



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

JULIANA DE FREITAS GOUVEIA SILVA

**RECOBRIMENTO DA RESINA ACRÍLICA ATIVADA TERMICAMENTE
COM GLAZE E NANOPARTÍCULAS de ZnO e TiO₂: estudo da ação
antifúngico e de características mecânicas**

JULIANA DE FREITAS GOUVEIA SILVA

**RECOBRIMENTO DA RESINA ACRÍLICA ATIVADA TERMICAMENTE
COM GLAZE E NANOPARTÍCULAS de ZnO e TiO₂: estudo da ação antifúngica
e de características mecânicas**

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

Área: Prótese Dentária. Linha de pesquisa: Desempenho de Materiais e técnicas em odontologia restauradora.

Orientador: Prof. Assoc. Tarcisio José de Arruda Paes Junior

Coorientador: Prof. Dr. Gilmar Patrocínio Thim

São José dos Campos

2023

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

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

Silva, Juliana de Freitas Gouveia

Recobrimento da resina acrílica ativada termicamente com glaze e nanopartículas de ZnO e TiO₂: estudo da ação antifúngica e de características mecânicas / Juliana de Freitas Gouveia Silva. - São José dos Campos : [s.n.], 2023.

78 f. : il.

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

Orientador: Tarcísio José de Arruda Paes Junior

Coorientador: Gilmar Patrocínio Thim

1. Antifúngico. 2. Resina acrílica. 3. Nanopartículas. 4. Dióxido de titânio. 5. óxido de zinco. I. Paes Junior, Tarcísio José de Arruda, orient. II. Thim, Gilmar Patrocínio, coorient. III. Universidade Estadual Paulista (Unesp), Instituto de Ciência e Tecnologia, São José dos Campos. IV. Universidade Estadual Paulista 'Júlio de Mesquita Filho' - Unesp. V. Universidade Estadual Paulista (Unesp). VI. Título.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Assoc. Tarcísio José Arruda Paes Junior (Orientador)

Universidade Estadual Paulista (Unesp)

Instituto de Ciência e Tecnologia

Campus de São José dos Campos

Prof. Assoc. Luciane Dias de Oliveira

Universidade Estadual Paulista (Unesp)

Instituto de Ciência e Tecnologia

Campus de São José dos Campos

Prof. Dr. Tiago Moreira Bastos Campos

Instituto Tecnológico de Aeronáutica (ITA)

Departamento de Física

Campus de São José dos Campos

São José dos Campos, 13 de fevereiro de 2023

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho primeiramente a **Deus** por ter me acompanhado durante toda minha vida, ter dado o suporte, amor e a sabedoria para realizar este trabalho da melhor maneira possível, e por ter guiado e abençoado a minha vida até este presente momento.

Dedico este trabalho a minha mãe **Michelle Brito de Freitas** por ter sempre cuidado de mim, mesmo a distância, e por sempre ter me apoiado e amado incondicionalmente. “Ensine seus filhos no caminho certo, e mesmo quando envelhecerem, não se desviarão dele.” (Provérbio 22)

Dedico ao meu pai **José Jorge Silva**, que sempre me apoiou e incentivou a estudar e me tornar a melhor profissional possível.

Dedico ao meu irmão **Miguel Martins Gouveia Silva**, que sempre me encheu com muito amor e carinho.

Dedico a todos os professores que tive ao longo da minha vida e que tornaram este momento possível. Em especial ao meu orientador, **Tarcisio José de Arruda Paes Junior**, por toda paciência, carinho e empenho em me guiar na minha trajetória do mestrado. O meu crescimento profissional e pessoal foi imensurável.

Dedico a toda minha família, meu avô **Helson Melzer** e avó **Lucila Célia Brito Melzer** e a minha tia **Tatiana Brito Melzer**, que foram minha segunda casa durante esses anos de estudo.

Aos meus amigos de pós-graduação que muito me ensinaram, apoiaram e fizeram parte da minha trajetória acadêmica.

A Universidade do Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, aos funcionários e professores, por todas as oportunidades que possibilitaram o meu crescimento acadêmico e pessoal.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus por todo cuidado e amor comigo durante esses anos de muito estudo e de amadurecimento. Agradeço também por ter guiado minha vida por esse caminho tão abençoado.

Agradeço aos meus **pais** que sempre me amaram e apoiaram em todos os momentos. Sei que vocês se esforçaram ao máximo para que eu pudesse ter as melhores oportunidades de aprendizado na vida. Vocês sempre foram meu porto seguro e meus maiores incentivadores durante toda esta jornada. Sem vocês essa trajetória teria sido muito mais difícil. Eu amo vocês.

Agradeço ao meu orientador professor **Tarcisio José de Arruda Paes Junior** por todos os ensinamentos, conselhos e conhecimentos compartilhados ao longo destes anos de tanto crescimento profissional e pessoal na minha vida. Eu não poderia ter tido um orientador melhor para me guiar nessa trajetória.

Agradeço a minha banca professora **Luciane Dias de Oliveira Rodrigues** e professor **Tiago Moreira Bastos Campos** por terem concordado em fazer parte deste dia em que concluo mais um ciclo na minha vida. Agradeço também por todo apoio e auxílio para a melhor finalização deste trabalho.

Agradeço ao meu coorientador professor **Gilmar Patrocínio Thim**, do Instituto Tecnológico de Aeronáutica, por toda ajuda e atenção comigo e com o meu trabalho. Agradeço também a professora **Cristiane Yumi Koga Ito** e sua equipe por ceder o Laboratório de Genoma para que eu pudesse realizar meus testes microbiológicos e por todas as sugestões para que meu trabalho fosse desenvolvido da melhor maneira possível.

Agradeço aos meus amigos de pós-graduação por sempre me apoiarem e terem me ajudado em diversos momentos ao longo destes anos. Tenho plena certeza de que vocês tornaram meu caminho muito mais leve e alegre.

Agradeço também ao órgão de fomento CAPES por ter me concedido a bolsa no período de Julho/2022 até Fevereiro/2023 para que eu pudesse realizar a minha pesquisa com maior dedicação.

“É da natureza humana fazer planos, mas é o Senhor quem dirige nossos passos.” (Provérbios 17)

RESUMO

Silva JFG. Recobrimento da resina acrílica ativada termicamente com glaze e nanopartículas de ZnO e TiO₂: estudo da ação antifúngica e de características mecânicas [dissertação]. São José dos Campos (SP): Universidade Estadual Paulista (Unesp), Instituto de Ciência e Tecnologia; 2023.

