (OLS4000)	—	Surface roughness: There was no statistical difference between groups
---------------------------------	-------------------------	---	---	---	-----------	---	--	---	--

Methodological quality and risk of bias in studies

In the assessment of the risk of bias (Figure 5), the sample size calculation was the least described domain in the methodology of the studies, followed by blinded operator and randomization. The methodological items performed by all studies were: comparable groups, detailed information regarding measurements, and proper statistical analysis.

The classification of the included studies in terms of methodological quality is shown in Figure 6. Most studies had a low risk of bias ($n=7$). The medium and high risk of bias was found, respectively, in 4 and 3 articles.

Figure 5: Distribution of risk of bias among studies included according to pre-established criteria.

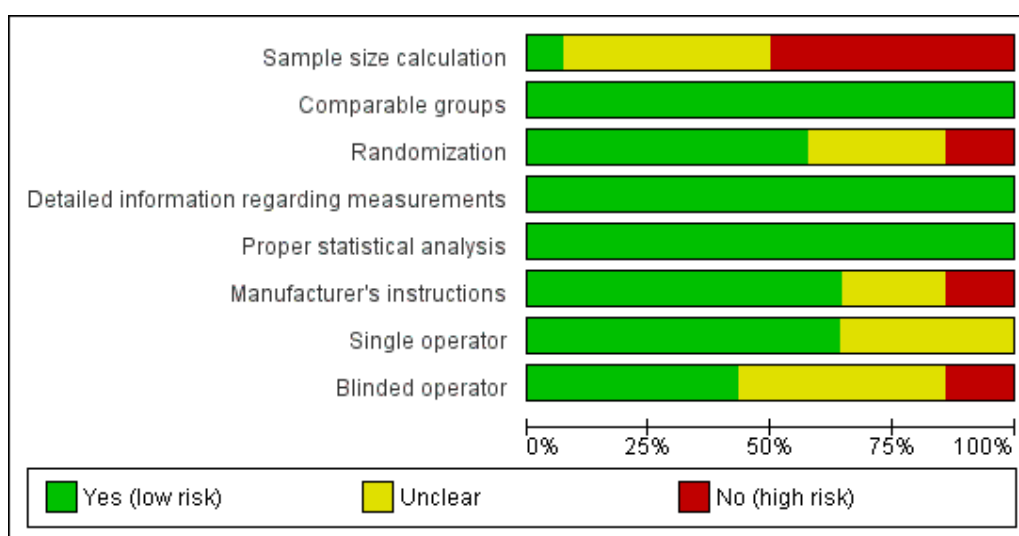


Figure 6: The classification of the included studies according each domain.

	Sample size calculation	Comparable groups	Randomization	Detailed information regarding measurements	Proper statistical analysis	Manufacturer's instructions	Single operator	Blinded operator
Consani et al., 1995	+	+	+	+	+	+	+	+
Freitas-Pontes et al., 2009	+	+	+	+	+	+	+	+
Gautam et al. 2017	?	+	?	+	+	?	?	?
Harrison et al. 2004	?	+	+	+	+	+	?	?
Haselden et al., 1998	?	+	?	+	+	+	?	?
Kurniawan et al., 2019	+	+	+	+	+	+	+	+
Pascaretti-Grizon et al., 2013	+	+	+	+	+	+	+	+
Patrão et al. 1998	+	+	+	+	+	+	+	+
Pisani et al. 2010	+	+	+	+	+	+	+	+
Ramadhan et al., 2018	?	+	?	+	+	?	?	?
Sorgini et al. 2012	+	+	+	+	+	+	+	+
Sorgini et al. 2015	+	+	+	+	+	+	+	+
Tellefsen et al. 2011	?	+	?	+	+	?	?	?
Wang et al. 2013	?	+	+	+	+	+	+	?

Meta-analysis

According to meta-analysis results of mass loss, brushing using dentifrices showed higher mass loss values compared to brushing with distilled water ($p < 0.05$) (figures 2, 3, and 4).

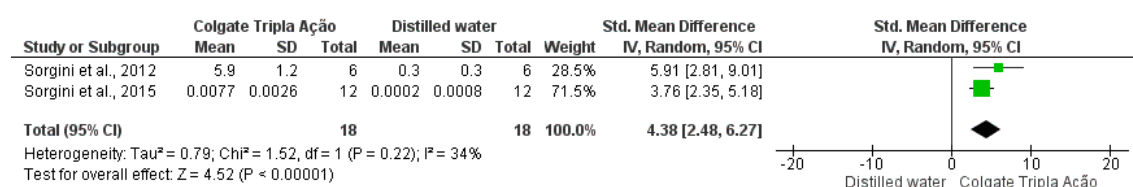
Figure 2: Forest plots summarizing mass loss after brushing with conventional dentifrice Colgate Tripla Ação and distilled water.

Figure 3: Forest plots summarizing mass loss after brushing with conventional dentifrice Sorriso and distilled water.

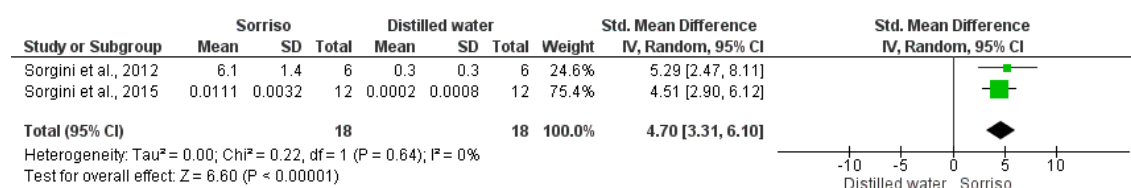
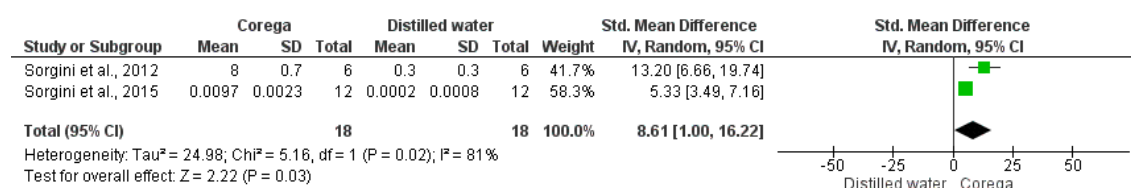


Figure 4: Forest plots summarizing mass loss after brushing with specific dentifrice Corega and distilled water.



DISCUSSION

This systematic review and meta-analysis of in vitro studies revealed that brushing with water resulted in less mass loss and surface roughness. Brushing is the most commonly used method for the mechanical cleaning of dentures. It presents the advantages of being a simple, effective, and low-cost method.^{13,38} Previous studies showed that brushing acrylic resins for denture base successfully reduces both the microbial load and the viability of multispecies biofilm, and should be performed on a regular basis. However, cleaning with water alone is not able to remove all microorganisms,^{28,39,40} thus, the use of dentifrices is common.

In this systematic review, it is important to highlight the variability of data from the included studies, such as type of brush used, bristle hardness, commercial brand, the composition of the evaluated dentifrices, proportion of dentifrice dilution, and brushing period. This diversity resulted in high heterogeneity, making it difficult to group the data and carry out a meta-analysis to assess surface roughness.

Abrasion resistance consists of the ability to resist material loss when subjected to direct physical contact with other surfaces,⁴¹ such as the contact of the brush bristle with the acrylic resin during brushing. This property is important to evaluate the characteristics of prosthetic materials. The type of brush used can interfere with abrasiveness depending on the hardness of the bristle, applied force, and an indication of use (toothbrush or denture brush).⁴² Soft bristle brushes tend to result in less abrasive wear on dentin with increased brushing force when compared to medium bristle brushes.⁴³ However, Tellefsen et al. (2011)³⁶ evaluated different types of acrylic resin toothbrush bristles and showed controversial results, which showed that brushing with a soft bristle brush and water was less abrasive than a brush with harder bristles, however, when adding the toothpaste, it showed the opposite behavior.

Although the ideal is to follow the manufacturer's recommendations regarding the type of brush and to use denture brushes for brushing dentures, some studies show that there is no difference in abrasiveness when using toothbrushes and denture brushes on acrylic resin^{15,32} and, among the studies included, only 1 evaluated the denture brush³². In addition, manual toothbrushes may result in less abrasion when compared to electric toothbrushes.^{44,45} However, this result refers to dentin and the literature is limited regarding the influence of these factors on the abrasiveness of acrylic resin and should be further investigated, since both manual and electric toothbrushes were used in the studies of this systematic review.

Brushes can be affected by the greater abrasiveness of the toothpaste, which causes wear on the bristles with a change in their tip, which can increase the abrasive potential of the bristle/toothpaste combination.⁴² This abrasiveness is influenced by several factors, such as composition, size, concentration, and regularity of the particles.^{16,26} The main components of dentifrices are humectants, water, detergents, thickeners, flavorings, dyes,

and abrasive agents.^{27,33} Calcium carbonate, used as an abrasive particle in conventional and specific denture dentifrices, shows different abrasiveness results. This heterogeneously distributed, irregularly shaped and sized particle, as seen in Colgate toothpaste, results in greater abrasive wear compared to regular, small, evenly distributed particles, such as in the specific Dentu-crème toothpaste, which is reflected in grooves generated on the surfaces, being smoother for specific dentifrice and rougher for conventional dentifrice.

^{27,28,46}

In addition to the particles, the other components can influence the abrasiveness, since the Polident toothpaste is also composed of calcium carbonate, however, because it has glycerin in its composition, with lubricating property, it results in lower values of abrasive wear.³⁵ Another abrasive particle commonly found in toothpastes is silica, whose solubility in water can promote rounding of acute angles and result in less abrasiveness,^{33–35} being present both in conventional toothpaste, such as Close Up, as well as in specific dentifrices, such as Corega. The combination of abrasives, such as silica and calcium carbonate (Pepsodent Regular), can also be found in toothpastes and can reflect in higher levels of abrasiveness, as demonstrated in the study by Ramadhan et al. (2018)¹⁴. In addition, abrasive wear is directly proportional to the speed with which abrasive particles come into contact with the surface of the material.²⁶

Another parameter that can influence brushing tests is the proportion of dentifrice and water for dilution, also described as slurry. Most of the studies included in this systematic review evaluated only one proportion, with the slurry variation being investigated by only two studies, which presented controversial results. Harrison et al. (2004)²⁸ found no significant differences for the 1:1, 1:2, and 1:3 dilutions of all dentifrices tested, while Pascaretti-Grizon et al. (2013)³¹ observed different abrasions when varying the dilutions.

As for the load used in the studies included in this systematic review, all were within the standards of the International Organization for Standardization (ISO) technical report (ISO/TR 14569- 1:2007) for guidance on testing of wear, and can be used from 0.5 N to 2.5 N,⁴⁷ with 200g being the most commonly used load.

Mass loss, increase in surface roughness, and loss of surface polish and gloss are negative consequences that can result from the abrasion generated by brushing.^{6,27} Although the evaluation of surface roughness and mass loss are parameters suitable for the evaluation of abrasive wear,¹⁵ there is no direct association between them, since it is possible for the action of the dentifrice to generate greater mass loss and less surface roughness by promoting a polishing on the surface, as demonstrated in the studies by Pisani et al. (2010)³³ and Sorgini et al. (2012)³⁴.

Deleterious effects are cited in the literature according to the increase in roughness of the acrylic resin, such as microbial adhesion and biofilm accumulation, which can cause a color change, development of halitosis, and denture stomatitis, in addition to the difficulty of promoting effective cleaning in by virtue of the microorganisms taking shelter in the irregularities present on the surface.^{48,49} The clinically acceptable threshold value for the roughness of the denture is 0.2 μm since higher values allow an accumulation and colonization of microorganisms on its surface. Therefore, the surface of the prosthesis should ideally be smooth and polished.^{50,51}

There is a difficulty in grouping the results of conventional and specific dentifrices to evaluate the abrasion generated by brushing due to the variation in the composition of the different commercial brands used. The meta-analysis showed that both conventional dentifrices Colgate Triple Action and Sorriso and Corega specific dentifrice resulted in significant mass losses in relation to water within one year. However, different results can also be found depending on the toothpaste used, as in the study by Freitas-Pontes et al.

(2009)²⁷, in which Bonyplus specific dentifrice presented a mass loss similar to distilled water.

Among the studies included in this systematic review that performed a comparative analysis of surface roughness between conventional and specific dentifrices, most resulted in an increase in roughness for both, except for the studies by Sorgini et al. (2012)³⁴, in which the dentifrices presented roughness similar to water distilled water in a period of 1 year, and Sorgini et al. (2015)³⁵, in which only Polident did not show differences in relation to distilled water. As for other brushing periods, there is a trend of mass loss proportional to the testing time and an increase in roughness with increasing cycles, as found in the results of Sorgini et al. (2012)³⁴.

As can be seen, several factors, such as brush type and bristle, load, dentifrice dilution, can cause changes in the results of abrasion resistance tests. Therefore, one of the ways to minimize the interference of these factors and improve the evaluation of the direct influence of the toothpaste was the inclusion of the criterion of brushing with water, by performing a direct comparison of the results under the same conditions.

The evaluation of these factors in laboratorial studies has limitations, mainly in relation to the standardization of parameters to reduce variables in order to assess the real effect of toothpaste on brushing acrylic resin dentures. The literature is scarce and more studies should be developed to individually verify the influence of each factor. In addition, the risk of bias item "sample size calculation" is still little reported, with a number of samples commonly observed in laboratory studies being used. However, the number of samples used influences the statistical power of the result.

Thus, the findings of this systematic review and meta-analysis of in vitro studies should be interpreted with caution and may serve as a basis for the development of future studies, including as a way of guiding the patient on how to clean the dental prosthesis.

CONCLUSION

Within the limitations of this systematic review and meta-analysis, the following conclusions was drawn:

1. The use of dentifrices during brushing of acrylic resins promoted greater mass loss
2. Surface roughness was also increased by brushing with toothpastes.

REFERENCES

1. Akinyamoju CA, Dosumu OO, Taiwo JO, Ogunrinde TJ, Akinyamoju AO. Oral health-related quality of life: Acrylic versus flexible partial dentures. *Ghana Med J*. 2019;53(2):163–9.
2. Kassem M, Saief-Elnasr M, Baraka Y, Helal MA. Bite Force Evaluation of Acetal Resin Denture Base in Kennedy Class I Partially Edentulous Patients. *EC Dent Sci*. 2020;1–8.
3. Abdelnabi MH, Swelem AA. Bite force, masticatory efficiency and patient satisfaction in patients with non-metal clasp dentures: a randomized cross-over study. *Curr Sci Int*. 2018;7(4):641–9.
4. Macura-Karbownik A, Chladek G, Żmudzki J, Kasperski J. Chewing efficiency and occlusal forces in PMMA, acetal and polyamide removable partial denture wearers. *Acta Bioeng Biomech*. 2016;18(1):127–34.
5. Alla RK, Kn RS, 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(4):82–9.
6. Shibata T, Hamada N, Kimoto K, Sawada T, Sawada T, Kumada H, et al. Antifungal Effect of Acrylic Resin Containing Apatite-coated TiO₂ Photocatalyst. *Dent Mater J*. 2007;26(3):437–44.
7. Altarawneh S, Bencharit S, Dds LM, Curran A, Barrow D, Barros S, et al. Clinical and Histological Findings of Denture Stomatitis as Related to Intraoral Colonization Patterns of *Candida albicans* , Salivary Flow , and Dry Mouth. *J Prosthodont*. 2013;22:13–22.
8. Johnson CC, Yu A, Lee H, Fidel PL, Noverr M. Development of a Contemporary

- Animal Model of *Candida albicans* - Associated Denture Stomatitis Using a Novel Intraoral Denture System. *Infect Immun*. 2012;1736–43.
9. Javed F, Al-kheraif AA, Kellesarian S V., Vohra F, Romanos GE. Oral *Candida* carriage and species prevalence in denture stomatitis patients with and without diabetes. *J Biol Regul Homeost agents*. 2017;31(2):343–6.
 10. Chang Y-H, Lee C-Y, Hsu M-S, Du J-K, Chen K-K, Wu J-H. Effect of toothbrush/dentifrice abrasion on weight variation, surface roughness, surface morphology and hardness of conventional and CAD/CAM denture base materials. *Dent Mater J*. 2021;40(1):220–7.
 11. Costa RTF, Pellizzer EP, Vasconcelos BC do E, Gomes JML, Lemos CAA, de Moraes SLD. Surface roughness of acrylic resins used for denture base after chemical disinfection: A systematic review and meta-analysis. *Gerodontology*. 2021;38(3):242–51.
 12. Pires CJM, Oliveira AC, Kurrle M, Diesel PG, Vitalis GS, Wandscher VF. Métodos de higienização de próteses removíveis: uma revisão narrativa. *Discip Sci*. 2018;19(3):401–14.
 13. Sousa TMS, de Farias OR, Batista, André Ulisses Dantas de Medeiros ESo, Santiago BM, Cavalcanti YW. Effectiveness of denture microwave disinfection for treatment of denture stomatitis: A systematic review and meta-analysis. *Int J Dent Hyg*. 2021;19(1):62–77.
 14. Sesma N, Rocha AL, Laganá DC, Costa B, Morimoto S. Effectiveness of denture cleanser associated with microwave disinfection and brushing of complete dentures: In vivo study. *Braz Dent J*. 2013;24(4):357–61.
 15. Polychronakis N, Polyzois G, Lagouvardos P, Andreopoulos A, Ngo HC. Long-term microwaving of denture base materials: Effects on dimensional, color and translucency stability. *J Appl Oral Sci*. 2018;26:1–10.
 16. Kabra R, Rodrigues SJ, Pai U, Shenoy R, Shetty TB, Hegde P, et al. Evaluation of chemical disinfection and microwave irradiation on denture base materials: An in vitro study. *Indian J Dent Res*. 2020;31(2):282–90.
 17. Papadiochou S, Polyzois G. Hygiene practices in removable prosthodontics: A systematic review. *Int J Dent Hyg*. 2018;16(2):179–201.
 18. Ramadhan IPA, Damiyanti M, Triaminingsih S. Effects of brushing with abrasive dentifrices containing various materials on the surface roughness of acrylic resins. *J Phys Conf Ser*. 2018;1073(6).

19. Pontes KM de F, De Holanda JC, Fonteles CSR, Pontes CDB, Da Silva CHL, Paranhos HDFO. Effect of toothbrushes and denture brushes on heat-polymerized acrylic resins. *Gen Dent*. 2016;64(1):49–53.
20. Gautam N, Sharma A, Bashir U, Rapolu S, Mamatha N, Sravani S. Effect of different dentifrices on the surface roughness of acrylic resins: An in vitro study. *J Contemp Dent Pract*. 2017;18(8):679–82.
21. Fernandes RAG, Lovato-Silva CH, Paranhos HFO, Ito IY. Efficacy of Three Denture Brushes on Biofilm. *J Appl Oral Sci*. 2007;15(1):39–43.
22. Abualsaud R, Aleraky DM, Akhtar S, Khan SQ, Gad MM. Antifungal Activity of Denture Base Resin Containing Nanozirconia: In Vitro Assessment of *Candida albicans* Biofilm. Sarkar NK, editor. *Sci World J*. 2021 Jul 31;1–8.
23. Wady AF, Machado AL, Zucolotto V, Zamperini CA, Berni E, Vergani CE. Evaluation of *Candida albicans* adhesion and biofilm formation on a denture base acrylic resin containing silver nanoparticles. *J Appl Microbiol*. 2012;112(6):1163–72.
24. Page MJ, McKenzie JE, Bossuyt PM, Boutron I, Hoffmann TC, Mulrow CD, et al. The PRISMA 2020 statement: An updated guideline for reporting systematic reviews. *J Clin Epidemiol*. 2021;134:178–89.
25. Lima RBW, Troconis CCM, Moreno MBP, Murillo-Gómez F, De Goes MF. Depth of cure of bulk fill resin composites: A systematic review. *J Esthet Restor Dent*. 2018;30(6):492–501.
26. Da Rosa WLDO, Piva E, Da Silva AF. Bond strength of universal adhesives: A systematic review and meta-analysis. *J Dent*. 2015;43(7):765–76.
27. Soares FZM, Follak A, da Rosa LS, Montagner AF, Lenzi TL, Rocha RO. Bovine tooth is a substitute for human tooth on bond strength studies: A systematic review and meta-analysis of in vitro studies. *Dent Mater*. 2016;32(11):1385–93.
28. Lima RBW, Muniz I de AF, Campos D e S, Murillo-Gómez F, Andrade AKM de, Duarte RM, et al. Effect of universal adhesives and self-etch ceramic primers on bond strength to glass ceramics: A systematic review and meta-analysis of in vitro studies. *J Prosthet Dent*. 2022;1–11.
29. Higgins J, Altman D, Sterne J. Assessing risk of bias in included studies. *Cochrane Handbook for Systematic Reviews of Interventions Version 510*. Vol. 8. The Cochrane Collaboration; 2011.
30. Consani S, Goes MF, Sinhoreti MAC, Sobrinho LC. Avaliação “in vitro” da abrasão

- produzida por dentifrícios fluoretados comerciais. *Semin Ci Biol. I Saúde*. 1995;16(2):308–12.
31. Freitas-Pontes KM, Silva-Lovato CH, Paranhos HFO. Mass loss of four commercially available heat-polymerized acrylic resins after toothbrushing with three different dentifrices. *J Appl Oral Sci*. 2009;17(2):116–21.
 32. Harrison Z, Johnson A, Douglas CWI. An in vitro study into the effect of a limited range of denture cleaners on surface roughness and removal of *Candida albicans* from conventional heat-cured acrylic resin denture base material. *J Oral Rehabil*. 2004;31(5):460–6.
 33. Haselden CA, Hobkirk JA, Pearson GJ, Davies EH. A comparison between the wear resistance of three types of denture resin to three different dentifrices. *J Oral Rehabil*. 1998;25(5):335–9.
 34. Kurniawan A, Octarina, Dwifulqi H. Effects of brushing and immersion in denture cleanser on the surface roughness of polymethyl methacrylate. *Sci Dent J*. 2019;3(3):75.
 35. Pascaretti-grizon F, Mabillean G, Chappard D. Abrasion of 6 dentifrices measured by vertical scanning interference microscopy. *J Appl Oral Sci*. 2013;21(5):475–81.
 36. Patrão FGD, Sinhoreti MAC, Consani S, Sobrinho LC, Milan FM. Avaliação in vitro da rugosidade produzida por escovas dentais e dentifrícios em resina para base de prótese. *RFO UPF*. 1998;3(2):7–14.
 37. Pisani MX, Bruhn JP, Oliveira Paranhos HF, Silva-Lovato CH, de Souza RF, Panzeri H. Evaluation of the Abrasiveness of Dentifrices for Complete Dentures. *J Prosthodont Esthet Reconstr Dent*. 2010 Jul;19(5):369–73.
 38. Sorgini DB, Silva-Lovato CH, Souza RF, Davi LR, Paranhos H de FO. Abrasiveness of Conventional and Specific Denture-Cleansing Dentifrices. *Braz Dent J*. 2012;23(2):154–9.
 39. Sorgini DB, da Silva-Lovato CH, Muglia VA, de Souza RF, de Arruda CNF, Paranhos H de FO. Adverse effects on PMMA caused by mechanical and combined methods of denture cleansing. *Braz Dent J*. 2015;26(3):292–6.
 40. Tellefsen G, Liljeborg A, Johannsen A, Johannsen G. The role of the toothbrush in the abrasion process. *Int J Dent Hyg*. 2011;9(4):284–90.
 41. Wang W, Hou Y, Li J, Zhu Y, Tang X, Ai H. Effect of different denture cleaning methods on roughness in resin denture base. *J Cent South Univ (Medical Sci)*. 2013;38(10):1065–9.

42. Melo CBF, Feitosa MD, Maia SDB, Barreto JO, Peixoto RF, Regis RR. Effect of a continuous mechanical polishing protocol on the color stainability, microhardness, mass, and surface roughness of denture base acrylic resin. *J Prosthet Dent*. 2021 Dec;126(6):796–802.
43. Dias Panariello BH, Izumida FE, Moffa EB, Pavarina AC, Jorge JH, Giampaolo ET. Effect of mechanical toothbrushing combined with different denture cleansers in reducing the viability of a multispecies biofilm on acrylic resins. *Am J Dent*. 2016 Jun;29(3):154–60.
44. Brown JL, Young T, McKloud E, Butcher MC, Bradshaw D, Pratten JR, et al. An In Vitro Evaluation of Denture Cleansing Regimens against a Polymicrobial Denture Biofilm Model. *Antibiotics*. 2022;11(1):1–10.
45. Avella M, Errico ME, Martuscelli E. Novel PMMA/CaCO₃ Nanocomposites Abrasion Resistant Prepared by an in Situ Polymerization Process. *Nano Lett*. 2001;1(4):213–7.
46. Pisani MX, Pereira EE, Paranhos H de FO, Silva CHL. Alteration of the bristles of a toothbrush after brushing of the acrylic resin using different dentifrices. *RGORevista Gaúcha Odontol*. 2012;60(4):449–54.
47. Hamza B, Tanner M, Körner P, Attin T, Wegehaupt FJ. Effect of toothbrush bristle stiffness and toothbrushing force on the abrasive dentine wear. *Int J Dent Hyg*. 2021;19(4):355–9.
48. Hamza B, Uka E, Körner P, Attin T, Wegehaupt FJ. Effect of a sonic toothbrush on the abrasive dentine wear using toothpastes with different abrasivity values. *Int J Dent Hyg*. 2021;19:407–12.
49. Bizhang M, Schmidt I, Chun YP, Arnold WH, Zimmer S. Toothbrush abrasivity in a long-term simulation on human dentin depends on brushing mode and bristle arrangement. *PLoS One*. 2017;12(2):e0172060.
<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0172060>
50. De Freitas KM, De Paranhos HFO. Weight loss of five commercially available denture teeth after toothbrushing with three different dentifrices. *J Appl Oral Sci*. 2006;14(4):242–6.
51. Alfouzan A, Alnouwaisar A, Alazzam N, Al-otaibi H, Labban N, Alswaidan M, et al. Surface roughness analysis of prepolymerized CAD/CAM dental acrylic resins following combined surface treatments. *Mater Sci*. 2021;39(2):209–18.
52. Shinawi LA. Effect of denture cleaning on abrasion resistance and surface

- topography of polymerized CAD CAM acrylic resin denture base. *Electron physician*. 2017;9(5):4281–8.
53. Singh G, Agarwal A, Lahori M. Effect of cigarette smoke on the surface roughness of two different denture base materials: An in vitro study. *J Indian Prosthodont Soc*. 2019;19:42–8.
 54. Al-Dwairi ZN, Tahboub KY, Baba NZ, Goodacre CJ, Özcan M. A Comparison of the Surface Properties of CAD/CAM and Conventional Polymethylmethacrylate (PMMA). *J Prosthodont Off J Am Coll Prosthodont*. 2019 Apr;28(4):452–7.
 55. Taweel SM AL, Fouzan A Al, Al-Otaibi HN, Labban N, Alshehri HA. Thermal-cycling, simulated brushing, and beverages induced color changes and roughness of CAD/CAM poly (methyl methacrylate) denture resins. *Mater Res Express*. 2021;8(12).

5. CAPÍTULO 2

Caracterização, avaliação das propriedades físico-mecânicas e atividade antifúngica após escovação de resinas acrílicas termopolimerizadas incorporadas com nitrato de cério

O manuscrito a seguir será submetido para publicação no periódico “*Journal of Prosthetic Dentistry*”.

RESUMO

Introdução: A colonização do polimetil metacrilato (PMMA) por microrganismos favorece o desenvolvimento de estomatite protética. O nitrato de cério (NC) vem demonstrando ser um efetivo antifúngico quando incorporado ao PMMA, com propriedades físico-químicas e térmicas favoráveis. No entanto, existe a necessidade de continuidade dos estudos para avaliação das demais propriedades. **Objetivo:** Caracterizar, avaliar as propriedades físico-mecânicas e atividade antifúngica após escovação de uma resina acrílica termopolimerizada modificada com a incorporação de diferentes percentuais em massa (0,25%, 0,5% e 1%) de NC. **Materiais e métodos:** Foram confeccionados 5 grupos de amostras de PMMA (GC1-PMMA; GC2-PMMA+álcool; NC-0,25%; NC-0,5% e NC-1%). Foi realizada a caracterização estrutural através da espectroscopia FTIR, e avaliados os ângulos de contato, porosidade, dureza Vickers, resistência à flexão, resistência à abrasão (variação de massa e rugosidade de superfície) e atividade antifúngica após escovação. **Resultados:** A espectroscopia FTIR confirmou a presença de NC nas amostras através dos picos característicos. Os grupos experimentais contendo NC não diferiram em relação ao GC1 quanto ao ângulo de contato, porosidade e variação de rugosidade na análise da resistência à abrasão. A variação de massa demonstrou redução nos grupos GC1 e NC-1%, e aumento nos grupos GC2, NC-0,25% e NC-0,5%. Após a escovação, houve redução de adesão de biofilme fúngico nas amostras de NC-0,25% e NC-0,5%. Para a resistência à flexão, apenas NC-0,5% não apresentou diferenças

estatísticas do GC1. A avaliação da dureza Vickers demonstrou uma redução nos grupos experimentais. **Conclusão:** As incorporações de NC-0,25% e NC-0,5% demonstraram ser as mais promissoras, com redução na formação de biofilme fúngico mesmo após as irregularidades provenientes da escovação, sem alterações no ângulo de porosidade, ângulo de contato e variação de rugosidade. Apesar da redução na dureza, a resistência à flexão demonstrou valores acima do limite aceitável.

Palavras-chave: Estomatite sob prótese, polimetil metacrilato, cério.

INTRODUÇÃO

O Polimetil metacrilato (PMMA) é um material bastante utilizado em odontologia, principalmente para a confecção de próteses dentárias. Também denominado como resina acrílica, apresenta diversas vantagens, destacando-se a biocompatibilidade, estética, baixo custo, propriedades mecânicas aceitáveis e fácil processamento.^{1,2}

Apesar do seu amplo uso, algumas limitações estão presentes, principalmente relacionadas às características de superfície, como hidrofobicidade e rugosidade, que contribuem para adesão de microrganismos, colonização e formação de biofilme na prótese dentária, apresentando um papel importante no desenvolvimento de estomatite protética.^{2,3} Diversas abordagens de prevenção e tratamento são relatadas na literatura, como medicamentos antifúngicos, laserterapia, higienização e desinfecção da prótese, descontinuação do seu uso e até mesmo a substituição e confecção de uma nova prótese pode ser necessária.⁴⁻⁷

Diversas pesquisas têm sido direcionadas para o desenvolvimento de uma resina acrílica com propriedades antimicrobianas, seja através da modificação do monômero, incorporação de substâncias antimicrobianas ao pó do PMMA ou revestimento da superfície.^{2,4,8,9} O cério (Ce), pertencente ao grupo dos lantanídeos, é um metal não tóxico, de baixo custo e que já vem sendo utilizado em ciências da saúde, com ênfase no tratamento tópico de queimaduras, apresentando resultado clinicamente eficaz.^{10,11} Suas propriedades biológicas incluem ação antioxidante, anti-inflamatória, ampla atividade antibacteriana e expressiva ação antifúngica sobre *Candida* spp.¹⁰⁻¹⁵

Os estudos desenvolvidos utilizando cério na área odontológica, especificamente na área de Prótese Dentária, relatam que a incorporação de nitrato de cério em resina acrílica resultou em redução do biofilme de *C. albicans* e, no ensaio de aderência fúngica, com inibição da formação de biofilme.¹⁶ No estudo de Freitas (2018)¹⁷, os resultados *in vitro* demonstraram comportamento fungicida contra cepas de *C. albicans*, *C. tropicalis*, *C. glabrata* e *C. krusei*, no qual a redução de biofilme aderido aos discos de PMMA contendo nitrato de cério foi proporcional às concentrações testadas.

A modificação do PMMA com substâncias antimicrobianas para confecção de base de prótese pode ser uma alternativa bastante eficaz para redução da aderência de microrganismos e prevenção de formação de biofilme em sua superfície, porém, destaca-se a importância de avaliar as demais propriedades, como físicas e mecânicas, para verificar a viabilidade de uso, bem como a biocompatibilidade, longevidade e desempenho clínico.^{4,18}

Em continuidade aos estudos microbiológicos da incorporação de nitrato de cério em resina acrílica, a avaliação das propriedades físico-químicas e térmicas demonstrada no estudo de Campos (2019)¹⁹ apresentou resultados favoráveis, com alterações de cor não visíveis ao olho humano, sendo consideradas aceitáveis clinicamente, bem como valores de rugosidade superficial abaixo do limite de relevância clínica (0,2 μm). Além disso, a presença do nitrato de cério nas amostras foi confirmada através de fluorescência de raios X e curvas características da calorimetria exploratória diferencial, mantendo similaridade aos grupos controle em relação à termogravimetria (curva de perda de massa) e temperatura de transição vítrea.