A resina acrílica é muito utilizada para a confecção de próteses removíveis parciais ou totais e apresenta uma grande interação com o meio bucal, além de possuir uma superfície que favorece o acúmulo de biofilme. Aplicação de materiais como glaze visam minimizar este efeito indesejável, através de uma ação que controle a formação de biofilme, muito embora esta ação ainda não seja tão efetiva. Neste sentido, o objetivo deste trabalho foi incorporar nanopartículas de dióxido de titânio e óxido de zinco, através da técnica de pulverização no glaze aplicado sob a superfície da resina acrílica ativada termicamente (RAAT), a fim de promover uma ação antimicrobiana. Para isso 4 grupos foram determinados: G: RAAT + glaze (controle); AlG: RAAT + glaze + óxido de alumínio (controle da rugosidade dos demais grupos); TiG: RAAT + glaze + dióxido de titânio; e ZnG: RAAT + glaze + óxido de zinco. Foram realizados testes de caracterização do material (DRX e MEV), teste de resistência a flexão com análise de Weibull e análise fractográfica, mensuração de cor e translucidez, perfilometria, goniometria, análise do efeito antibiofilme da *Candida albicans* e teste ANOVA um - fator. Os resultados obtidos mostraram que: não houve diferença estatística significativa com relação a resistência mecânica destes grupos; existe uma diferença estatística significativa na rugosidade, mensuração de cor e translucidez, do grupo controle quando comparado aos demais grupos; nos resultados de goniometria, os grupos com superfície tratada apresentaram maior molhamento, quando comparados com o grupo controle; e no teste de ação antifúngica, não foi possível perceber uma diferença estatística significativa entre os grupos. Concluiu-se que a aplicação de nanopartículas melhora o molhamento superficial da resina, o que permite um melhor selamento periférico e uma maior retenção das próteses totais, muito embora não tenha proporcionado ação antifúngica para a metodologia proposta.

Palavras – chaves: antifúngico; resina acrílica; nanopartículas; dióxido de titânio; óxido de zinco.

ABSTRACT

Silva JFG. Thermally activated acrylic resin coating with glaze and nanoparticles of ZnO and TiO₂: study of antifungal action and mechanical characteristics [dissertation]. São José dos Campos (SP). São Paulo State University (Unesp), Institute of Science and Technology; 2023.

Acrylic resin is widely used for the manufacture of partial or total removable prostheses and presents a great interaction with the oral environment, in addition to having a surface that favors the accumulation of biofilm. Application of materials such as glaze aim to minimize this undesirable effect, through an action that controls the biofilm formation, although this action is still not as effective. Therefore, the objective of this work was to incorporate nanoparticles of titanium dioxide and zinc oxide, through the spraying technique in the glaze applied under the surface of the thermally activated acrylic resin (RAAT), to promote an action antifungal. For this, 4 groups were determined: G: RAAT + glaze (control); AlG: RAAT + glaze + aluminum oxide (roughness control of the other groups); TiG: RAAT + glaze + titanium dioxide; and ZnG: RAAT + glaze + zinc oxide. Material characterization tests (DRX and SEM), flexural strength test with Weibull analysis and fractographic analysis, measurement of color and translucency, profilometry (roughness analysis), goniometry, antibiobilm analysis under the fungus C. albicans and ANOVA one – factor test. The results obtained showed that: there is no statistically significant difference regarding the mechanical resistance of these groups; there is a statistically significant difference in roughness, measurement of color and translucency, in the control group when compared to the other groups; in the goniometry results, the groups with treated surface showed greater wetting, when compared with the control group; and in the antifungal action test, it was not possible to perceive a statistically significant difference between the groups. It was concluded that the application of nanoparticles improves the surface wetting of the resin, which allows a better peripheral sealing and greater retention of complete dentures, although it did not determine antimicrobial action for the proposed methodology.

Keywords: antifungal; acrylic resin; nanoparticles; titanium dioxide; zinc oxide

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	13
2 REVISÃO DE LITERATURA	18
2.1 Resina Acrílica Ativada Termicamente, Glaze e Agregação Microbiana.....	18
2.2 Nanopartículas de Óxido de Zinco (ZnO)	19
2.3 Nanopartícula de Dióxido de Titânio (TiO₂).....	21
3 PROPOSIÇÃO.....	28
4 MATERIAIS E MÉTODOS.....	29
4.1 Grupos experimentais	29
4.2 Nanopartículas de TiO₂, ZnO e Al₃O₂.....	31
4.3 Caracterização microestrutural das nanopartículas	31
4.4 Preparação das amostras de RAAT.....	33
4.5 Adição dos nanocompósitos ao glaze	35
4.6 Mensuração de Cor e Translucidez	38
4.7 Análise de Rugosidade.....	39
4.8 Goniometria	39
4.9 Resistência a Flexão	41
4.10 Análise de Weibull.....	42
4.11 Análise Fractográfica.....	43
4.12 Avaliação da atividade antimicrobiana sobre <i>Candida albicans</i>	43
4.13 Análise Microscópica do biofilme na superfície da amostra..	44
4.14 Análise Estatística.....	45
5 RESULTADOS	46

5.1 Difractometria de Raios X (DRX):.....	46
5.2 Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV)	47
5.3 Resistência a Flexão	49
5.4 Análise Fractográfica.....	52
5.5 Análise de Rugosidade.....	54
5.6 Goniometria	56
5.7 Mensuração de Cor	57
5.8 Mensuração de Translucidez	58
5.9 Atividade antimicrobiana sobre <i>Candida albicans</i> (SC 5314)...	59
6 DISCUSSÃO.....	64
7 CONCLUSÃO.....	71
REFERÊNCIAS	72

1 INTRODUÇÃO

A utilização de próteses totais mucossuportadas como tratamento protético reabilitador sempre foi uma realidade na odontologia, tendo em vista a alta prevalência de pessoas totalmente desdentadas na sociedade. (Global data on dental caries prevalence, 2000) A resina acrílica utilizada na confecção dessas peças possui uma boa biocompatibilidade e adaptação no rebordo dos pacientes desdentados totais, além de permitir a realização de reparos. Entretanto, esse material por apresentar uma rugosidade na parte interna da prótese, que ocorre por conta da conformação do rebordo, específico de cada paciente, juntamente com a deficiente escovação, permite o acúmulo de biofilme na superfície do material, que em contato com o tecido bucal pode levar ao desenvolvimento de candidíase e estomatite protética, doenças ocasionadas por *Candida albicans*. (Arai et al., 2009)