Nesse contexto, a incorporação de nitrato de cério em PMMA pode ser uma alternativa promissora como material de base protética, visto que a redução do biofilme aderido, bem como a não produção de efeitos deletérios nas propriedades físico-químicas e térmicas podem aumentar a longevidade do material e prevenir a estomatite protética, entretanto, a continuidade dos estudos torna-se necessária. Baseada nesses achados, a hipótese nula testada foi: 1) a incorporação de nitrato de cério não afeta as propriedades estruturais e físico-mecânicas da resina acrílica modificada; 2) a adição de nitrato de cério não melhora a atividade antimicrobiana do PMMA contra *C. albicans*.

Dessa maneira, propõe-se avaliar o efeito da incorporação de nitrato de cério em diferentes porcentagens em massa na resina acrílica termicamente ativada por energia de micro-ondas através da caracterização por espectroscopia no Infravermelho por transformada de Fourier (FTIR) e das propriedades físico-mecânicas essenciais para a possibilidade de uso clínico e sucesso a longo prazo, como ângulo de contato, dureza, porosidade, resistência à flexão, resistência à abrasão por escovação e adesão de biofilme após escovação.

MATERIAL E MÉTODOS

Preparo das soluções de nitrato de cério

O nitrato de cério hexahidratado ($\text{Ce}(\text{NO}_3)_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$) (Sigma-Aldrich Brasil Ltda, São Paulo, Brasil) com peso molecular 434,23 g/mol e 99% de pureza foi dissolvido em álcool etílico absoluto 99,5% (Química Moderna, Barueri, São Paulo, Brasil) e incorporado em PMMA nas porcentagens em massa de 0,25%, 0,5% e 1%.

Para o cálculo da concentração de nitrato de cério incorporado, foi levado em consideração o valor da concentração inibitória mínima (CIM) para inibição de espécies de *Candida* associadas à estomatite protética obtida no estudo de Freitas (2018)¹⁷, as instruções de proporção do fabricante (14g polímero + 6,5mL monômero), a porcentagem em massa a ser incorporada e a densidade do PMMA ($1,19\text{g/cm}^3$).

Para o preparo das soluções, foram pesadas em balança analítica 0,540 g, 1,086 g e 2,173 g de nitrato de cério (NC) para serem diluídos em 10 mL de álcool absoluto para obtenção, respectivamente, das porcentagens em massa de 0,25%, 0,5% e 1%. Foi utilizado 1 mL de solução a cada proporcionamento do polímero e do monômero. A **tabela 1** mostra os grupos preparados para os ensaios. As soluções foram preparadas e mantidas em estufa a 37 °C durante 24 horas, visto que foi observado que houve alteração de cor (inicialmente apresentava coloração amarelada e tornou-se translúcida), sem que houvesse alteração na atividade microbiológica da solução, conforme demonstrado em estudo prévio¹⁷.

Tabela 1: Grupos preparados para os ensaios

Grupo	Composição
GC1-PMMA	PMMA (14g polímero + 6,5mL monômero)
NC-0,25%	PMMA (14g polímero + 6,5mL monômero) + 540 mg de NC em 1 ml de álcool etílico 99,5%
NC-0,5%	PMMA (14g polímero + 6,5mL monômero) + 108,6 mg de NC em 1 ml de álcool etílico 99,5%

NC-1%	PMMA (14g polímero + 6,5mL monômero) + 217,3 mg de NC em 1 ml de álcool etílico 99,5%
GC2-PMMA + Álcool	PMMA (14g polímero + 6,5mL monômero) + 1 ml de álcool etílico 99,5%

Legenda: GC1: Grupo controle 1 contendo apenas PMMA (sem modificação); GC2: Grupo controle 2 contendo PMMA + álcool absoluto; NC-0,25%: Grupo contendo 0,25% em massa de nitrato de cério; NC-0,5%: Grupo contendo 0,5% em massa de nitrato de cério; NC-1%: Grupo contendo 1% em massa de nitrato de cério.

Cálculo amostral

O cálculo amostral foi realizado levando em consideração um erro tipo I de 5% para alfa bicaudal, com uma magnitude de efeito “g de Hedge” para hipótese de diferença de 0,8 e um poder estatístico de 80%, obtendo um tamanho amostral de 26 espécimes por grupo, exceto para a resistência à abrasão, que por ser um teste pareado, foram necessárias 13 amostras por grupo. Foram obtidos cinco grupos, sendo dois grupos controle (GC1 = PMMA puro; GC2 = PMMA + álcool etílico) e três grupos experimentais (NC-0,25%; NC-0,5% e NC-1%), conforme especificado na **tabela 1**.

Confecção dos corpos de prova

Os materiais utilizados para confecção das amostras e realização dos experimentos estão descritos na **tabela 2**. Os corpos de prova foram confeccionados utilizando PMMA termicamente ativado por energia de micro-ondas na cor rosa médio (Vipi Wave, Vipi, São Paulo, Brasil). O álcool e as soluções contendo nitrato de cério (1mL) foram adicionados no momento da mistura do polímero (14g) com o monômero (6,5 mL).

Tabela 2: Materiais utilizados

Material	Marca comercial	Fabricante	Composição
Resina acrílica para base de	VIPI WAVE	VIPI	PMMA (Polimetilmetacrilato), polipropileno, peróxido de

prótese (Pó) – cor rosa médio			benzoíla, pigmentos não tóxicos, fibras.
Resina acrílica para base de prótese (Líquido)	VIPI WAVE	VIPI	MMA (metil metacrilato), EGDMA (etileno glicol dimetacrilato) como agente de ligação cruzada, inibidor, terpinoleno.
Silicone para laboratório	Zetalabor	Zhermack	Polisiloxanos (Hidroxiterminados), Sílica e Hidrocarbonetos.
Catalisador para silicone	Indurent Gel	Zhermack	Composto inorgânico, Alcoxisilanos, Hidrocarbonetos, Pigmentos, Aroma.
Água destilada	-	-	-
Escova de dentes de cerdas macias	Indicator Plus 40	Oral B	-
Dentifrício para prótese	Dentu- creme	Polident - GlaxoSmithKline	Água, sílica hidratada, sorbitol, glicerina, PEG-8, lauril sulfato de sódio, sabor, dióxido de titânio, goma xantana, carragenina, sacarina de sódio, azul.

Amostras no formato de discos (10x5 mm) e retangulares (65 x 10 x 3,3 mm) foram confeccionadas por operador único, sendo a resina acrílica manipulada e submetida ao ciclo de polimerização de acordo com as instruções do fabricante, através da inclusão em mufla de fibra de vidro (STG – Vipi, São Paulo, Brasil) utilizando placa de vidro de 4mm de espessura e silicone laboratorial (Zetalabor, Zhermack, Rovigo, Itália).

Após o ciclo de polimerização, que ocorreu em micro-ondas ondas (Panasonic Perfect 800W, Osaka, Japão) com potência de 800W de acordo com

as recomendações do fabricante (20 minutos com 20% de potência e 5 minutos a 60% de potência), a mufla foi retirada do micro-ondas e colocada em bancada para resfriar lentamente até atingir a temperatura ambiente. As amostras foram demufladas e o excesso do material foi removido utilizando broca de tungstênio (Maxicut, Labordental, São Paulo, Brasil) montada em motor elétrico (LB-100, Beltec, Araraquara, Brasil). O polimento das amostras não foi realizado, visto que a superfície voltada para o vidro foi a de interesse na análise das propriedades²⁰⁻²².

Todos os espécimes passaram por banho ultrassônico (BioWash STD, Bio Art, São Paulo, Brasil) com água destilada durante 15 minutos para remover detritos do acabamento, armazenados a $37 \pm 2^\circ\text{C}$ durante 48 horas (para simular o ambiente bucal e reduzir o monômero residual²³) e secos com papel absorvente para a realização dos testes. Todas as análises foram realizadas por operador único e experiente.

Espectroscopia no Infravermelho por transformada de Fourier (FTIR)

Foi realizada no equipamento IRAffinity-1 Shimadzu, onde foram pesadas 1,5mg de cada amostra (GC1, GC2, NC-0,25%, NC-0,5%, NC-1% e Nitrato de cério), moídas e passadas no almofariz de ágata juntamente com 150mg de brometo de potássio (KBr). As pastilhas para realização do ensaio foram feitas sob pressão e vácuo durante 15 minutos. Foi realizado o *background* no equipamento com uma pastilha de KBr previamente ao ensaio de cada amostra. Os parâmetros utilizados foram iguais para todos os tipos, sendo uma varredura de 400 a 4000 cm^{-1} , com resolução de 4.0 cm^{-1} . Os dados de transmitância foram tabulados e enviados para o *software* Origin (7.0 with PeakFitting) para geração dos gráficos.²⁴

Ângulo de contato (Θ)

As medidas dos ângulos de contato ($n=15$) foram realizadas através do método de gota séssil com água deionizada (2 μL) dispensadas na superfície das

amostras. Para aquisição das medidas, foi utilizado o goniômetro Krüss (EasyDrop Contact Angle Measuring Instrument, EasyDrop DAS 100), sendo aferida a medida do ângulo tangente à superfície da gota de água determinada na área central de cada amostra.²⁵

Porosidade

As amostras cilíndricas (12 x 5mm) (n=26) foram fixadas em cera e inseridas em suporte metálico para a aquisição das imagens, sendo escaneadas utilizando o Microtomógrafo de raios-X SkyScan 1172 (Bruker, Kontich, Bélgica).

Para a aquisição e reconstrução das imagens para avaliação da porosidade, foram definidos parâmetros padronizados a todas as amostras. Para a aquisição das imagens, foi utilizado um pixel de 9,88 μm (matriz de pixels de tamanho grande), filtro de alumínio 0.5mm, passo de rotação de 0,4°, média de quadros de 3, movimento aleatório de 10, e 80 kV e 124 μA de energia, com rotação de 180°. Para a reconstrução, foi utilizado o *software* NRecon (Bruker, Kontich, Bélgica), sendo escolhidos os seguintes parâmetros: suavização de 9, correção de endurecimento de feixe de 25% e correção de artefato de anéis de 12.

Resistência à abrasão por escovação

O teste de escovação foi realizado em uma máquina de escovação (Máquina de escovação XY, Biopdi, São Carlos, SP, Brasil) com os discos (12 x 5mm) (n=13) devidamente acoplados na máquina para evitar deslocamento. A resistência à abrasão por escovação foi analisada através da rugosidade de superfície e da variação de massa.

Após confecção, as amostras foram mantidas imersas em água destilada a 37°C por 7 dias para estabilizarem a massa.²⁶ Posteriormente, foram retiradas da água, secas com papel absorvente e agitadas ao ar por 15 segundos²⁷ para obtenção dos valores da massa inicial (Massa inicial) de cada espécime em uma balança eletrônica com precisão de 0,1mg (ATY224, Shimadzu). A rugosidade superficial inicial (S_a inicial) foi analisada através de um aparelho de Perfilometria

Óptica Sem Contato (CCI MP, Taylor Hobson, Inglaterra) conectado a uma unidade computadorizada contendo o *software* Talysurf CCI (Taylor Hobson, Inglaterra) para obtenção dos dados. Foram avaliadas 13 amostras por grupo e utilizado um *cutoff* de 0,25mm com uma lente 20x, abertura numérica de 0.4 e velocidade de escaneamento de x1 no modo xyz, onde foram realizadas três mensurações para cada espécime. A rugosidade inicial (S_a - μm) foi obtida através de uma média dos três pontos de cada corpo de prova.^{22,28}

Para a execução da escovação, escovas de dentes de cerdas macias (Indicator Plus 40, Oral-B, Procter & Gamble) foram cortadas para adaptação na máquina e fixadas por parafusos colocados nas laterais e no topo do suporte para a escova. Os espécimes foram posicionados no porta-amostras e verificados quanto ao nivelamento apropriado das escovas. A suspensão para escovação foi preparada pela mistura de dentifrício específico para prótese (Dentu-Creme, Polident, GSK) e água destilada na proporção de 1:1 (90g de dentifrício e 90mL de água destilada)²⁹, em agitador mecânico, até a obtenção de uma suspensão homogênea, e despejada sobre as amostras (aproximadamente 10 mL por porta-amostra). Foi aplicada uma carga vertical padronizada de 200 gf em cada escova, frequência de 356 rpm e o percurso coberto pela escova foi correspondente a 3,8cm durante a execução do teste. A escovação foi realizada durante 50 minutos (18.000 ciclos), correspondente a 1 ano de escovação regular por um paciente saudável.^{27,29}

Após o teste de escovação, os espécimes de cada grupo foram removidos da suspensão do dentifrício, lavados em água corrente e posteriormente em banho ultrassônico com água destilada durante 5 minutos. A obtenção da rugosidade (S_a final) e da massa final (Massa final) foram realizadas da mesma maneira descrita anteriormente. A variação de massa foi calculada como a diferença entre a massa de cada corpo de prova antes e após a escovação.^{29,30} Para análise estatística, foram calculadas, além das diferenças entre os valores de S_a inicial e final, as seguintes variáveis:

- a) **Variação de massa total $[(\Delta\text{Massa (mg)})]$:** correspondente à Massa final - Massa inicial.
- b) **Variação percentual de massa $[(\Delta\text{Massa (\%)})]$:** calculada pela fórmula $[(\text{Massa Inicial}-\text{Massa Final}/\text{Massa Final}) \times 100]$
- c) **Variação de rugosidade (ΔS_a) :** correspondente à S_a Final – S_a Inicial.

Avaliação da atividade antimicrobiana sobre a redução do biofilme fúngico após escovação

Para a realização deste ensaio, as amostras em resina acrílica de cada grupo, após a simulação da escovação, foram embaladas em grau cirúrgico e esterilizadas em óxido de etileno na empresa SETE Esterilização (Cabedelo, Paraíba).

Os corpos de prova em resina acrílica (PMMA) foram transferidos para uma placa de microdiluição de 24 poços e posteriormente alíquotas de 1000µL do inóculo de *C. albicans* ATCC 90028 contendo cerca de 10⁶ UFC/mL acrescido de glicose a 1% foram adicionados aos poços, seguida da incubação durante 48 horas a 35°C, permitindo a aderência da levedura. Para quantificação do biofilme, os poços foram lavados duas vezes com solução salina tamponada com fosfato (PBS) para remoção de células fracamente ligadas, secos ao ar durante 45 minutos e tingidos com 0,4% da solução de cristal violeta durante 45 minutos. Em seguida os poços foram lavados com água destilada e os corpos de prova foram transferidos para tubos falcons estéreis, nos quais foram adicionados 1000µL de etanol absoluto 99% durante 30 minutos. Foram transferidos 200µL dessa solução para uma placa de microdiluição de 96 poços. Os valores de absorbância foram lidos em 595nm usando um leitor de microplacas (Synergy HT, BioTek). O ensaio foi realizado em triplicata, com controle de crescimento microbiano e controle de esterilidade sem a adição de microrganismos.^{31,32} Este ensaio foi realizado para os grupos contendo nitrato de cério nas concentrações de 0,25% e 0,5%. Para a concentração de 1%, o teste está em andamento e será apresentado posteriormente.

Resistência à flexão

O teste de flexão de três pontos (n=26) foi realizado de acordo com a norma ISO/20795-1:2013, onde corpos de prova com dimensões 65 x 10 x 3,3 mm foram testados em uma máquina de ensaios mecânicos universal (Autograph AG-X 10kN, Shimadzu, Japão) calibrada com célula de carga de 10 kN, com a

distância dos braços de suporte permanecendo constantes em 50mm e uma velocidade constante de 5 mm/min até que houvesse a fratura da amostra.

A resistência à flexão de cada amostra foi calculada usando a fórmula:

$$\sigma = \frac{3Fl}{2bh^2}$$

Sendo σ = resistência à flexão (em MPa), F = carga máxima de fratura (N), l = distância entre os dois suportes (mm), b = largura da amostra (mm), e h = espessura da amostra (mm).^{1,33,34}

Dureza Vickers

Os fragmentos dos corpos-de-prova ($n=5$) resultantes do ensaio de flexão foram aleatoriamente selecionados³⁵ e submetidos a três leituras de microdureza Vickers em um Microdurômetro Shimadzu (HMV Micro Hardness Test, Shimadzu Corporation, Kyoto, Japão) com carga de 100gf por 15 segundos.³⁶ Os espécimes de resina acrílica foram colocados paralelos à mesa do microdurômetro e com estabilidade, permitindo a marcação pela ponta Vickers.

Após a endentação, foram medidas as diagonais criadas pelo diamante no corpo de prova e o equipamento automaticamente converterá as medidas em unidades de dureza Vickers (VHN - kg/mm²) com uma escala de dois décimos de precisão. Ao final das três leituras, foi registrada a média delas em cada corpo de prova.³⁶

Análise estatística

O *software Statistical Package for Social Sciences* (SPSS versão 23) foi utilizado para análise dos dados. Para todos os dados experimentais avaliados, foi encontrada uma distribuição normal (Shapiro-Wilk = $p>0,05$); dessa forma a diferença entre as médias dos grupos foi verificada por meio da análise de variância One-Way ANOVA (demonstrados através de tabelas com média e desvio-padrão) com complementação do teste de *Tukey*. Para os dados relativos à diferença entre os valores de rugosidade S_a inicial e S_a final, realizou-se uma análise de variância Two-Way ANOVA com medidas repetidas, com

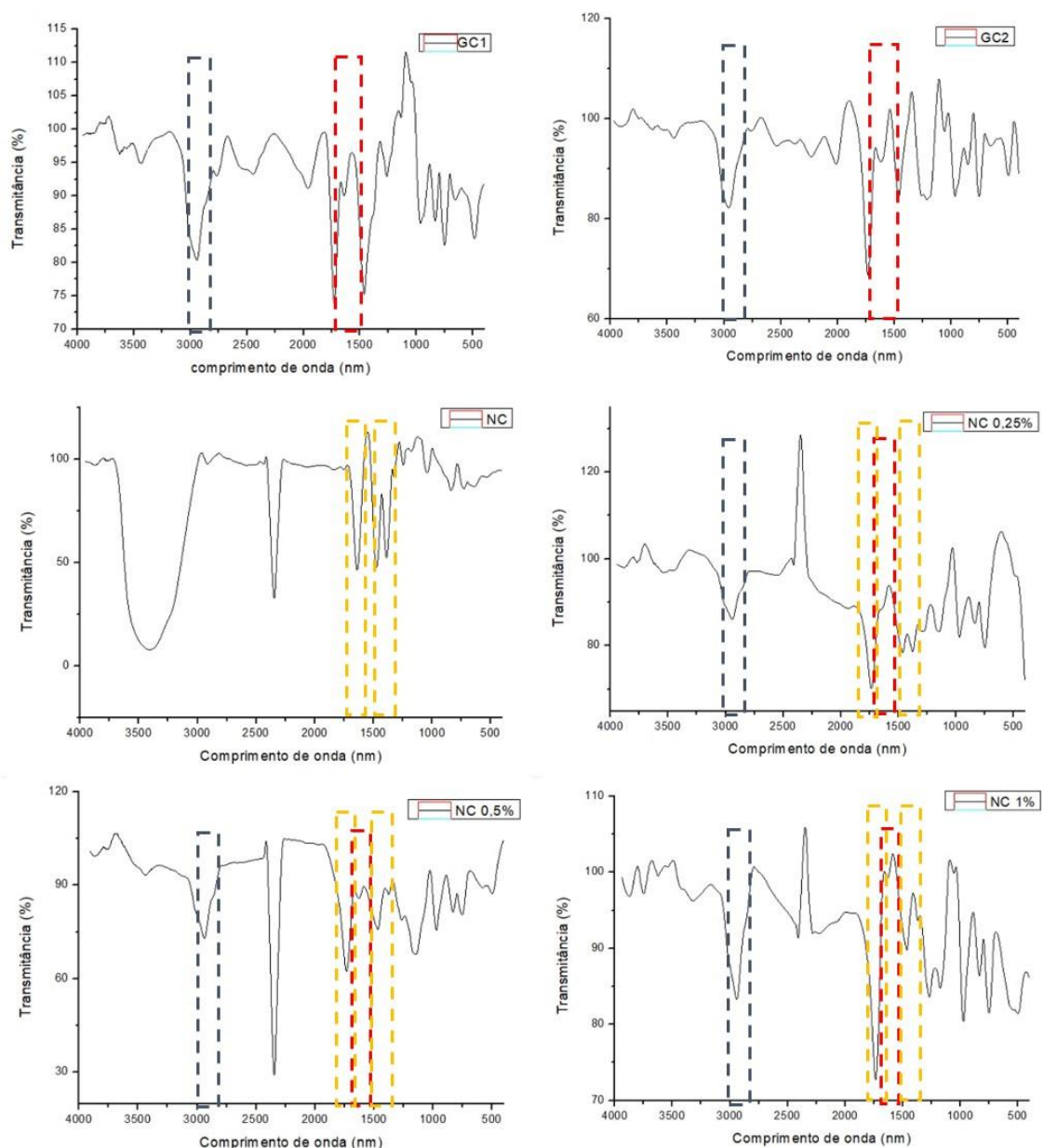
complementação do teste de *Tukey*. Para todas as análises se considerou um nível de significância de 5% ($\alpha=0,05$).

RESULTADOS

Espectroscopia no Infravermelho por transformada de Fourier (FTIR)

Os gráficos da caracterização estrutural através do FTIR, ilustrados na **figura 1**, demonstraram, através dos comprimentos de ondas presentes nas ligações dos componentes das amostras, a presença do nitrato de cério nos grupos experimentais. As curvas referentes aos grupos GC1 e GC2 apresentaram a mesma faixa de observação, ou seja, a incorporação de álcool nas amostras não resultou em alterações estruturais. Os espectros de absorção de aproximadamente 1.600 cm^{-1} e 3.000 cm^{-1} correspondem à resina acrílica, enquanto os comprimentos de onda em aproximadamente 1.400 cm^{-1} e 1.700 cm^{-1} estão associados à presença de nitrato de cério.

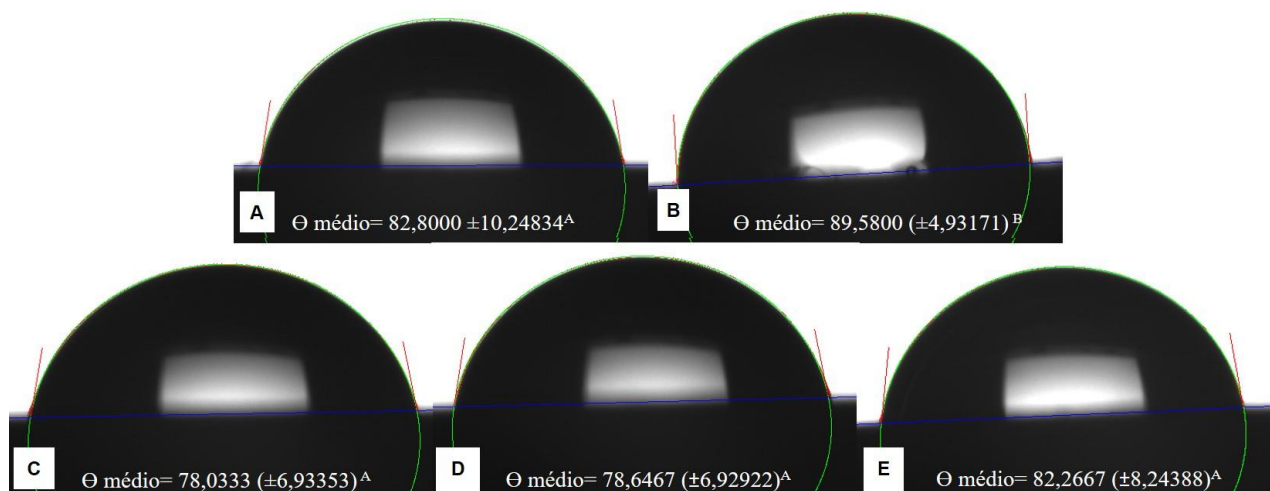
Figura 1: Espectros FTIR das amostras de resina acrílica e do nitrato de cério (NC). As bandas marcadas em azul (aproximadamente 1.600 cm^{-1}) e em vermelho (aproximadamente 3.000 cm^{-1}) correspondem, respectivamente, às ligações duplas de carbono entre o metacrilato e as ligações simples feitas via polimerização da resina acrílica. As bandas marcadas em amarelo correspondem ao nitrato de cério (aproximadamente 1.400 cm^{-1} e 1.700 cm^{-1}).



Ângulo de contato (Θ)

Conforme apresentado na **figura 2**, os grupos experimentais contendo nitrato de cério não apresentaram diferenças estatisticamente significantes do grupo controle (apenas PMMA). Somente o GC2 (PMMA + álcool absoluto) diferiu estatisticamente dos demais grupos, apresentando maiores valores de ângulo de contato.

Figura 2: Ângulo de contato dos discos em resina acrílica com valores de média e desvio-padrão. A: GC1 – PMMA; B: GC2 – PMMA + Álcool absoluto; C: NC-0,25%; D: NC-0,5%; E: NC-1%.



Letras maiúsculas sobrescritas idênticas não se diferenciam estatisticamente pelo teste de Tukey ($p > 0,05$)

Porosidade

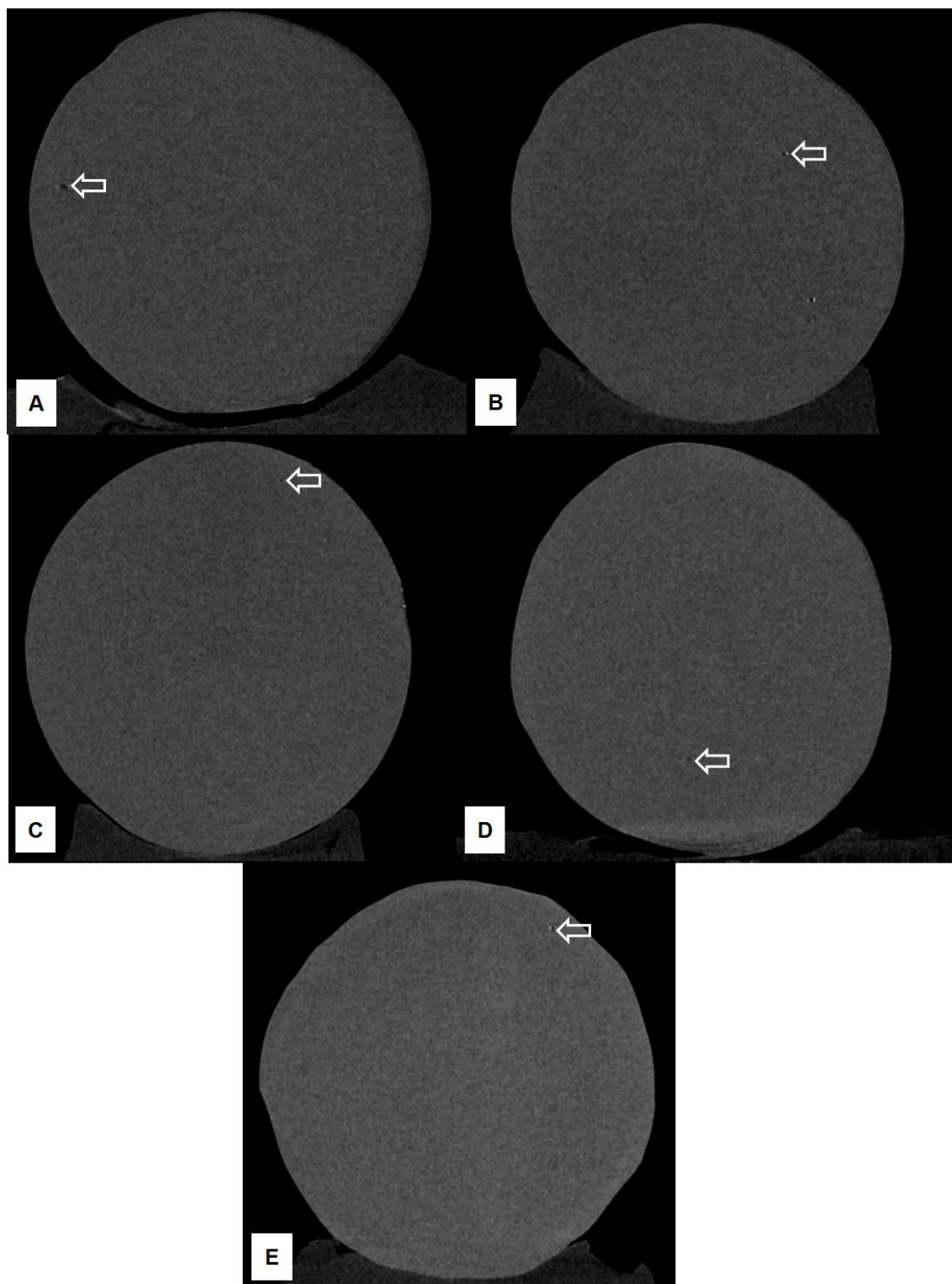
Os valores referentes à porcentagem de porosidade das amostras estão demonstrados na **tabela 3**. Não houve diferenças estatisticamente significantes entre o grupo controle 1 (PMMA) e os grupos experimentais contendo cério. Apenas o grupo da resina acrílica modificada pela incorporação de álcool absoluto apresentou diferenças estatísticas em relação aos demais. A **figura 3** ilustra as imagens obtidas através de escaneamento por micro-CT.

Tabela 3: Valores de média (desvio-padrão) da porosidade obtida em porcentagem (%) para os grupos GC1, GC2, NC-0,25%, NC-0,5% e NC-1%.

Grupo	Porosidade (%) - (Média ± DP)
Controle 1 (GC1-PMMA)	0,02248 (±0,01304) ^A
Controle 2 (GC2-PMMA + Álcool)	0,07735 (±0,06539) ^B
NC-0,25%	0,00713 (±0,00799) ^A
NC-0,5%	0,00205 (±0,00455) ^A
NC-1%	0,00256 (±0,00774) ^A

Letras maiúsculas sobrescritas idênticas nas colunas não se diferenciam estatisticamente pelo teste de Tukey ($p > 0,05$).

Figura 3: Imagens reconstruídas para avaliação da porosidade através de escaneamento por micro-CT. Os poros presentes nas amostras apresentam-se como áreas radiolúcidas, semelhantes às indicadas pelas setas brancas. A: GC1 – PMMA; B: GC2 – PMMA + Álcool absoluto; C: NC-0,25%; D: NC-0,5%; E: NC-1%.



Resistência à flexão

A **tabela 4** apresenta os valores de média e desvio-padrão da resistência à flexão para os grupos controles e experimentais contendo nitrato de cério. Os maiores valores de resistência à flexão foram encontrados nos grupos Controle 1, representado pelo PMMA não modificado, e NC-0,5%, os quais não diferiram estatisticamente entre si. Os demais grupos apresentaram uma redução dos valores estatisticamente significativa em relação ao grupo sem modificação, porém não apresentaram diferenças quando comparados ao NC-0,5%.

Tabela 4: Valores de média (desvio-padrão) da resistência à flexão para os grupos GC1, GC2, NC-0,25%, NC-0,5% e NC-1%.

Grupo	Resistência à flexão (Média $\pm$ DP)
Controle 1 (GC1-PMMA)	80,76 ($\pm$ 9,40) ^A
Controle 2 (GC2-PMMA + Álcool)	74,72 ($\pm$ 7,79) ^B
NC-0,25%	73,76 ($\pm$ 8,39) ^B
NC-0,5%	77,03 ($\pm$ 5,84) ^{AB}
NC-1%	72,01 ($\pm$ 5,76) ^B

Letras maiúsculas sobrescritas idênticas nas colunas não se diferenciam estatisticamente pelo teste de Tukey ($p > 0,05$).

Resistência à abrasão por escovação

- Rugosidade de superfície**

Os valores referentes à rugosidade (S_a) de superfície inicial, após a escovação e a variação de rugosidade estão descritos na **tabela 5**. Os valores iniciais não demonstram diferenças entre os grupos. Ao final da simulação de 1 ano de escovação (18.000 ciclos), os grupos Controle 2, NC-0,25% e NC-0,5% não apresentaram diferenças estatisticamente entre si e resultaram em menores valores de S_a em comparação com os grupos Controle 1 e NC-1%. Todos os grupos apresentaram variação de rugosidade similar à do controle 1. O fator

tempo e o fator grupo, bem como a associação de fatores, foram significativos na avaliação da rugosidade.

Tabela 5: Valores de média (desvio-padrão) da rugosidade (S_a - μm) para os grupos GC1, GC2, NC-0,25%, NC-0,5% e NC-1%.