Sabe-se que a estabilidade de uma prótese total mucossuportada se dá, em parte, pela formação de uma fina camada de saliva entre a superfície interna da prótese e o tecido mole, o que promove um selamento periférico. Esse mecanismo ocorre por conta de irregularidades na superfície interna da prótese que promove uma alta energia de superfície, ou seja, alta capacidade de molhamento da superfície por um líquido. Desta maneira, um possível aumento da rugosidade dessa superfície pela presença de nanopartículas pode promover um melhor selamento periférico, que por consequência pode levar a uma melhor estabilidade da prótese, característica essa muito benéfica para casos clínicos em que o rebordo é baixo ou estreito, com menor retenção. (Abuzar et al., 2010)

Além dessa aplicação clínica, esse material também é muito utilizado na confecção de próteses do tipo total fixa sobre implantes, o que não permite que o paciente realize sua remoção para higienização. Com isso o processo de higienização se torna mais difícil de ser realizado com eficiência, especialmente em pacientes mais idosos e com dificuldades motoras, o que pode levar ao aparecimento de doenças como a peri-implantite, ocasionada pelo acúmulo de microorganismos em forma de

biofilme na região próxima aos implantes, podendo até mesmo levar a perda de implantes. (El-Sayed, Nouvong, 2019)

As resinas acrílicas também podem ser utilizadas na confecção de próteses temporárias, que muitas vezes possuem um contato direto com a tecido gengival para guiar a formação de um perfil de emergência, ou seja, contorno gengival ao redor da coroa protética. E quando estes elementos temporários são utilizados por um longo período podem levar a um acúmulo de biofilme na superfície. (Giti et al., 2021) Então na tentativa de minimizar esse acúmulo de biofilme, se desenvolveu um material como o glaze, que possui a característica de ser um polidor químico para a resina acrílica, e que pode ser utilizado para selar a superfície das próteses, tendo em vista que promove uma área com maior tensão superficial nas resinas acrílicas. Entretanto, mesmo com a aplicação desse material ainda ocorre a formação de biofilme na superfície dos materiais restauradores. (Budtz-Jorgensen et al., 1986; Santos et al., 2016; Sesma et al., 2005)

É de extrema importância o desenvolvimento de materiais que determinem uma menor formação de biofilme na superfície dessas próteses, a fim de promover uma melhor qualidade bucal para os pacientes. Para isso, é necessário diminuir o aparecimento de doenças como a candidíase, que ocorre por conta da proliferação de *C. albicans*. Com isso, nanopartículas estão sendo cada vez mais estudadas quanto à sua atividade antimicrobiana, antifúngica e citotoxicidade, para que se possa desenvolver um material odontológico capaz de inibir a proliferação fúngica, com uma adequada liberação do material antimicrobiano, o que é de alta relevância clínica. (Li et al., 2020; Wang et al., 2014)

Um exemplo de material pesquisado é a nanopartícula de óxido de zinco (ZnO) que muito é empregada nas indústrias nano-óptica, química, farmacêutica, alimentícia, na confecção de aparelhos nano-elétricos e na medicina como um agente antimicrobiano, antifúngico e anti-tumoral, tendo em vista que apresenta uma boa biocompatibilidade. (Król et al., 2017) Esta propriedade antimicrobiana atua contra bactérias (Gram-positiva e Gram-negativa) e fungos, como *C. albicans*. Além disso, o zinco apresenta um papel muito importante no organismo humano, à medida que se apresenta extremamente funcional, versátil e possui a capacidade de combater microorganismos resistentes a medicamentos e de prevenir a formação de biofilme.

Esse mineral é encontrado em tecidos, como músculo, osso e pele. (Gharpure et al, 2020; Król et al., 2017; Silva et al., 2022)

O mecanismo de ação antimicrobiano do ZnO ainda não é bem definido, mas na literatura são encontrados processos que comprovam essa atuação: através da interação eletrostática entre as ZnO e a parede celular, o que resulta na destruição da integridade celular do microrganismo; através da liberação de íons Zn^{2+} antimicrobianos, que estão relacionados com o acúmulo de ZnO na superfície do microrganismo e posterior internalização para o citoplasma, o que promove uma desintegração da membrana celular; e da formação de espécies reativas de oxigênio (ERO), como o peróxido de hidrogênio, que pela presença de água e oxigênio, afeta a integridade da membrana celular. (Gharpure et al., 2020; Król et al., 2017; Li et al., 2020)

Além disso, sabe-se que o tamanho, a morfologia e a concentração das nanopartículas afetam sua atividade antimicrobiana. Partículas menores de ZnO, com maior área de superfície e maior concentração, apresentam uma melhor atividade antimicrobiana do que as partículas maiores. Tendo em vista, que as partículas menores conseguem penetrar mais facilmente a membrana celular e chegar ao interior da célula. As nanopartículas de ZnO também mostram um estímulo à atividade antimicrobiana decorrente de uma reação fotocatalítica, em que na presença de luz ocorre a absorção da luz ultravioleta (UV), promovendo a formação de peróxido de hidrogênio, que quando dentro da célula afeta as funções celulares, levando a morte celular e favorecendo a ação antimicrobiana. (Gharpure et al., 2020; Król et al., 2017; Li et al., 2020; Mahamuni-Badiger et al., 2020)

A nanopartícula de dióxido de titânio (TiO_2) é um semicondutor que apresenta propriedades hidrofílicas e fotocatalíticas, o que promove uma proteção antimicrobiana e ultravioleta (UV). A capacidade antimicrobiana do TiO_2 sobre bactérias Gram-positiva e Gram – negativa, fungos e protozoários é bem conhecida na literatura. (Azizi-Lalabadi et al., 2019; Foster et al., 2011)

Sabe-se que o mecanismo de ação antimicrobiano para as nanopartículas de TiO_2 envolve a degradação da parede celular e da membrana citoplasmática, por conta da produção de espécies reativas de oxigênio (ERO). A degradação é mais eficiente quando há um contato próximo entre o microrganismo e a nanopartícula. (Foster et al., 2011; Gharpure et al., 2020) Além disso, outros mecanismos de ação

também são conhecidos, como: a estrutura de cristais da nanopartícula, a intensidade da luz UVA, o tamanho e formato da partícula e a presença de radicais livres. (Azizi- Lalabadi et al., 2019; Li et al., 2020)