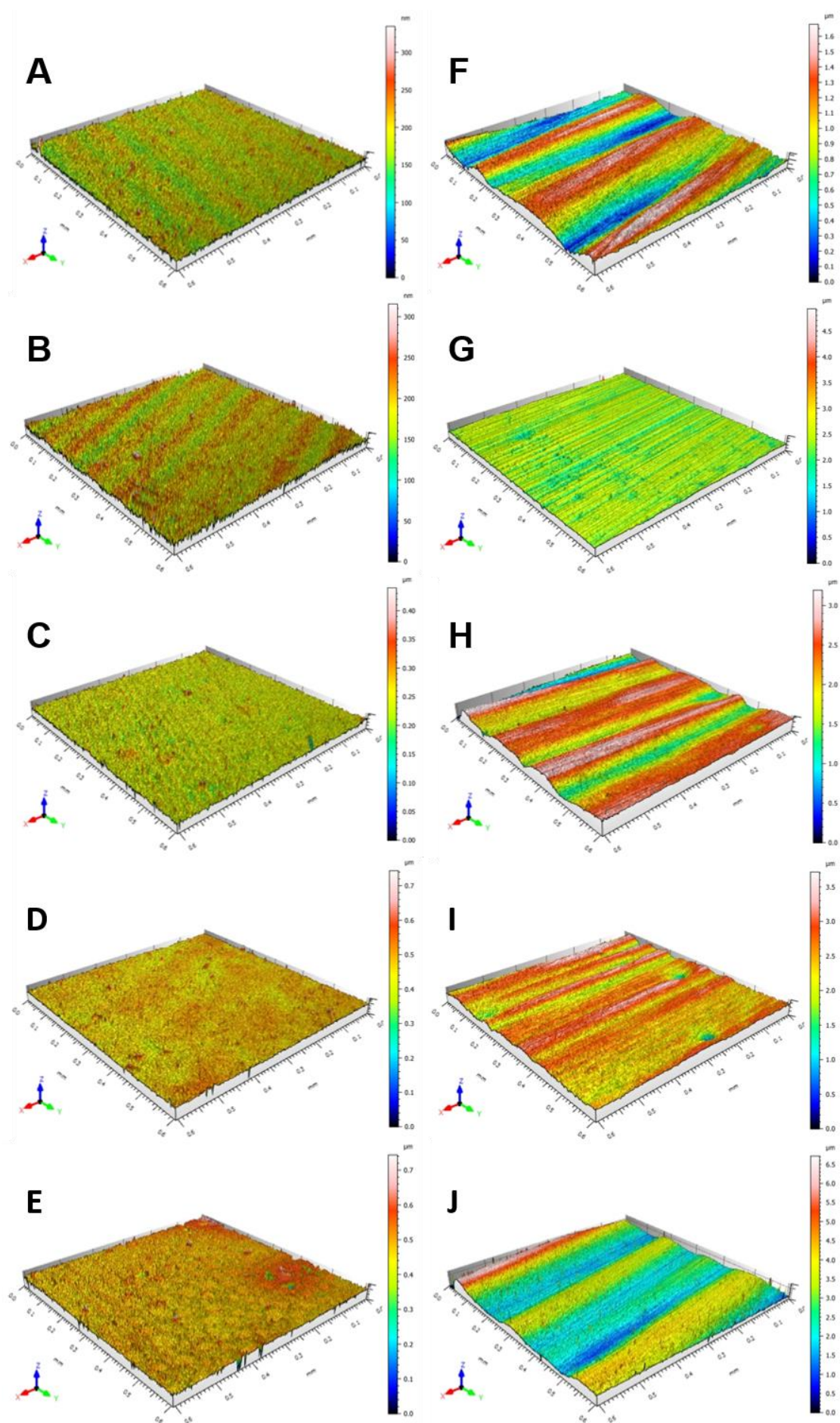
Grupo	S_a inicial	S_a final (18.000 ciclos)	ΔS_a
Controle 1 (GC1-PMMA)	0,028 ($\pm 0,012$) ^{Aa}	0,628 ($\pm 0,364$) ^{Ab}	0,599 ($\pm 0,356$) ^{AB}
Controle 2 (GC2-PMMA + Álcool)	0,028 ($\pm 0,005$) ^{Aa}	0,187 ($\pm 0,126$) ^{Ba}	0,158 ($\pm 0,127$) ^B
NC-0,25%	0,029 ($\pm 0,004$) ^{Aa}	0,277 ($\pm 0,223$) ^{Ba}	0,248 ($\pm 0,225$) ^B
NC-0,5%	0,035 ($\pm 0,005$) ^{Aa}	0,341 ($\pm 0,265$) ^{Bb}	0,306 ($\pm 0,268$) ^{AB}
NC-1%	0,073 ($\pm 0,018$) ^{Aa}	0,834 ($\pm 0,868$) ^{Ab}	0,761 ($\pm 0,871$) ^A

Letras maiúsculas sobrescritas idênticas nas colunas não se diferenciam estatisticamente pelo teste de Tukey entre os grupos dentro do mesmo ponto de tempo ($p > 0,05$).

Letras minúsculas sobrescritas idênticas nas linhas não se diferenciam estatisticamente pelo teste de Tukey entre os pontos de tempo dentro do mesmo grupo ($p > 0,05$).

A **figura 4** mostra as imagens perfilométricas das amostras de resinas acrílicas no momento inicial e após a simulação de 1 ano de escovação (18.000 ciclos). A barra de escala colorida representa a variação de altura da superfície (picos e vales). É possível observar que a topografia inicial é mais homogênea e, ao final da higienização, torna-se mais evidente a presença de sulcos resultantes da escovação.

Figura 4: Imagens de perfilometria mostrando as topografias de superfície das amostras no momento inicial ($t=0$, coluna da esquerda) e ao final da escovação ($t=18.000$ ciclos, coluna da direita). Grupos: A e F: GC1 – PMMA; B e G: GC2 – PMMA + Álcool absoluto; C e H: NC-0,25%; D e I: NC-0,5%; E e J: NC-1%. A barra de escala colorida representa a variação da altura da superfície (picos e vales).



- **Variação de massa**

A **tabela 6** apresenta os valores da média e desvio-padrão da variação de massa total (mg) e percentual (%). Os grupos Controle 1 e NC-1% não apresentaram diferenças entre si na perda de massa total e percentual. Os grupos Controle 2, NC-0,25% e NC-0,5% resultaram em uma variação similar com ganho de massa.

Tabela 6: Valores de média (desvio-padrão) dos valores da variação de massa para os grupos GC1, GC2, NC-0,25%, NC-0,5% e NC-1%.

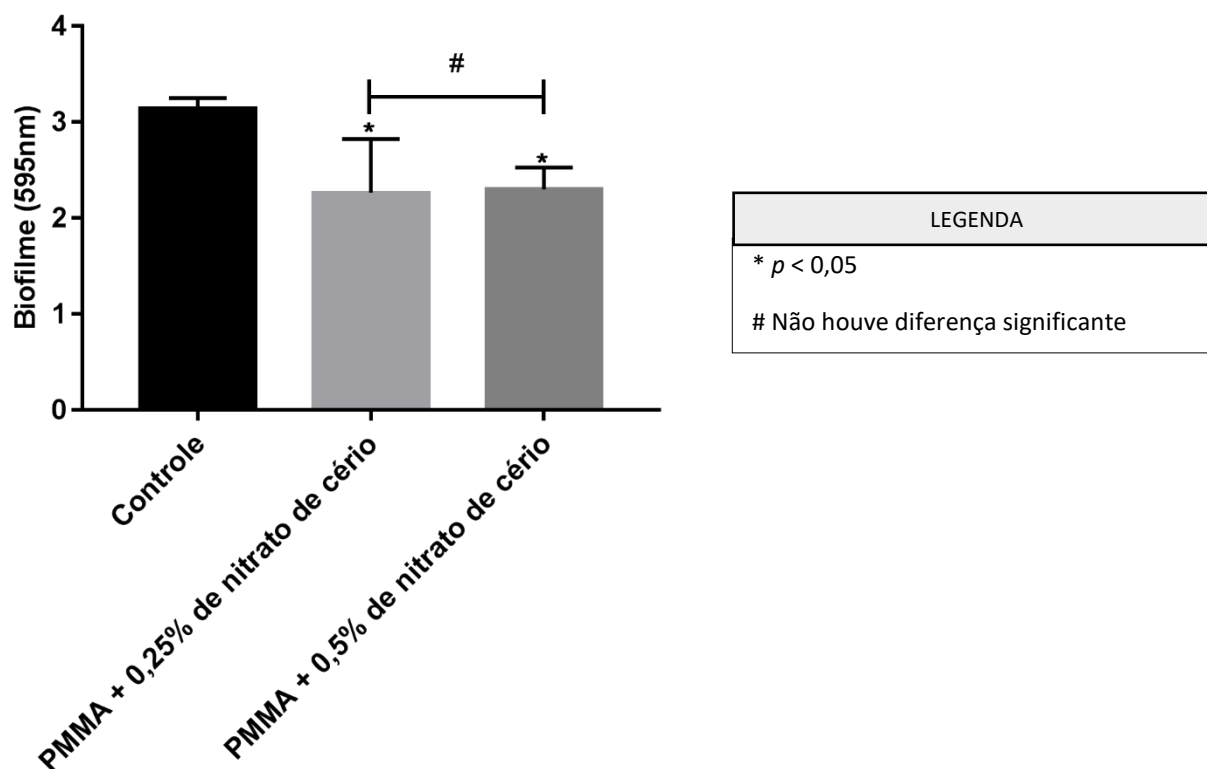
Grupo	ΔMassa (mg)	ΔMassa (%)
Controle 1 (GC1-PMMA)	-0,338 (±0,399) ^A	0,041 (±0,049) ^A
Controle 2 (GC2-PMMA + Álcool)	0,685 (±0,318) ^C	-0,085 (±0,038) ^C
NC-0,25%	0,708 (±0,525) ^C	-0,084 (±0,061) ^C
NC-0,5%	0,308 (±0,494) ^{BC}	-0,040 (±0,063) ^{BC}
NC-1%	-0,154 (±0,466) ^{AB}	0,020(±0,060) ^{AB}

Letras maiúsculas sobrescritas idênticas nas colunas não se diferenciam estatisticamente pelo teste de Tukey ($p > 0,05$).

Avaliação da atividade antimicrobiana sobre a redução do biofilme fúngico após escovação

O ensaio para determinar o efeito dos corpos de prova de resina acrílica (PMMA) incorporados com nitrato de cério demonstrou que, para as duas concentrações testadas (0,25% e 0,5%), houve diferença significativa em relação ao grupo controle de crescimento. Verificou-se uma redução de 27,94% da quantidade de biofilme para o grupo dos corpos de prova incorporados com 0,25% de nitrato de cério ($p < 0,05$) e de 26,85% para o grupo incorporado com 0,5% de nitrato de cério ($p < 0,05$), quando comparados ao controle negativo. Dessa forma, as amostras testadas apresentaram atividade antimicrobiana sobre o biofilme fúngico da cepa avaliada com resultados expressos na **Figura 5**.

Figura 5. Efeito inibitório dos corpos de prova em resina acrílica (PMMA) incorporados com nitrato de cério nas concentrações de 0,25% e 0,5% em biofilme uniespécie de *Candida albicans*. Resultados apresentados como média $\pm$ DP (One Way ANOVA com pós-teste de Tukey, $p < 0,05$).



Dureza Vickers

A **tabela 7** apresenta os valores de média e desvio-padrão da dureza Vickers (kg/mm^2) para os grupos controles e experimentais contendo nitrato de cério. O maior valor de dureza foi encontrado no grupo Controle 1, representado pelo PMMA não modificado. Os demais grupos não diferiram estatisticamente entre si e apresentaram um menor valor de dureza, com diferença estatística, em relação ao grupo controle 1. Apesar do menor tamanho amostral ($n=5$), o poder estatístico da análise foi de 100%, sendo as diferenças estatísticas consideradas significativas.

Tabela 7: Valores de média e desvio-padrão (entre parênteses) da dureza Vickers para os grupos GC1, GC2, NC-0,25%, NC-0,5% e NC-1%.

Grupo	Dureza (Média $\pm$ DP)
Controle 1 (GC1-PMMA)	20,47 ($\pm 0,32$) ^A
Controle 2 (GC2-PMMA + Álcool)	15,22 ($\pm 0,35$) ^B
NC-0,25%	15,54 ($\pm 0,29$) ^B
NC-0,5%	14,57 ($\pm 0,66$) ^B
NC-1%	14,86 ($\pm 0,76$) ^B

Letras maiúsculas sobrescritas idênticas nas colunas não se diferenciam estatisticamente pelo teste de Tukey ($p > 0,05$). Poder estatístico da comparação entre grupos Controle 1 e Experimentais = 100%.

DISCUSSÃO

Os resultados deste estudo revelaram que a incorporação do cério à uma resina comercial à base de PMMA termopolimerizada por microondas resultou em mudanças significativas na dureza, reduziu significativamente a adesão de biofilme e afetou parcialmente a resistência à flexão e a resistência à abrasão por escovação (rugosidade Sa e variação de massa). O ângulo de contato e a porosidade não foram afetadas pela incorporação de nitrato de cério em PMMA. Portanto, a hipótese nula foi parcialmente rejeitada.

O FTIR é um dos métodos citados na literatura para a caracterização estrutural das amostras em que podem ser observados os espectros característicos dos componentes e avaliar as possíveis interações de grupos funcionais nas amostras.³⁷ Neste estudo, o FTIR foi utilizado com o intuito de comprovar que o nitrato de cério foi efetivamente incorporado às amostras de resina acrílica, demonstradas através dos picos característicos. Esses resultados estão de acordo com a literatura, sendo mencionados para a resina acrílica os picos de $1,637\text{ cm}^{-1}$ e $2,952\text{ cm}^{-1}$, que correspondem às ligações duplas de carbono entre o metacrilato e as ligações simples da polimerização, respectivamente.³⁸ Em relação ao nitrato de cério, os espectros descritos são 1.390 cm^{-1} e 1.600 cm^{-1} , conforme citado no estudo de Farzi et al. (2021)³⁹.

As propriedades de superfície da resina acrílica, como molhabilidade, topografia superficial e rugosidade, são capazes de afetar a adesão de microrganismos.^{3,40} A molhabilidade é avaliada através da medição do ângulo de contato das amostras,⁴¹ de modo que estudos relatam uma tendência de adesão de *C. albicans* em superfícies acrílicas hidrofóbicas, em virtude de sua superfície celular também apresentar natureza hidrofóbica.^{3,20,25,41} Nesse contexto, o aumento da propriedade hidrofílica da resina acrílica, representada pela redução do ângulo de contato, pode atuar com uma redução na formação de biofilme^{23,42}, onde acredita-se que o material hidrofílico interfere na fase inicial de adesão de microrganismos, dificultando o processo de agregação microbiana e sua estruturação em biofilme.^{25,42}

De acordo com os resultados do presente estudo, a incorporação do nitrato de cério não interferiu na propriedade de molhabilidade da resina acrílica, visto que não houve alteração estatisticamente relevante no ângulo de contato em relação ao controle. Acredita-se, então, que a redução de biofilme aderido demonstrada no estudo de Freitas (2018)¹⁷ seja em virtude da ação antimicrobiana do cério, uma vez que sua incorporação não promoveu hidrofilicidade à resina acrílica. Confrontando com os resultados do estudo de Freire (2017)¹⁶, a incorporação de nitrato de cério resultou em redução do ângulo de contato, entretanto, existe a possibilidade essa hidrofilicidade estar associada às soluções de Dimetilsufóxido (DMSO) e Tween, que são emulsificantes e que foram utilizadas no presente estudo como veículos de incorporação do cério dentro do PMMA.

A presença de porosidade em resinas acrílicas não é uma característica desejável e sua avaliação é importante em virtude da possibilidade de influenciar nas propriedades físico-mecânicas, podendo interferir no desempenho mastigatório da prótese, estética e resistência à fratura.⁴³⁻⁴⁵ Além disso, também foi demonstrado que poros e rachaduras na prótese acrílica, resultantes do processamento ou envelhecimento do material, podem facilitar a penetração e colonização de *Candida spp.* na prótese e dificultar a ação de desinfetantes ou agentes antifúngicos, que atuam na superfície, facilitando a recidiva da estomatite protética.^{7,46} A ocorrência de porosidades pode estar relacionada a diversos fatores, como: ciclo de polimerização, presença de monômero residual, aprisionamento de ar durante a mistura, vaporização do monômero, proporção e

incorporação do pó ao líquido inadequada, pressão inadequada e contração do monômero durante a polimerização.^{44,47-49} Vários métodos são relatados na literatura para avaliação da porosidade dos materiais dentários e, atualmente, o escaneamento utilizando microtomografia computadorizada (microCT)⁵⁰ tem sido empregado, o qual permite uma análise tridimensional de maneira não destrutiva.^{43,50,51}

A quantificação da porosidade das amostras deste estudo demonstrou que a resina acrílica sem modificação apresentou baixos valores de porosidades. Este resultado corrobora com os achados na literatura em que a resina acrílica termicamente ativada apresentou menor porosidade.⁵² Todas as concentrações testadas de incorporação de nitrato de cério dissolvido em álcool etílico absoluto não foram capazes de causar alterações estatisticamente significantes na porosidade em relação ao grupo contendo apenas PMMA. Esse resultado apresenta melhorias em relação ao estudo prévio de Farias (2017)⁵³ que, ao utilizar DMSO e Tween como solventes para o preparo das soluções contendo nitrato de cério, gerou maiores porcentagens de porosidades em comparação ao controle, representando um prejuízo ao material.