Por conta da própria característica orgânica que a resina acrílica a base de polimetilmetacrilato tem de gerar um acúmulo de microorganismos e com isso, formar biofilme na sua superfície, muitos fabricantes recomendam a aplicação do glaze, que é uma espécie de polimento químico, na superfície da resina a fim de minimizar a possibilidade de acúmulo bacteriano. Entretanto, mesmo com este protocolo utilizado, ainda existem muitos casos relatados de uma elevada proliferação bacteriana nas superfícies das próteses a base de polimetilmetacrilato. (Budtz-Jorgensen et al., 1986; Santos et al., 2016; Sesma et al., 2005)

Com isso, estudos estão direcionados a fim de encontrarem meios de controlar essa proliferação microbiana através do incremento de nanopartículas na resina acrílica, porém, estes estudos apresentaram como resultados uma citotoxicidade ao hospedeiro por conta da incorporação de nanopartículas em elevadas concentrações, alteração da resistência mecânica do material e dificuldade na liberação desses íons para o meio bucal, interferindo na atividade antimicrobiana. O desenvolvimento de novos estudos nesta linha é necessário para que possam ser testadas novas metodologias como as que incorporam nanopartículas de dióxido de titânio (TiO_2) e de óxido de zinco (ZnO). Juntamente com os novos métodos de incorporação a fim de promover adequada ação antimicrobiana e uma boa resistência mecânica ao material. (Rossi et al., 2022)

Portanto, diversos aspectos estão ainda indefinidos, deixando lacunas nessa área de conhecimento, como: a liberação dos íons das nanopartículas para o meio está suficiente para que ocorra uma ação antimicrobiana? A incorporação dessas nanopartículas interfere na resistência mecânica do material?

Esses e muitos outros questionamentos ainda estão abertos nesse campo de estudo. Buscando a resposta correta, será possível melhorar as propriedades antimicrobianas das resinas acrílicas.

As nanopartículas citadas apresentam ação antimicrobiana e são muito utilizadas em outras áreas de estudo, como na indústria alimentícia, farmacêutica e médica, mas ainda não apresentam consolidados estudos com a sua utilização em materiais restauradores protéticos, a fim de que estes se beneficiem de suas

propriedades. Além disso, na literatura existem poucos estudos que analisam a ação fúngica dessas nanopartículas, sendo necessária uma maior investigação de sua ação em materiais restauradores.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Resina Acrílica Ativada Termicamente, Glaze e Agregação Microbiana

As bases de próteses totais em resina acrílica termicamente ativada foram empregadas na prática clínica odontológica há cerca de 60 anos e são conhecidas por sua adequada estética, baixo custo, fácil manuseio e boa biocompatibilidade. A reação exotérmica que ocorre durante a polimerização da resina converte o monômero metilmetacrilato em polímero. Além disso, este material pode ter poros em sua superfície o que permite o acúmulo de pequenas quantidades de água, que estão presentes no meio bucal, o que torna a região favorável para o crescimento de biofilme. (Rossi et al., 2022)

A resina acrílica é um material que interage com o meio oral favorecendo o acúmulo de biofilme na superfície, à medida que possui um polímero passível de agregação orgânica, com alta energia de superfície, o que facilita a proliferação de bactérias e fungos. O biofilme é caracterizado por uma comunidade de micro- organismos que produzem e ficam embebidos a uma matriz polimérica extracelular, aderida a uma superfície. Além disso, é composto basicamente por: polissacarídeos, proteínas, ácidos nucleicos e lipídios. Por conta da conformação do biofilme, os micro- organismos presentes se apresentam menos sensíveis a antibióticos e são mais resistentes ao sistema imune do hospedeiro, do que quando em sua forma individual. (Mahamuni-Badiger et al., 2020; dos Santos et al., 2013)

A formação de biofilme nas próteses em resina acrílica é similar à formação de biofilme na superfície dos dentes e o adequado controle é igualmente importante. Nesta linha de raciocínio, a ênfase deve ser na prevenção do acúmulo de placa, juntamente com a efetiva remoção de placas acumuladas na superfície da prótese. Além disso, a resina acrílica apresenta como característica peculiar a agregação bacteriana, o que permite o desenvolvimento de doenças, como a estomatite relacionada a próteses totais mucosuportadas, que apresenta como etiologias:

ocorrência em pacientes idosos com concomitante diminuição da defesa imunológica, doenças sistêmicas, fumo, uso das próteses à noite e higiene oral inadequada. Esta doença bucal ocorre principalmente na região da mucosa do palato, que pode estar parcial ou totalmente recoberta pela prótese. (Nam, 2011; Sesma et al., 2005)

Na tentativa de minimizar os fatores indesejáveis na resina, que se desenvolveu um material como o glaze, que é um polidor químico para a resina acrílica, e que pode ser utilizado para selar a superfície das próteses, tendo em vista que promove uma superfície com maior tensão superficial nas resinas acrílicas, o que diminui o acúmulo de resíduos de alimentos e placa bacteriana, além de promover uma condição de higiene mais efetiva. Estudos também comprovam que a remoção de microrganismos através da escovação é facilitada quando há a presença de glaze na superfície da resina de base. (Budtz-Jorgensen et al., 1986; Santos et al., 2016; Sesma et al., 2005)

Além disso, os materiais poliméricos apresentam uma baixa condutividade térmica, o que é uma desvantagem quando o polimetilmetacrilato é utilizado para bases de próteses totais, uma vez que uma maior condutividade térmica promove uma melhor saúde tecidual, melhor apreciação dos sabores e temperaturas, além de reduzir a sensação de estranheza dos pacientes com as dentaduras. Com isso, estudos testam a incorporação de diferentes nanopartículas nestes materiais poliméricos a fim de promover uma melhor condutividade térmica deste material. (Sehajpal et al., 1989; Silva et al., 2022)

2.2 Nanopartículas de Óxido de Zinco (ZnO)

Nos últimos anos as pesquisas com nanotecnologias estão cada vez sendo mais desenvolvidas, em diversas áreas de aplicação biomédica. Na odontologia muitas nanopartículas estão sendo testadas para serem incorporadas em polímeros com o propósito por exemplo de aumentar a sua resistência, condutividade térmica e ação antimicrobiana. (Barzegar et al., 2022; Mishra et al., 2017) Além disso, as

nanopartículas são atualmente muito utilizadas para terapia de doenças como alergias e infecções, promovendo uma atuação alternativa aos antibióticos, ao combater fungos e bactérias. As nanopartículas (NPs) apresentam um tamanho entre 1 – 100 nm, em que pelo menos uma dimensão da NPs deve ser menor do que 1 μ m. Além disso, apresentam como vantagens uma alta área de superfície, alta bio – atividade e fácil penetração de células, o que promove uma boa reatividade química e atividade biológica, além de induzirem mais a apoptose celular, do que quando comparadas às partículas maiores do mesmo material. (Carlson et al., 2008; Gharpure et al., 2020; Król et al., 2017)

No mundo moderno, a aplicação das nanopartículas foi ampliada para diversas áreas como: a formação de terapia genética e o sistema de entrega de medicamentos. Isso ocorre por conta do pequeno tamanho (1-100nm), que permite que estas nanopartículas entrem na membrana celular de bactérias e fungos. Desta forma, o seu menor tamanho indica uma maior área de superfície, promovendo uma maior quantidade de átomos na superfície, o que torna a substância mais reativa. (Singh, 2019)

O óxido de zinco (ZnO) possui uma produção global por ano de aproximadamente 0,1 – 1,2 milhões de toneladas. A nanopartícula é um pó branco que é termicamente estável e que possui uma ampla aplicabilidade, como em produtos de beleza (protetor solar), na armazenagem de alimentos, pigmentos, revestimentos (proteção ultravioleta fungicida em tintas), aparelhos eletrônicos, cimento, borracha, plástico e biossensores. (Osmond, McCall, 2010; Ramimoghadam et al., 2013) Além disso, o óxido de zinco é a nanopartícula mais utilizada, tendo em vista a sua aplicabilidade em produtos de cuidado pessoal, cremes antibactericidas e aplicações biomédicas. Além de apresentar ação anticâncer e antimicrobiana, que ocorre pela capacidade desta nanopartícula de gerar espécies reativas de oxigênio (ERO) e induzir a apoptose. Possui ainda a capacidade de agir como um carregador de substâncias, que transporta elementos de interesse até sítios específicos, o que reduz a toxicidade e os efeitos destes materiais em regiões que não são o alvo da sua ação. (Lu et al., 2015; Mishra et al., 2017; Singh, 2019)

A literatura sugere que a dissolução deste óxido, a formação de ERO, e as respostas inflamatórias que são induzidas, são fatores comuns que podem provocar

a toxicidade do ZnO. (Singh, 2019) Este material é biocompatível, apresenta baixo custo e é menos tóxico do que quando comparado a outros óxidos metálicos. Além disso, o ZnO também possui uma ação antifúngica contra a *Candida albicans*, através de um efeito do óxido de zinco de concentração dependente. (Lu et al., 2018; Mishra et al., 2017) Desta forma, a nanopartícula de óxido de zinco pode entrar na célula de forma livre, através do íon Zn^{2+} e na forma de nanopartícula inteira. O processo de entrada na forma de íon permite a passagem através da membrana plasmática, o que representa um passo crítico para a toxicidade celular. Além disso, essa forma de liberação pode ser por dois parâmetros: as propriedades fisiológicas do íon como a porosidade, concentração, tamanho das partículas e morfologia. Já a incorporação em forma de nanopartícula ocorre pela entrada endo-lisossômica, em que a nanopartícula irá entrar em sua totalidade à célula. (Singh, 2019; Pelgrift, Friedman, 2013)

2.3 Nanopartícula de Dióxido de Titânio (TiO_2)

O dióxido de titânio foi a 100 anos confeccionado pela primeira vez na indústria, por conta de sua inércia química, baixo custo e disponibilidade no meio ambiente. Este material pode ser aplicado através da fotocatalise, na indústria farmacêutica, desinfecção de água, aplicações no meio ambiente, terapia fototérmica de câncer e no setor de processamento de alimentos. Além disso, pode ser encontrado em três fases: o rutilo, anatase e brookite. Sendo que estas fases cristalinas se reúnem como um octaedro, em que seis ânions de oxigênio são compartilhados por três cátions de titânio (IV), originando a nanopartícula TiO_2 . (Abdolmajid et al., 2019; Azizi-Lalabadi et al., 2019; Foster et al., 2011; Racovita, 2022)

Este óxido metálico apresenta um duplo comportamento em relação à luz, espalhando e absorvendo raios de radiação ultravioleta (UV), sendo que ambas as propriedades são altamente desejadas na fotocatalise. Com isso, o dióxido de titânio

é a nanopartícula fotocatalítica antimicrobiana mais utilizada, tendo em vista que mata tanto bactérias Gram-negativas como Gram-positivas. Já que sob a luz ultravioleta (UV), o óxido metálico é altamente semicondutor, capaz de realizar catálise de reações redox, por conta das propriedades fotoelétricas. Desta maneira, quando o TiO_2 é iluminado pela luz ultravioleta, elétrons passam a transitar do seu estado fundamental para a camada de valência, ou seja, para um estado de excitação na camada de condução, o que cria um vazio na camada de valência. Após este período, moléculas são absorvidas na superfície de catálise, como a água e o oxigênio, e a oxidação ocorre na camada de valência. (Foster et al., 2011; Javed et al., 2022; Liu et al., 2022; R. Kalankesh et al., 2019; Racovita, 2022)

Desta forma, o dióxido de titânio quando encontrado na presença de luz UV, transforma difusas moléculas em espécies reativas de oxigênio (ERO), peróxido de hidrogênio (H_2O_2) e radicais hidroxil (OH). Essas espécies reativas de oxigênio atacam, oxidam e inativam microrganismos, impedindo sua proliferação em produtos alimentícios. (Liu et al., 2022; Racovita, 2022) Sabe-se também que o dióxido de titânio apresenta ação antimicrobiana contra *Escherichia coli*, *Pseudomonas aeruginosa*, *Staphylococcus aureus*, *Enterococcus faecium* e *Candida albicans*. Entretanto, ainda não existem trabalhos que associem essa nanopartícula aplicada em glaze de resina acrílica para uso na odontologia. (Pelgrift, Friedman, 2013)

2.4 Mecanismos de ação das nanopartículas

Quadro 1 - Revisão dos mecanismos de ação das nanopartículas de óxido de zinco e dióxido de titânio, encontrados na literatura

(continua)

Autores	Nanopartículas	Como é feito?	Mecanismo de Ação
A. Król et al. (2017)	ZnO	Concentração Inibitória Mínima	• Interação eletrostática entre as nanopartículas de ZnO e a parede celular, promovendo a destruição da integridade da célula da bactéria; • Liberação dos íons antimicrobianos Zn^{2+} que promove um acúmulo de ZnO dentro da célula da bactéria e a formação de ERO (Espécies Reativas de Oxigênio), a partir de água e oxigênio. Especificamente para fungos, o mecanismo de ação ocorre por conta da inibição do crescimento, porque afeta o funcionamento celular.