A resistência à flexão avalia a propriedade mecânica do material. Durante a mastigação, as próteses são submetidas a tensões de flexão e, para evitar fraturas das mesmas, a resistência à flexão deve apresentar valores aceitáveis.³³ Com base nos resultados deste estudo, a adição de nitrato de cério na concentração de 0,5% não afetou as propriedades de flexão da resina acrílica. Além disso, apesar dos grupos experimentais contendo 0,25% e 1% de nitrato de cério terem apresentado menores valores de resistência à flexão em relação à resina acrílica sem modificações, os valores são superiores aos mínimos aceitos pela Norma ISO 20795-1:2013,⁵⁴ que consideram aceitáveis valores superiores a 65 MPa para a resina acrílica de base para prótese. Logo, a incorporação de nitrato de cério realizada neste estudo não reduziu os valores de resistência à flexão abaixo do limite considerado, diferentemente do estudo de Farias (2017)⁵³, demonstrando que a substituição do veículo de incorporação do cério ao PMMA foi bem sucedida. A incorporação de nitrato de cério dissolvido em DMSO e Tween no citado estudo resultou em valores inferiores a 65 MPa, que pode ter sido decorrente da evaporação do solvente durante a polimerização, o

que gerou um aumento das porosidades internas e uma redução da resistência à flexão.⁵³ A incorporação de substâncias em PMMA resultando em menores valores de resistência à flexão é frequentemente vista na literatura e alguns estudos relacionam este achado a uma possível aglomeração de partículas, na qual a formação de aglomerados pode atuar como regiões de concentrações de tensões na matriz da prótese, afetando adversamente as propriedades mecânicas.^{33,55}

A higienização da prótese dentária é essencial para a manutenção de uma boa saúde bucal e a limpeza mecânica promovida pela escovação é bastante utilizada,⁵⁶ porém, ao longo do tempo, causa desgaste abrasivo, que pode ser mensurado através da rugosidade de superfície e perda de massa. A escovação apenas com água não é tão eficaz na remoção de microrganismos na base de prótese, por isso, os dentifrícios são utilizados por promoverem redução da carga microbiana e da viabilidade de biofilme multiespécie.⁵⁷⁻⁵⁹

De acordo com os resultados desta pesquisa, a rugosidade inicial foi estatisticamente similar entre os grupos, o que representa uma melhoria ao comparar com a incorporação de nitrato de cério em soluções de DMSO e Tween, que apresentou rugosidades maiores e diferentes estatisticamente do grupo de PMMA não modificado.¹⁶ Embora os resultados do presente estudo tenham demonstrado um aumento significativo de rugosidade após a escovação para os grupos controle 1, NC-0,5% e NC-1%, todos os grupos apresentaram uma variação de S_a similar à da resina acrílica sem modificação. Quanto à rugosidade final, todos os grupos apresentaram valores acima do limite clinicamente aceitável para rugosidade de superfície ($0,2 \mu m$)⁶⁰, exceto o grupo Controle 2. Essas alterações na superfície do material podem resultar em aumento da vulnerabilidade à adesão microbiana,⁶¹ cujas irregularidades aumentam a área disponível para colonização, permitindo a formação de biofilmes volumosos e espessos.^{40,62-66}

Apesar do aumento na rugosidade após a simulação de 1 ano de escovação, as amostras incorporadas com nitrato de cério demonstraram uma redução estatisticamente significativa de biofilme fúngico em relação à resina acrílica sem modificação. Isso demonstra um resultado promissor, visto que, ao

longo do tempo, o nitrato de cério foi capaz de reduzir a aderência microbiana mesmo diante das irregularidades na superfície causadas pela escovação. Dessa forma, é possível observar a ação antimicrobiana do nitrato de cério tanto em superfícies lisas, demonstrada em estudos prévios^{16,17}, quanto em superfícies rugosas, conforme observado nesta pesquisa. Apesar do ineditismo desta pesquisa e de uma escassez na literatura de estudos que tenham analisado a adesão de biofilme após escovação em resina acrílica, a avaliação da formação de biofilme em materiais restauradores que possuem diferentes composições antibacterianas demonstrou um maior biovolume de biofilme de *S. mutans* após a escovação,⁶⁷ enfatizando ainda mais o potencial antimicrobiano do nitrato de cério incorporado em PMMA, que teve ação mesmo após o aumento da rugosidade decorrente da limpeza mecânica.

A avaliação da perda de massa e da rugosidade superficial são parâmetros adequados para a avaliação do desgaste abrasivo, entretanto, não há associação direta entre eles.⁶⁸ Conforme demonstrado nos resultados, o aumento da rugosidade foi acompanhado por perda de massa nos grupos Controle 1 e NC-1%. Os valores encontrados foram inferiores a outros citados na literatura,^{69,70} sendo importante frisar que essas variações podem ocorrer de acordo com o material testado, o protocolo de escovação e o dentifrício, sendo utilizado dentifrício específico indicado para a higienização de prótese dentária. Diversos estudos na literatura corroboram com este achado, no qual o desgaste abrasivo proveniente da escovação produz uma redução da massa de resinas acrílicas para base de prótese.^{68,71} No entanto, os demais grupos apresentaram um comportamento inverso, com aumento de massa. Chang et al. (2021)⁷² realizaram escovação em materiais para base de prótese e o grupo representado por poliamida apresentou aumento de massa, que foi justificado pela capacidade de absorver água com facilidade, pela resistência ao desgaste e pelo aumento da área de superfície resultante da escovação, que fez com que o material absorvesse água continuamente. Apesar de serem materiais diferentes, o nitrato de cério é um composto hexa-hidratado e a incorporação de álcool em PMMA gerou um aumento na porosidade, o que pode justificar a absorção de água pelo aumento da área de superfície e uma maior exposição após a escovação. Em virtude do ineditismo desta pesquisa, maiores investigações com caracterizações

adicionais devem ser realizadas, como o teste de sorção e solubilidade, para auxiliar na avaliação e compreensão deste comportamento.

A dureza consiste em uma propriedade definida como a resistência de um material a endentação ou penetração de superfície permanente, sendo considerada um indicador de longevidade de um material de base de prótese, estando relacionada inclusive à capacidade da prótese resistir aos desgastes provocados pela oclusão e pela limpeza mecânica.^{33,72-74} Com os resultados desta pesquisa, foi possível observar que a dureza foi afetada negativamente pela modificação da resina acrílica, tanto pela incorporação apenas do álcool quanto pela incorporação das soluções contendo nitrato de cério. Similarmente, a incorporação de nitrato de cério dissolvido em DMSO e Tween resultou em uma redução desta propriedade.¹⁶

Confrontando os dados da dureza com a resistência à abrasão, o estudo de Chang et al. (2021)⁷² encontrou que a dureza da resina não foi associada com as tendências de abrasão observadas, corroborando com os achados desta pesquisa, visto que, apesar da incorporação de nitrato de cério em álcool ter resultado em menores valores de dureza, o ensaio de resistência à abrasão demonstrou variação de rugosidade similar ao PMMA sem modificação, além de alguns grupos terem apresentado ganho de massa. Além disso, é importante ressaltar que não há parâmetros de dureza preconizados na literatura, não sendo possível estimar o impacto dessa alteração no ponto de vista clínico.¹⁶

Estudos prévios que também realizaram a incorporação de substâncias antimicrobianas em PMMA e resultaram em diminuição da dureza sugerem como possíveis justificativas para este achado que ocorre um processo de polimerização incompleto da resina acrílica modificada, afetando as propriedades por meio de um plastificante, além da possibilidade das substâncias incorporadas atuarem como impurezas dentro da matriz da resina, enfraquecendo posteriormente o material e afetando suas propriedades mecânicas.³³

É importante destacar também a ação do álcool em materiais dentários, que apresenta ação plastificante e pode ser capaz de causar degradação irreversível ao penetrar na matriz e expandir o espaço entre as cadeias poliméricas.^{75,76} A redução da dureza tem sido relatada na literatura após a

imersão de resina acrílica em álcool.⁷⁵ Em virtude do ineditismo da incorporação de álcool em PMMA, não há estudos prévios que tenham realizado a mesma metodologia deste estudo para comparação. Apesar do nosso grupo de pesquisa acreditar que existe a evaporação do álcool durante o ciclo de polimerização no micro-ondas, as alterações da dureza podem ocorrer em virtude deste efeito plastificante ou da modificação da composição original da resina acrílica.

É importante ressaltar que este estudo apresenta limitações e mais testes devem ser realizados, como o ensaio de sorção e solubilidade, avaliação de outros métodos de higienização e por períodos mais prolongados, dentre outros. Além disso, existem as limitações próprias de estudos *in vitro*, cujos resultados devem ser interpretados com cautela e não podem ser extrapolados para a realidade clínica, visto que a condição laboratorial é diferente do meio bucal. Portanto, estudos futuros, incluindo ensaios clínicos, devem ser conduzidos para uma melhor avaliação da ação do efeito da incorporação de nitrato de cério em resina acrílica para base de prótese.

CONCLUSÃO

Este estudo demonstra que a incorporação de nitrato de cério em resina acrílica foi efetiva e não provocou alterações no ângulo de contato, na porosidade e na variação da rugosidade na resistência à abrasão das resinas testadas. No entanto, reduziu a dureza, houve perda de massa nos grupos GC1 e NC-1%, e aumento de massa nos grupos GC2, NC-0,25% e NC-0,5%. Embora tenha sido encontrada uma redução na resistência à flexão, todos os grupos apresentaram valores superiores ao limite considerado (65 MPa). Apesar dessas alterações nas propriedades da resina acrílica, o nitrato de cério incorporado foi capaz de reduzir a adesão microbiana após a escovação, enfatizando seu potencial antimicrobiano mesmo diante de uma superfície irregular. As incorporações de NC-0,25% e NC-0,5% demonstraram ser as mais promissoras.

REFERÊNCIAS

1. Alzayyat ST, Almutiri GA, Aljandan JK, Algarzai RM, Khan SQ, Akhtar S, et

- al. Effects of SiO₂ Incorporation on the Flexural Properties of a Denture Base Resin: An in Vitro Study. *Eur J Dent.* 2022;16(1):188–94.
2. Garcia AAMN, Sugio CYC, de Azevedo-Silva LJ, Gomes ACG, Batista AUD, Porto VC, et al. Nanoparticle-modified PMMA to prevent denture stomatitis: a systematic review. *Arch Microbiol.* 2022;204(1):1–16.
3. Pereira-Cenci T, Del Bel Cury AA, Crielaard W, Ten Cate JM. Development of Candida-associated denture stomatitis: new insights. *J Appl Oral Sci.* 2008;16(2):86–94.
4. Bajunaid SO. How Effective Are Antimicrobial Agents on Preventing the Adhesion of Candida albicans to Denture Base Acrylic Resin Materials? A Systematic Review. *Polymers (Basel).* 2022;14(5).
5. Gad MM, Abualsaud R, Rahoma A, Al-Thobity AM, Akhtar S, Fouda SM. Double-layered acrylic resin denture base with nanoparticle additions: An in vitro study. *J Prosthet Dent.* 2022;127(1):174–83.
6. Yarborough A, Cooper L, Duqum I, Mendonça G, McGraw K, Stoner L. Evidence Regarding the Treatment of Denture Stomatitis. *J Prosthodont.* 2016 Jun;25(4):288–301.
7. Sousa TMS, de Farias OR, Batista, André Ulisses Dantas, de Medeiros ES, Santiago BM, Cavalcanti YW. Effectiveness of denture microwave disinfection for treatment of denture stomatitis: A systematic review and meta-analysis. *Int J Dent Hyg.* 2021;19(1):62–77.
8. Ajay R, Suma K, Ali S. Monomer modifications of denture base acrylic resin: A systematic review and meta-analysis. *J Pharm Bioallied Sci.* 2019;11(6):112.
9. Darwish G, Huang S, Knoernschild K, Sukotjo C, Campbell S, Bishal AK, et al. Improving Polymethyl Methacrylate Resin Using a Novel Titanium Dioxide Coating. *J Prosthodont.* 2019 Dec 20;28(9):1011–7.
10. Reese AD, Keyloun JW, Garg G, McLawhorn MM, Moffatt LT, Travis TE, et al. Compounded Cerium Nitrate–Silver Sulfadiazine Cream is Safe and Effective for the Treatment of Burn Wounds: A Burn Center’s 4-Year Experience. *J Burn Care Res.* 2021 Sep 20;1–10.
11. Qian L-W, Fourcaudot AB, Chen P, Brandenburg KS, Weaver AJ, Leung KP. Cerium nitrate enhances anti-bacterial effects and imparts anti-inflammatory properties to silver dressings in a rat scald burn model. *Int J*

- Burns Trauma. 2020;10(4):91–100.
12. Charbgoon F, Ahmad M Bin, Darroudi M. Cerium oxide nanoparticles : green synthesis and biological applications. *Int J Nanomedicine*. 2017;12:1401–13.
 13. Babenko LP, Zholobak NM, Shcherbakov AB, Lazarenko LM. Antibacterial activity of cerium colloids against opportunistic microorganisms in vitro. 2012;74(3):54–62.
 14. Cobrado L, Azevedo MM, Ramos JP, Rodrigues AG. Cerium, chitosan and hamamelitannin as novel biofilm inhibitors? *J Antimicrob Chemother*. 2012;1–4.
 15. Silva-dias A, Miranda IM, Branco J, Cobrado L, Monteiro-Soares M, Pina-Vaz C, et al. In vitro antifungal activity and in vivo antibiofilm activity of cerium nitrate against *Candida* species. *J Antimicrob Chemother*. 2015;70:1083–93.
 16. Freire IC de M. Efeito do Cério Na Atividade Antifúngica E Propriedades Físico-Mecânicas De Resinas Acrílicas Termopolimerizadas. 2017.
 17. Freitas RHB. Efeito da incorporação de nitrato de cério na atividade antibiofilme de resinas acrílicas termopolimerizadas. 2018.
 18. Tijana A, Valentina V, Nataša T, Miloš HM, Suzana GA, Milica B, et al. Mechanical properties of new denture base material modified with gold nanoparticles. *J Prosthodont Res*. 2021;65(2):155–61.
 19. Campos D e S. Efeito da incorporação de nitrato de cério nas propriedades físico-químicas e térmicas de resinas acrílicas termopolimerizadas. 2019.
 20. de Foggi CC, Machado AL, Zamperini CA, Fernandes D, Wady AF, Vergani CE. Effect of surface roughness on the hydrophobicity of a denture-base acrylic resin and *Candida albicans* colonization. *J Investig Clin Dent*. 2014;5:1–8.
 21. Nam K-Y. Characterization and bacterial anti-adherent effect on modified PMMA denture acrylic resin containing platinum nanoparticles. *J Adv Prosthodont*. 2014;6(3):207–14.
 22. Macêdo LO, Campos D e S, da Nóbrega Alves D, Carreiro A da FP, de Castro RD, Batista AUD. Effects of long-term cinnamaldehyde immersion on the surface roughness and color of heat-polymerized denture base resin. *J Prosthet Dent*. 2022 Aug;(Epub ahead of print):1–8.
 23. Al-bakri IA, Harty D, Al-omari WM, Swain M V, Chrzanowski W, Ellakwa A.