(continuação)

Autores	Nanopartículas	Como é feito?	Mecanismo de Ação
Kairyte K (2013)	ZnO	Unidade Formadora de Colônia	• Produção de ERO, que provoca danos a membrana celular e que com a fotoativação ocorre a formação de bolhas na superfície do microorganismo, o que leva a um encolhimento da célula e liberação dos componentes intracelulares; • Interação eletrostática das NPs com a parede celular; produção de peróxido de hidrogênio.
Foster H.A (2011)	TiO ₂	*	• Degradação da parede celular e membrana citoplasmática ocorre por conta da produção de ERO como o peróxido de hidrogênio e radicais hidroxil. Pode ocorrer também o rompimento da bicamada fosfolipídica.

(continuação)

Autores	Nanopartículas	Como é feito?	Mecanismo de Ação
Arai F (2009)	TiO ₂	Teste de ATP – luminescência ATP – adenosina trifosfato	O TiO₂ possui propriedades altamente hidrofílicas e sofrem reações fotocatalíticas.
Darwish G et al. (2019)	TiO ₂	Teste de aderência e de biofilme (UFC)	As espécies reativas de oxigênio (ERO) causam danos irreversíveis a superfície celular.
Kumar N et al. (2018)	TiO ₂	*	Possui um alto poder oxidativo, alta área de superfície e capacidade de troca de intervalo de banda, por isso consegue agir como um agente antimicrobiano.
Javali M.A (2019)	TiO ₂	Unidade Formadora de Colônia	Terapia fotodinâmica com raios ultravioleta (313 nm), que estimula a ação antimicrobiana da nanopartícula.

(continuação)

Autores	Nanopartículas	Como é feito?	Mecanismo de Ação
Naji AS et al. (2018)	TiO ₂	• Unidade Formadora de Colônia (UFC) • Concentração Inibitória Mínima (CIM) • Concentração Bactericida Mínima (CBM) • Concentração Fungicida Mínima (CFM)	• Terapia fotodinâmica com raios ultravioleta (385 nm), que estimula a ação antimicrobiana da nanopartícula.
Apip C et al. (2021)	PMMA – ZnO - NWs	• Teste de aderência (90min) • Análise de formação de Biofilme (72h)	• Direto contato com a parede celular. • Liberação de íons Zn⁺² que provoca danos a parede celular. • Produção de ERO, que rompe a integridade da membrana.
Hosseini SS (2018)	ZnO	• Teste de aderência (2h) • Análise de formação de Biofilme (48h) • Concentração Inibitória Mínima (CIM) • Unidade Formadora de Colônia (UFC)	• Destrói a integridade da membrana celular através da produção de espécies reativas de oxigênio (ERO)

(conclusão)

Autores	Nanopartículas	Como é feito?	Mecanismo de Ação
Silva BL et al. (2019)	ZnO	*	• Produzir ERO • Perda da integridade celular, por conta do contato da NP de ZnO com a parede celular. • Liberação de íons Zn^{2+} • Fotocondutividade que ocorre por um processo de fotoindução, em que, quando submetido a luz UV, a ação antimicrobiana é otimizada, por conta da melhora na condutividade.
Jalal M et al. (2018)	ZnO	• Halo de inibição • Concentração Inibitória Mínima (CIM) • Concentração Fungicida Mínima (CFM)	• Alteração estrutural com ruptura da parede celular. • Desintegração da membrana citoplasmática. • Produção de ERO, no interior celular, após o contato com ZnO. (depende da concentração e tempo de exposição)

Fonte: Elaborado pelo autor.

3 PROPOSIÇÃO

O objetivo deste estudo foi associar nanopartículas de dióxido de titânio e óxido de zinco ao glaze a base de metilmetacrilato aplicado sobre uma resina acrílica ativada termicamente (RAAT) e analisar as suas atividades antifúngicas, além das características estruturais, mecânicas e ópticas.

A hipótese nula deste estudo seria que haverá a ação antimicrobiana e resistência a flexão semelhante entre o grupo controle e os grupos modificados com as nanopartículas e que o tratamento de superfície não influenciará nos aspectos de translucidez e cor da resina acrílica.

A primeira hipótese do estudo seria que haverá ação antimicrobiana e incremento na resistência a flexão para os grupos com nanopartículas, quando comparado ao grupo controle e, que os grupos tratados terão sua translucidez e cor afetadas pelo tratamento.

4 MATERIAIS E MÉTODOS

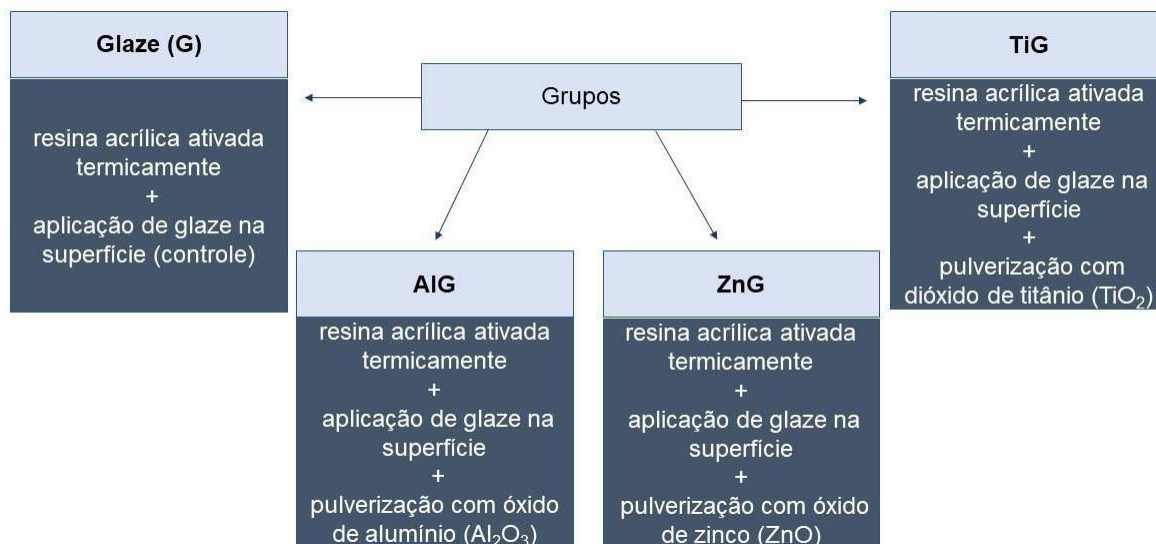
Para se atingir o objetivo proposto no projeto foram desenvolvidas etapas prévias listadas a seguir e que tiveram suas metodologias descritas:

- a) Confeccionar a resina acrílica ativada termicamente, de modo que seja minimizado o fator porosidade superficial.
- b) Desenvolver um protocolo para a adequada fixação das nanopartículas no material pela técnica de pulverização com peneira, para que os íons sejam adequadamente liberados para o meio externo.
- c) Determinar que a quantidade de liberação de íons titânio e zinco para o meio seja adequada, para o objetivo final proposto.
- d) Correlacionar a presença das nanopartículas com as propriedades mecânicas antimicrobianas.