- Surface characteristics and microbial adherence ability of modified polymethylmethacrylate by fluoridated glass fillers. *Aust Dent J* 2014. 2014;59:482–9.
24. Paes-Junior TJ de A, Rossi NR, Carvalho TMI de, Macedo VC, Gomes M de S dos S, Nakano LNJ, et al. Effect of drying different inclusion plasters on the mechanical properties of thermoactivated acrylic resins. *Polímeros*. 2021;31(3):2–7.
 25. Hamid SK, Alghamdi LA, Alshahrani FA, Khan SQ, Matin A, Gad MM. In Vitro Assessment of Artificial Aging on the Antifungal Activity of PMMA Denture Base Material Modified with ZrO₂ Nanoparticles. Pagano S, editor. *Int J Dent*. 2021 May 13;2021:1–9.
 26. Pisani MX, Bruhn JP, Oliveira Paranhos HF, Silva-Lovato CH, de Souza RF, Panzeri H. Evaluation of the Abrasiveness of Dentifrices for Complete Dentures. *J Prosthodont Esthet Reconstr Dent*. 2010 Jul;19(5):369–73.
 27. Sorgini DB, da Silva-Lovato CH, Muglia VA, de Souza RF, de Arruda CNF, Paranhos H de FO. Adverse effects on PMMA caused by mechanical and combined methods of denture cleansing. *Braz Dent J*. 2015;26(3):292–6.
 28. Soares IA, Leite PKB da S, Farias OR, Lemos GA, Batista AUD, Montenegro RV. Polishing Methods' Influence on Color Stability and Roughness of 2 Provisional Prosthodontic Materials. *J Prosthodont*. 2019;28(5):564–71.
 29. Sorgini DB, Silva-Lovato CH, Souza RF, Davi LR, Paranhos H de FO. Abrasiveness of Conventional and Specific Denture-Cleansing Dentifrices. *Braz Dent J*. 2012;23(2):154–9.
 30. Freitas-Pontes KM, Silva-Lovato CH, Paranhos HFO. Mass loss of four commercially available heat-polymerized acrylic resins after toothbrushing with three different dentifrices. *J Appl Oral Sci*. 2009 Apr;17(2):116–21.
 31. Chaves GM, Diniz MG, da Silva-Rocha WP, de Souza LBFC, Gondim LAM, Ferreira MAF, et al. Species Distribution and Virulence Factors of *Candida* spp. Isolated from the Oral Cavity of Kidney Transplant Recipients in Brazil. *Mycopathologia*. 2013;175(3–4):255–63.
 32. Djordjevic D, Wiedmann M, McLandsborough LA. Microtiter plate assay for assessment of *Listeria monocytogenes* biofilm formation. *Appl Environ Microbiol*. 2002;68(6):2950–8.

33. Gad MM, Al-Thobity AM, Fouda SM, Năpănkangas R, Raustia A. Flexural and Surface Properties of PMMA Denture Base Material Modified with Thymoquinone as an Antifungal Agent. *J Prosthodont*. 2018 Mar 4;29(3):243–50.
34. Ardestani SS, Bonan RF, Mota MF, Farias RM da C, Menezes RR, Bonan PRF, et al. Effect of the incorporation of silica blow spun nanofibers containing silver nanoparticles (SiO₂/Ag) on the mechanical, physicochemical, and biological properties of a low-viscosity bulk-fill composite resin. *Dent Mater*. 2021 Oct;37(10):1615–29.
35. Silva LH da, Tango RN, Kimpara ET, Saavedra G de SFA, Paes Junior TJ de A. Resistência à flexão e microdureza da resina acrílica quimicamente ativada submetida à tratamento por energia de micro-ondas. *RGO (Porto Alegre)*. 2011;59(2):237–42
36. de Almeida MAL, Batista AUD, de Araújo MRC, de Almeida VFDS, Bonan PRF, Nóbrega Alves D, et al. Cinnamaldehyde is a biologically active compound for the disinfection of removable denture: blinded randomized crossover clinical study. *BMC Oral Health*. 2020 Dec 17;20(1):223.
37. Ghamami S, Anari SK, Bakhshi M, Lashgari A, Salgado-Morán G, Glossman-Mitnik D. Preparation and Characterization of Cerium (III) Doped Captopril Nanoparticles and Study of their Photoluminescence Properties. *Open Chem*. 2016;14(1):60–4.
38. Maluf CV, Peroni LV, Menezes LR, Coutinho W, Lourenço EJV, Telles D de M. Evaluation of the physical and antifungal effects of chlorhexidine diacetate incorporated into polymethyl methacrylate. *J Appl Oral Sci*. 2020;28:e20190039.
39. Farzi G, Davoodi A, Ahmadi A, Neisiany RE, Anwer MK, Aboudzadeh MA. Encapsulation of Cerium Nitrate within Poly(urea-formaldehyde) Microcapsules for the Development of Self-Healing Epoxy-Based Coating. *ACS Omega*. 2021;6(46):31147–53.
40. Pereira T, Antoninha A, Bel D, Cenci S. In Vitro Candida Colonization on Acrylic Resins and Denture Liners : Influence of Surface Free Energy , Roughness , Saliva and adhering bacteria. *Int J Prosthodont*. 2007;308–11.
41. Alzayyat ST, Almutiri GA, Aljandan JK, Algarzai RM, Khan SQ, Akhtar S, et al. Antifungal Efficacy and Physical Properties of Poly(methylmethacrylate)

- Denture Base Material Reinforced with SiO₂ Nanoparticles. *J Prosthodont.* 2021;30(6):500–8.
42. Cierech M, Osica I, Kolenda A, Wojnarowicz J, Szmigiel D, Łojkowski W, et al. Mechanical and Physicochemical Properties of Newly Formed ZnO-PMMA Nanocomposites for Denture Bases. *Nanomaterials.* 2018;8(5):305.
 43. Torres FFE, Jacobs R, EzEldeen M, de Faria-Vasconcelos K, Guerreiro-Tanomaru JM, dos Santos BC, et al. How image-processing parameters can influence the assessment of dental materials using micro-CT. *Imaging Sci Dent.* 2020;50(2):161–8.
 44. Palaskar JN, Singh S, Mittal S. Evaluation and Comparison of Different Polymerization Techniques, Curing Cycles, and Thicknesses of Two Denture Base Materials. *Indian J Dent Res.* 2019;29(2):212–6.
 45. Figuerôa 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;26:e20170383.
 46. Latib Y, Owen C, Patel M. Viability of *Candida albicans* in Denture Base Resin After Disinfection: A Preliminary Study. *Int J Prosthodont.* 2018 Sep;31(5):436–9.
 47. Kasina SP, Ajaz T, Attili S, Surapaneni H, Cherukuri M, Srinath HP. To evaluate and compare the porosities in the acrylic mandibular denture bases processed by two different polymerization techniques, using two different brands of commercially available denture base resins - an in vitro study. *J Int oral Heal JIOH.* 2014;6(1):72–7.
 48. Singh S, Palaskar J, Mittal S. Comparative evaluation of surface porosities in conventional heat polymerized acrylic resin cured by water bath and microwave energy with microwavable acrylic resin cured by microwave energy. *Contemp Clin Dent.* 2013;4(2):147.
 49. Pero AC, Marra J, Paleari AG, De Souza RF, Ruvolo-Filho A, Compagnoni MA. Reliability of a method for evaluating porosity in denture base resins. *Gerodontology.* 2011;28(2):127–33.
 50. Kaisarly D, Gezawi M El. Polymerization shrinkage assessment of dental resin composites: a literature review. *Odontology.* 2016;104(3):257–70.
 51. Plessis A, Broeckhoven C. Looking deep into nature: A review of micro-

- computed tomography in biomimicry. *Acta Biomater.* 2019;85:27–40.
Available from: <https://doi.org/10.1016/j.actbio.2018.12.014>
52. Al-Hallak KR, Nassani MZ, Mourshed B, Seirawan MK. Influence of Acrylic Resin Polymerization Methods on Residual Monomer Release and porosity. *Saudi J Oral Dent Res.* 2019 Apr;4(1):48–52.
 53. Farias OR. Efeito da incorporação do nitrato de cério na resistência à flexão, rugosidade superficial e porosidade de uma resina acrílica termopolimerizável. Universidade Federal da Paraíba; 2017.
 54. International Organization for Standardization. Dentistry -- Base polymers -- Part 1: Denture base polymers. ISO 20795-1:2013.
 55. Sodagar A, Bahador A, Khalil S, Saffar Shahroudi A, Zaman Kassaei M. The effect of TiO₂ and SiO₂ nanoparticles on flexural strength of poly (methyl methacrylate) acrylic resins. *J Prosthodont Res.* 2013 Jan;57(1):15–9.
 56. Papadiochou S, Polyzois G. Hygiene practices in removable prosthodontics: A systematic review. *Int J Dent Hyg.* 2018;16(2):179–201.
 57. Dias Panariello BH, Izumida FE, Moffa EB, Pavarina AC, Jorge JH, Giampaolo ET. Effect of mechanical toothbrushing combined with different denture cleansers in reducing the viability of a multispecies biofilm on acrylic resins. *Am J Dent.* 2016 Jun;29(3):154–60.
 58. Brown JL, Young T, McKloud E, Butcher MC, Bradshaw D, Pratten JR, et al. An In Vitro Evaluation of Denture Cleansing Regimens against a Polymicrobial Denture Biofilm Model. *Antibiotics.* 2022;11(1):1–10.
 59. Harrison Z, Johnson A, Douglas CWI. An in vitro study into the effect of a limited range of denture cleaners on surface roughness and removal of *Candida albicans* from conventional heat-cured acrylic resin denture base material. *J Oral Rehabil.* 2004;31(5):460–6.
 60. Quirynen M, Bollen CML. The influence of surface roughness and surface-free energy on supra- and subgingival plaque formation in man: A review of the literature. Vol. 22, *Journal of Clinical Periodontology.* 1995. p. 1–14.
 61. Gad MM, Abualsaud R, Fouda SM, Rahoma A, Al-Thobity AM, Khan SQ, et al. Color Stability and Surface Properties of PMMA/ZrO₂ Nanocomposite Denture Base Material after Using Denture Cleanser. Bohara R, editor. *Int J*

- Biomater. 2021 Apr 7;1–10.
62. da Silva WJ, Gonçalves LM, Viu FC, Leal MCB, Barbosa CMR, Cury AADB. Surface roughness influences *Candida albicans* biofilm. *Rev Odonto Cienc.* 2016;31(2):54–8.
 63. Govindswamy, Rodrigues S, Shenoy VK, Shenoy S, Shenoy R, Yadav T. The influence of surface roughness on the retention of *Candida albicans* to denture base acrylic resins – an in vitro study. *J Nepal Dent Assoc.* 2014;14(1):1–9.
 64. Gharechahi M, Moosavi H, Forghani M. Effect of Surface Roughness and Materials Composition on Biofilm Formation. *J Biomater Nanobiotechnol.* 2012;3:541–6.
 65. Mayahara M, Kataoka R, Arimoto T, Tamaki Y. Effects of surface roughness and dimorphism on the adhesion of *Candida albicans* to the surface of resins : scanning electron microscope analyses of mode and number of adhesions. *J Investig Clin Dent.* 2014;5:307–12.
 66. Ramage G, Tomsett K, Wickes BL, Lo L, Redding SW, Antonio S. Denture stomatitis : A role for *Candida* biofilms. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod.* 2004;98:53–9.
 67. Komalsingsakul A, Srisatjaluk RL, Senawongse P. Effect of brushing on surface roughness, fluoride release, and biofilm formation with different tooth-colored materials. *J Dent Sci.* 2022;17(1):389–98.
 68. Pontes KM de F, De Holanda JC, Fonteles CSR, Pontes CDB, Da Silva CHL, Paranhos HFO. Effect of toothbrushes and denture brushes on heat-polymerized acrylic resins. *Gen Dent.* 2016;64(1):49–53.
 69. Policastro VB, Giro G, Leite ARP, Mendoza-Marin DO, Paleari AG, Compagnoni MA, et al. In Vitro Assessment of the Abrasion Resistance of Two Types of Artificial Teeth Submitted to Brushing. *J Prosthodont.* 2016;25(6):485–8.
 70. Barreto J de O, de Alencar-Silva FJ, Oliveira VC, Silva-Lovato CH, Silva PG, Regis RR. The Effect of a Continuous Mechanical Polishing Protocol on Surface Roughness, Biofilm Adhesion, and Color Stability of Acrylic Resin Artificial Teeth. *J Prosthodont.* 2019;28(1):e110–7.
 71. Freitas-Pontes KM, Silva-Lovato CH, Paranhos HFO. Mass loss of four commercially available heat-polymerized acrylic resins after toothbrushing

- with three different dentifrices. *J Appl Oral Sci.* 2009;17(2):116–21.
72. Chang Y-H, Lee C-Y, Hsu M-S, Du J-K, Chen K-K, Wu J-H. Effect of toothbrush/dentifrice abrasion on weight variation, surface roughness, surface morphology and hardness of conventional and CAD/CAM denture base materials. *Dent Mater J.* 2021;40(1):220–7.
 73. Cevik P, Yildirim-Bicer AZ. The Effect of Silica and Prepolymer Nanoparticles on the Mechanical Properties of Denture Base Acrylic Resin. *J Prosthodont.* 2018;27(8):763–70.
 74. Aydogan Ayaz E, Durkan R, Bagis B. The effect of acrylamide incorporation on the thermal and physical properties of denture resins. *J Adv Prosthodont.* 2013;5(2):110.
 75. Regis RR, Soriani NC, Azevedo AM, Silva-Lovato CH, Oliveira 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.
 76. Polydorou O, Trittler R, Hellwig E, Kummerer K. Elution of monomers from two conventional dental composite materials. *Dent Mater.* 2007 Dec;23(12):1535–41.

6. CONSIDERAÇÕES GERAIS

A revisão sistemática e metanálise apresentada no capítulo 1 foi realizada devido à necessidade de sistematizar a literatura a respeito dos efeitos da escovação na resina acrílica, sobretudo na rugosidade e perda de massa, com o intuito de verificar os dados já existentes e servir como parâmetro para orientar o ensaio de resistência à abrasão, que foi um dos testes realizados no artigo de pesquisa desenvolvido nesta tese.

Com esta revisão sistemática e metanálise, foi possível observar que a escovação de resina acrílica para base de prótese com dentifrícios resultou em maior abrasividade quando comparado com a escovação com água, mesmo com o uso de dentifrícios específicos para higienização de próteses.

Compreender o comportamento das resinas acrílicas durante o ensaio de resistência à abrasão foi importante para servir como embasamento para a realização deste teste na pesquisa sobre os efeitos da incorporação de nitrato de cério em PMMA, o qual avaliou a variação da rugosidade de superfície e a variação de massa das amostras, possibilitando o confronto de dados com estudos prévios realizados. Além disso, foi possível viabilizar a análise da adesão de biofilme fúngico nesses corpos de prova após a realização da escovação, destacando o ineditismo desta pesquisa e o grande potencial que o nitrato de cério incorporado na base de prótese apresenta na redução de microrganismos, prevenindo o desenvolvimento de estomatite protética.

Pesquisas avaliando a incorporação de substâncias na resina acrílica de base de prótese com o objetivo de reduzir a adesão de microrganismos e a formação de biofilme tem sido bastante realizados, visto que a estomatite protética ainda apresenta alta prevalência. Além da propriedade microbiana, as propriedades de superfície, mecânicas, cor e análises térmicas são essenciais para a possibilidade de uso clínico e sucesso a longo prazo.

Estudos prévios realizados pelo nosso grupo de pesquisa avaliaram a incorporação de nitrato de cério em resina acrílica e demonstraram resultados promissores. Com isso, foi feito o depósito da patente deste material, havendo,

também, a necessidade de continuidade das pesquisas. Os resultados deste estudo demonstram que os grupos contendo a incorporação de nitrato de cério em PMMA não diferiram da resina acrílica comercialmente disponível em relação ao ângulo de contato e a porosidade. Apesar de alterações encontradas na dureza, resistência à flexão, rugosidade e variação de massa no ensaio de resistência à abrasão por escovação, o ensaio de biofilme fúngico demonstrou a capacidade do nitrato de cério reduzir a adesão microbiana em superfícies irregulares decorrentes da escovação, sendo, portanto, uma alternativa para aumentar a longevidade do material e prevenir a adesão de biofilme de *Candida spp* e desenvolvimento da estomatite protética. Destaca-se que esse resultado é inédito, tendo em vista que nenhum estudo que tenha realizado essa avaliação na resina acrílica à base de PMMA foi encontrado na literatura.

Investigações adicionais são necessárias, como avaliação da sorção e solubilidade, para melhor compreensão da variação de massa observada no teste de resistência à abrasão por escovação, espectrômetro de fotoelétrons excitados por raios-X (XPS), para avaliação da composição elementar e distribuição de cério dentro da amostra. Essas caracterizações devem permitir um maior conhecimento a respeito deste material e da sua biocompatibilidade, possibilitando estudos clínicos futuros.

7. CONCLUSÃO

Dentro das limitações da revisão sistemática e meta-análise, foi possível concluir que o uso de dentifrícios durante a escovação das resinas acrílicas promoveu maior perda de massa e a rugosidade da superfície também foi aumentada pela escovação com dentifrícios.

Referente à modificação do PMMA, a incorporação de nitrato de cério em resina acrílica foi efetiva e não provocou alterações no ângulo de contato e na porosidade das resinas testadas. Pequenas alterações foram encontradas na dureza, resistência à flexão, rugosidade e variação de massa no ensaio de resistência à abrasão por escovação. Apesar dessas mudanças nas propriedades da resina acrílica, o nitrato de cério incorporado foi capaz de reduzir a adesão fúngica após a escovação.

REFERÊNCIAS*

- Alzayyat ST, Almutiri GA, Aljandan JK, Algarzai RM, Khan SQ, Akhtar S, et al. Effects of SiO₂ Incorporation on the Flexural Properties of a Denture Base Resin: An in Vitro Study. *Eur J Dent*. 2022;16(1):188–94.
- Garcia AAMN, Sugio CYC, de Azevedo-Silva LJ, Gomes ACG, Batista AUD, Porto VC, et al. Nanoparticle-modified PMMA to prevent denture stomatitis: a systematic review. *Arch Microbiol*. 2022;204(1):1–16.
- Durkan R, Oyar P. Comparison of mechanical and dynamic mechanical behaviors of different dental resins polymerized by different polymerization techniques. *Niger J Clin Pract*. 2018;21(9):1144–9.
- Figuerôa 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;26:e20170383.
- Paes-Junior TJ de A, Rossi NR, Carvalho TMI de, Macedo VC, Gomes M de S dos S, Nakano LJN, et al. Effect of drying different inclusion plasters on the mechanical properties of thermoactivated acrylic resins. *Polímeros*. 2021;31(3):2–7.
- Ayaz EA, Ustun S. Effect of staining and denture cleaning on color stability of differently polymerized denture base acrylic resins. *Niger J Clin Pract*. 2020;23:304–9.
- Pereira-Cenci T, Del Bel Cury AA, Crielaard W, Ten Cate JM. Development of Candida-associated denture stomatitis: new insights. *J Appl Oral Sci*. 2008;16(2):86–94.
- Sousa TMS, de Farias OR, Batista, André Ulisses Dantas de Medeiros ESo, Santiago BM, Cavalcanti YW. Effectiveness of denture microwave disinfection for treatment of denture stomatitis: A systematic review and meta-analysis. *Int J Dent Hyg*. 2021;19(1):62–77.
- Bajunaid SO. How Effective Are Antimicrobial Agents on Preventing the Adhesion of *Candida albicans* to Denture Base Acrylic Resin Materials? A Systematic Review. *Polymers (Basel)*. 2022;14(5).

Gad MM, Abualsaud R, Rahoma A, Al-Thobity AM, Akhtar S, Fouda SM. Double-layered acrylic resin denture base with nanoparticle additions: An in vitro study. *J Prosthet Dent*. 2022;127(1):174–83.

Yarborough A, Cooper L, Duqum I, Mendonça G, McGraw K, Stoner L. Evidence Regarding the Treatment of Denture Stomatitis. *J Prosthodont*. 2016 Jun;25(4):288–301.

Chang Y-H, Lee C-Y, Hsu M-S, Du J-K, Chen K-K, Wu J-H. Effect of toothbrush/dentifrice abrasion on weight variation, surface roughness, surface morphology and hardness of conventional and CAD/CAM denture base materials. *Dent Mater J*. 2021;40(1):220–7.

Costa RTF, Pellizzer EP, Vasconcelos BC do E, Gomes JML, Lemos CAA, de Moraes SLD. Surface roughness of acrylic resins used for denture base after chemical disinfection: A systematic review and meta-analysis. *Gerodontology*. 2021;38(3):242–51.

Papadiochou S, Polyzois G. Hygiene practices in removable prosthodontics: A systematic review. *Int J Dent Hyg*. 2018;16(2):179–201.

Melo CBF, Feitosa MD, Maia SDB, Barreto JO, Peixoto RF, Regis RR. Effect of a continuous mechanical polishing protocol on the color stainability, microhardness, mass, and surface roughness of denture base acrylic resin. *J Prosthet Dent*. 2021 Dec;126(6):796–802.

Panariello BHD, Izumida FE, Moffa EB, Pavarina AC, Jorge JH, Giampaolo ET. Effect of mechanical toothbrushing combined with different denture cleansers in reducing the viability of a multispecies biofilm on acrylic resins. *Am J Dent*. 2016 Jun;29(3):154–60.

Brown JL, Young T, McKlound E, Butcher MC, Bradshaw D, Pratten JR, et al. An In Vitro Evaluation of Denture Cleansing Regimens against a Polymicrobial Denture Biofilm Model. *Antibiotics*. 2022;11(1):1–10.

Harrison Z, Johnson A, Douglas CWI. An in vitro study into the effect of a limited range of denture cleaners on surface roughness and removal of *Candida albicans* from conventional heat-cured acrylic resin denture base material. *J Oral Rehabil*. 2004;31(5):460–6.

Pires CJM, Oliveira AC, Kurrle M, Diesel PG, Vitalis GS, Wandscher VF. Métodos de higienização de próteses removíveis: uma revisão narrativa. *Discip Sci*. 2018;19(3):401–14.

Abualsaud R, Aleraky DM, Akhtar S, Khan SQ, Gad MM. Antifungal Activity of Denture Base Resin Containing Nanozirconia: In Vitro Assessment of *Candida albicans* Biofilm. Sarkar NK, editor. *Sci World J*. 2021 Jul 31;1–8.

Wady AF, Machado AL, Zucolotto V, Zamperini CA, Berni E, Vergani CE. Evaluation of *Candida albicans* adhesion and biofilm formation on a denture base acrylic resin containing silver nanoparticles. *J Appl Microbiol*. 2012;112(6):1163–72.

Ramadhan IPA, Damiyanti M, Triaminingsih S. Effects of brushing with abrasive dentifrices containing various materials on the surface roughness of acrylic resins. *J Phys Conf Ser*. 2018;1073(6).

Ajay R, Suma K, Ali S. Monomer modifications of denture base acrylic resin: A systematic review and meta-analysis. *J Pharm Bioallied Sci*. 2019;11(6):112.

Darwish G, Huang S, Knoernschild K, Sukotjo C, Campbell S, Bishal AK, et al. Improving Polymethyl Methacrylate Resin Using a Novel Titanium Dioxide Coating. *J Prosthodont*. 2019 Dec 20;28(9):1011–7.

Al-Thobity AM, Gad MM. Effect of silicon dioxide nanoparticles on the flexural strength of heat-polymerized acrylic denture base material: A systematic review and meta-analysis. *Saudi Dent J*. 2021;33(8):775–83.

Machado-Santos L, Silikas N, Baroudi K, Sinhoreti MAC, Brandt WC, Liporoni PCS. Mechanical performance of experimental acrylic resins modified by nanoparticles after chemical and mechanical degradation. *J Clin Exp Dent*. 2020;12(12):1157–63.

Farias OR. Efeito da incorporação do nitrato de cério na resistência à flexão, rugosidade superficial e porosidade de uma resina acrílica termopolimerizável. Universidade Federal da Paraíba [Dissertação de Mestrado]; 2017.

Campos D e S. Efeito da incorporação de nitrato de cério nas propriedades físico-químicas e térmicas de resinas acrílicas termopolimerizadas. Universidade

Federal da Paraíba [Dissertação de Mestrado]; 2019.

Freitas RHB. Efeito da incorporação de nitrato de cério na atividade antibiofilme de resinas acrílicas termopolimerizadas. Universidade Federal da Paraíba [Dissertação de Mestrado]; 2018.

Freire IC de M. Efeito do Cério Na Atividade Antifúngica E Propriedades Físico-Mecânicas De Resinas Acrílicas Termopolimerizadas. Universidade Federal da Paraíba [Dissertação de Mestrado]; 2017.

Tijana A, Valentina V, Nataša T, Miloš HM, Suzana GA, Milica B, et al. Mechanical properties of new denture base material modified with gold nanoparticles. *J Prosthodont Res.* 2021;65(2):155–61.

Reese AD, Keyloun JW, Garg G, McLawhorn MM, Moffatt LT, Travis TE, et al. Compounded Cerium Nitrate–Silver Sulfadiazine Cream is Safe and Effective for the Treatment of Burn Wounds: A Burn Center’s 4-Year Experience. *J Burn Care Res.* 2021 Sep 20;1–10.

Qian L-W, Fourcaudot AB, Chen P, Brandenburg KS, Weaver AJ, Leung KP. Cerium nitrate enhances anti-bacterial effects and imparts anti-inflammatory properties to silver dressings in a rat scald burn model. *Int J Burns Trauma.* 2020;10(4):91–100.

Charbgoon F, Ahmad M Bin, Darroudi M. Cerium oxide nanoparticles : green synthesis and biological applications. *Int J Nanomedicine.* 2017;12:1401–13.

Babenko LP, Zholobak NM, Shcherbakov AB, Lazarenko LM. Antibacterial activity of cerium colloids against opportunistic microorganisms in vitro. 2012;74(3):54–62.

Cobrado L, Azevedo MM, Ramos JP, Rodrigues AG. Cerium, chitosan and hamamelitannin as novel biofilm inhibitors? *J Antimicrob Chemother.* 2012;1–4.

Silva-dias A, Miranda IM, Branco J, Cobrado L, Monteiro-Soares M, Pina-Vaz C, et al. In vitro antifungal activity and in vivo antibiofilm activity of cerium nitrate against *Candida* species. *J Antimicrob Chemother.* 2015;70:1083–93.

Pontes KM de F, De Holanda JC, Fonteles CSR, Pontes CDB, Da Silva CHL, Paranhos HDFO. Effect of toothbrushes and denture brushes on heat-polymerized

acrylic resins. *Gen Dent.* 2016;64(1):49–53.

Gad MM, Abualsaud R, Fouda SM, Rahoma A, Al-Thobity AM, Khan SQ, et al. Color Stability and Surface Properties of PMMA/ZrO₂ Nanocomposite Denture Base Material after Using Denture Cleanser. Bohara R, editor. *Int J Biomater.* 2021 Apr 7;1–10.

Khader GAC, Barboza A da S, Ribeiro JS, Ferreira ML, Cuev s-Suarez CE, Piva E, et al. Novel polymethyl methacrylate modified with metal methacrylate monomers: biological, physicomechanical, and optical properties. *Biofouling.* 2022 Mar 25;1–10.

Veiga A, Magalhães R, Duarte MM, Dias JR, Alves NM, Costa-Pinto AR, et al. Continuous Production of Highly Tuned Silk/Calcium-Based Composites: Exploring New Pathways for Skin Regeneration. *Molecules.* 2022 Mar 30;27(7):2249.

Ozdemirkan A, Kurtipek AC, Kucuk A, Ozdemir C, Yesil S, Sezen SC, et al. Effect of Cerium Oxide on Kidney and Lung Tissue in Rats with Testicular Torsion/Detorsion. *Biomed Res Int.* 2022;2022:1–10.

He J, Meng X, Meng C, Zhao J, Chen Y, Zhang Z, et al. Layer-by-Layer Pirfenidone/Cerium Oxide Nanocapsule Dressing Promotes Wound Repair and Prevents Scar Formation. *Molecules.* 2022;27(6).

Xie H, Sha S, Lu L, Wu G, Jiang H, Boccaccini AR, et al. Cerium-Containing Bioactive Glasses Promote In Vitro Lymphangiogenesis. *Pharmaceutics.* 2022;14(2).

Morais DS, Fernandes S, Gomes PS, Fernandes MH, Sampaio P, Ferraz MP, et al. Novel cerium doped glass-reinforced hydroxyapatite with antibacterial and osteoconductive properties for bone tissue regeneration. *Biomed Mater.* 2015;10.

Cobrado L, Silva-dias A, Azevedo MM, Pina-Vaz C, Rodrigues AG. In vivo antibiofilm effect of cerium , chitosan and hamamelitannin against usual agents of catheter-related bloodstream. *J Antimicrob Chemother.* 2013;68:126–30.

Wegehaupt FJ, Buchalla W, Sener B, Attin T, Schmidlin PR. Cerium Chloride Reduces Enamel Lesion Initiation and Progression in vitro. *Caries Res.*

2014;48(1):45–50.

de Queiroz JRC, Marocho SS, Benetti P, Tango RN, Nogueira Junior L. Métodos de caracterização de materiais para pesquisa em odontologia. *Rev da Fac Odontol.* 2012;17(1):106–12.

Al-bakri IA, Harty D, Al-omari WM, Swain M V, Chrzanowski W, Ellakwa A. Surface characteristics and microbial adherence ability of modified polymethylmethacrylate by fluoridated glass fillers. *Aust Dent J* 2014. 2014;59:482–9.

Cierech M, Osica I, Kolenda A, Wojnarowicz J, Szmigiel D, Łojkowski W, et al. Mechanical and Physicochemical Properties of Newly Formed ZnO-PMMA Nanocomposites for Denture Bases. *Nanomaterials.* 2018;8(5):305.

Goiato MC, Rahal JS, Gennari Filho H, Fajardo RS, Gonçalves WA. Avaliação da alteração dimensional e porosidades em resinas acrílicas entre métodos de polimerização convencional e por microondas. *R Fac Odontol.* 2000;42(2):37–40.

Mayahara M, Kataoka R, Arimoto T, Tamaki Y. Effects of surface roughness and dimorphism on the adhesion of *Candida albicans* to the surface of resins : scanning electron microscope analyses of mode and number of adhesions. *J Investig Clin Dent.* 2014;5:307–12.

Govindswamy, Rodrigues S, Shenoy VK, Shenoy S, Shenoy R, Yadav T. The influence of surface roughness on the retention of *Candida albicans* to denture base acrylic resins – an in vitro study. *J Nepal Dent Assoc.* 2014;14(1):1–9.

da Silva WJ, Gonçalves LM, Viu FC, Leal MCB, Barbosa CMR, Cury AADB. Surface roughness influences *Candida albicans* biofilm. *Rev Odonto Cienc.* 2016;31(2):54–8.

Pereira T, Antoninha A, Bel D, Cenci S. In Vitro *Candida* Colonization on Acrylic Resins and Denture Liners : Influence of Surface Free Energy, Roughness, Saliva and adhering bacteria. *Int J Prosthodont.* 2007;308–11.

Ardestani SS, Bonan RF, Mota MF, Farias RM da C, Menezes RR, Bonan PRF, et al. Effect of the incorporation of silica blow spun nanofibers containing silver nanoparticles (SiO₂/Ag) on the mechanical, physicochemical, and biological

properties of a low-viscosity bulk-fill composite resin. *Dent Mater*. 2021 Oct;37(10):1615–29.

Gad MM, Abualsaud R, Al-Thobity AM, Baba NZ, Al-Harbi FA. Influence of Addition of Different Nanoparticles on the Surface Properties of Poly(methylmethacrylate) Denture Base Material. *J Prosthodont*. 2020;29(5):422–8.

Gad MM, Al-Thobity AM, Fouda SM, Näpänkangas R, Raustia A. Flexural and Surface Properties of PMMA Denture Base Material Modified with Thymoquinone as an Antifungal Agent. *J Prosthodont [Internet]*. 2018 Mar 4;29(3):243–50.

Da Silva LH, Feitosa SA, Valera MC, De Araujo MAM, Tango RN. Effect of the addition of silanated silica on the mechanical properties of microwave heat-cured acrylic resin. *Gerodontology*. 2012;29(2):1–5.

Cevik P, Yildirim-Bicer AZ. The Effect of Silica and Prepolymer Nanoparticles on the Mechanical Properties of Denture Base Acrylic Resin. *J Prosthodont*. 2018;27(8):763–70.

Sorgini DB, Silva-Lovato CH, Souza RF, Davi LR, Paranhos H de FO. Abrasiveness of Conventional and Specific Denture-Cleansing Dentifrices. *Braz Dent J*. 2012;23(2):154–9.

Sorgini DB, da Silva-Lovato CH, Muglia VA, de Souza RF, de Arruda CNF, Paranhos H de FO. Adverse effects on PMMA caused by mechanical and combined methods of denture cleansing. *Braz Dent J*. 2015;26(3):292–6.

Gharechahi M, Moosavi H, Forghani M. Effect of Surface Roughness and Materials Composition on Biofilm Formation. *J Biomater Nanobiotechnol*. 2012;3:541–6.

Ramage G, Tomsett K, Wickes BL, Lo L, Redding SW, Antonio S. Denture stomatitis : A role for Candida biofilms. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod*. 2004;98:53–9.

* De acordo com as normas do PPGO/UFPB, baseadas na norma do International Committee of Medical Journal Editors - Grupo de Vancouver. Abreviatura dos periódicos em conformidade com o Medline.