4.1 Grupos experimentais

Foram incluídos no estudo 4 grupos experimentais (Figura 1):

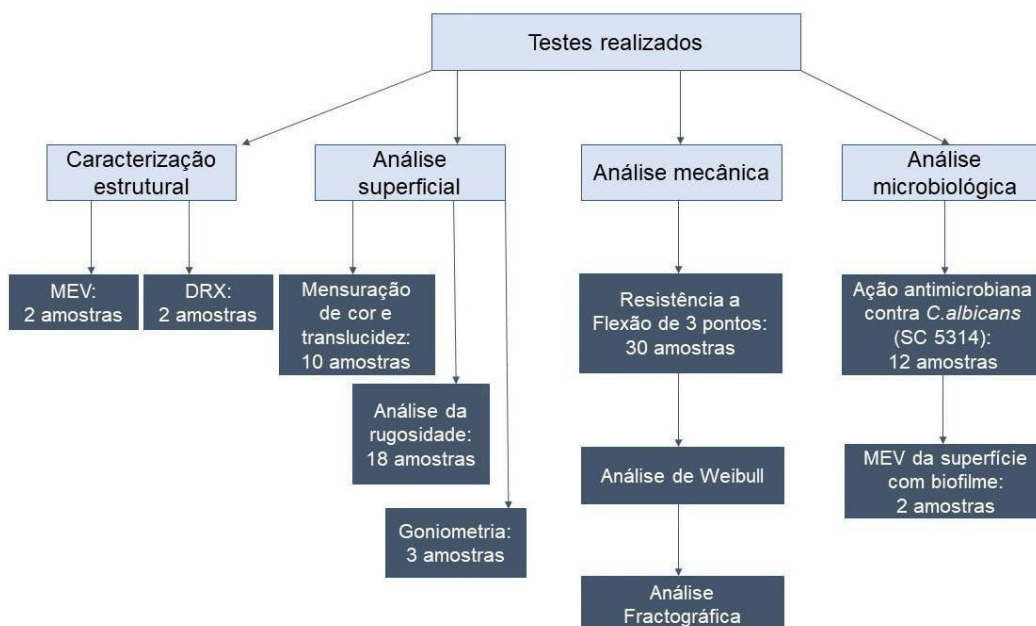
Figura 1 - Grupos experimentais



Fonte: Elaborado pelo autor.

Esses grupos foram submetidos aos seguintes testes (Figura 2):

Figura 2 - Testes realizados



Fonte: Elaborado pelo autor.

4.2 Nanopartículas de TiO_2 , ZnO e Al_3O_2

As nanopartículas de TiO_2 e ZnO utilizadas foram da marca comercial Sigma – Aldrich (Missouri, EUA), no tamanho de 50 nm. A nanopartícula de Al_3O_2 utilizada foi da marca Alcoa (Pensilvânia, EUA) também com tamanho de 100nm, sendo que essa nanopartícula foi utilizada no presente estudo por conta de seu tamanho e rugosidade serem similares aos demais grupos com nanopartícula. Desta forma esta serviu de comparação com os resultados antimicrobianos, removendo a variável de rugosidade. (Figura 3)

Figura 3 - A - óxido de zinco (ZnO), B - óxido de alumínio (Al_2O_3) e C - dióxido de titânio (TiO_2)



Fonte: Elaborado pelo autor.

4.3 Caracterização microestrutural das nanopartículas

As nanopartículas de TiO_2 , ZnO e Al_3O_2 foram caracterizadas com o objetivo de se verificar o tamanho, a fase cristalina e a morfologia das nanopartículas. Foram utilizados os seguintes métodos:

- **Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV):**

A análise em MEV foi realizada para que pudesse ser compreendida a distribuição e preenchimento da nanopartícula na superfície do material.

As imagens das amostras foram obtidas por MEV (Vega3, Tescan, Brno, República Tcheca), com 30 kV. Os pós de TiO_2 , ZnO e Al_2O_3 adquiridos foram depositados em fita condutora de carbono. A caracterização foi realizada em um MEV- EDS, na Divisão de Engenharia Mecânica e Aeronáutica do Instituto Tecnológico de Aeronáutica (ITA).

- **Difratometria de Raios X (DRX):**

A análise de DRX foi realizada com o propósito de visualizar a fase cristalina das nanopartículas, através da difração das moléculas.

Foi realizada utilizando-se um equipamento Philips X'Pert da PANalytical, equipado com radiação $\text{CuK}\alpha$, operando à 45 kV e 40 mA, no intervalo de $10^\circ \leq 2\theta \leq 90^\circ$, $\Delta\theta = 0,02^\circ$ e tempo de 30 s por $\Delta\theta$. Essa análise foi realizada no Laboratório de Caracterização de Materiais (LabMat) do Instituto Tecnológico de Aeronáutica (ITA). (Figura 4)

Figura 4 - Máquina Philips X'Pert da PANalytical realizando a análise de DRX



Fonte: Elaborado pelo autor.

4.4 Preparação das amostras de RAAT

Para a aplicação dos nanocompósitos sobre a superfície da resina acrílica termoativada (RAAT) primeiramente foram confeccionadas 76 amostras cilíndricas de 10 x 2 mm (diâmetro e espessura) de resina acrílica, que foram utilizadas para o teste antimicrobiano, análise de DRX, MEV, goniometria, mensuração de cor, translucidez e rugosidade.

Já para o teste de resistência a flexão foram confeccionadas 30 amostras no formato de barras de 30 x 10 x 3 mm. Tanto os padrões em disco como em forma de barra foram confeccionados e incluídos em mufla plástica, gesso e uma muralha de material de moldagem a base de silicone de laboratório (Rodorsil – VWL, Prolabor).

O gesso tipo II foi espatulado manualmente em gral de borracha, seguindo as proporções de 100ml de água para 50g de pó, e foi levado em um vibrador de gesso,

para eliminação de bolhas de ar, tendo o cuidado de deixar a superfície do gesso lisa. A seguir, os padrões metálicos foram posicionados de maneira equidistante e paralelos entre si.

Após a presa final do gesso, foi confeccionada a muralha de silicone de condensação massa densa de laboratório, ao redor dos padrões. Então foi aplicada uma fina camada de isolante para gesso e resina acrílica Al-Cote (Dentsply Ind. Com. Ltda) e o gesso foi acrescentado novamente a fim de preencher por completo a mufla.(Figura 5)

Após uma hora da fase final de inclusão foi realizada a abertura das partes da mufla e foi feita a remoção por completo dos padrões metálicos. Para o procedimento de prensagem foram manipuladas duas porções de resina acrílica termicamente ativada incolor (VipiCril Dental Vipi Ltda) na transição de sua fase fibrilar para plástica, a massa de resina foi acomodada na mufla nos espaços deixados pelos padrões. Após, foi realizada uma prensagem dessa mufla a 1,0Kgf, até a resina acrílica escoar pelas bordas da mufla, mantendo a pressão adequada ao parafusar as partes da mufla.

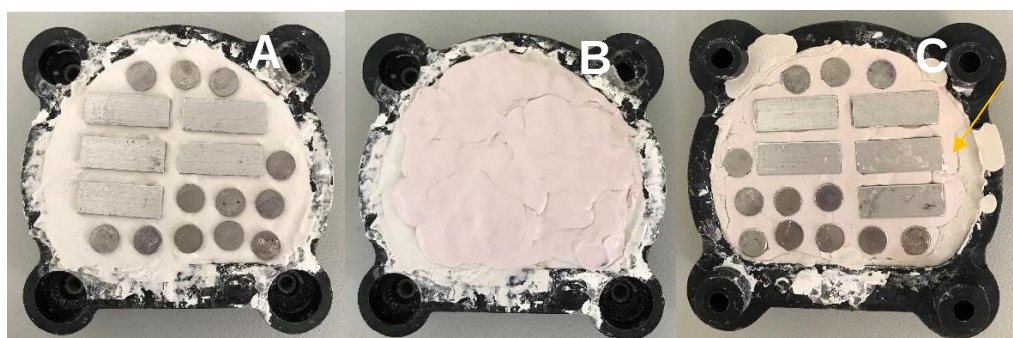
A proporção pó/líquido da resina foi de 15g e 7,5ml. Este grupo apresentava uma resina acrílica de ativação térmica (Vipi-Cril) indicada para a polimerização também no modo de micro-ondas. Quanto ao ciclo de polimerização, a mufla foi posicionada em um micro-ondas de 800W (Continental, AW-30), então foi realizado um ciclo de 20 min com 20% da potência e depois mais 5 min com 60% de potência.

Antes de se proceder a abertura da mufla, esta foi mantida por cerca de duas horas à temperatura ambiente até que ocorresse o seu completo resfriamento. Após a abertura das muflas os corpos de prova obtidos foram acondicionados, em um primeiro instante, em água destilada enquanto era realizada a sessão de acabamento. Quanto ao acabamento das peças, foi utilizada uma politriz rotatória (Ecomet 250, Buehler, São José dos Campos, Brasil) sob refrigeração constante à água sendo o desgaste dos corpos de prova realizado por lixas d'água de óxido de alumínio Norton (Norton), de gramaturas decrescentes (180, 320).

O glaze selecionado para o estudo foi o Palaseal (Heraeus Kulzer-Jelenko) a base de metilmetacrilato, por apresentar baixa viscosidade, facilitando a realização de duas aplicações na superfície da amostra. O glaze foi aplicado com ou sem a incorporação de nanopartículas e então posteriormente fotopolimerizado. Para o

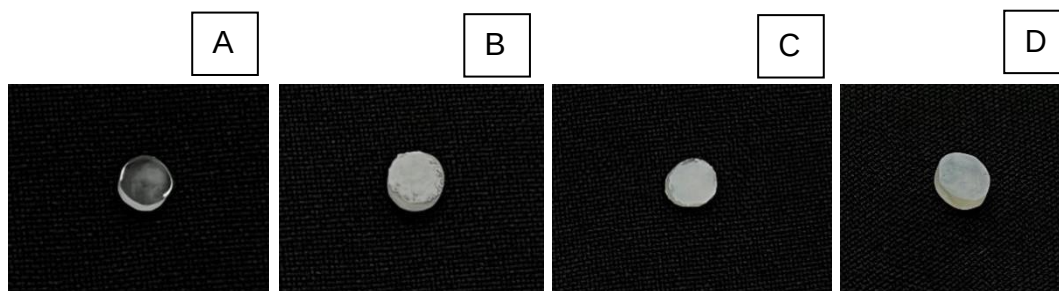
grupo controle o glaze foi aplicado sobre o espécime conforme determinado pelo fabricante e por uso de um microbrush em duas camadas subsequentes e a seguir foram fotopolimerizados com uso do fotopolimerizador com 1000mW/cm² de potência, durante 20 segundos em cada lado da amostra (VALO Grand, Ultradent Products). (Figura 6)

Figura 5 - Confeção das amostras



Legenda: A – Padrões metálicos posicionados na mufla com gesso. Observa-se padrões em forma de barra para a realização de teste de resistência a flexão e padrões em forma de disco para os testes microbiológicos e de caracterização. B – Padrões já recobertos pelo silicone de condensação, massa densa. C – Mufla pronta para remoção dos padrões metálicos e inclusão da resina acrílica. A seta representa o limite entre o silicone e o gesso.
Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 6 - Amostras finalizadas



Legenda: A - grupo G (Glaze – controle), B - grupo AlG (óxido de alumina), C - grupo ZnG (óxido de zinco) e a D- grupo TiG (dióxido de titânio).
Fonte: Elaborado pelo autor.

4.5 Adição dos nanocompósitos ao glaze

As nanopartículas de TiO_2 , ZnO e Al_3O_2 foram incorporadas ao glaze Palaseal (Heraeus Kulzer-Jelenko), através da técnica de pulverização de partículas. A variação na metodologia de incorporação das nanopartículas ao glaze se deu pelo fato de que em trabalhos anteriores foram determinados estes compósitos através da incorporação da nanopartícula misturada ao glaze, o que dificultou a liberação dos íons da nanopartícula para o meio bucal, diminuindo a atividade antimicrobiana. (Rocha Regis, 2009; Rossi et al., 2022) Neste trabalho foi realizada pulverização das nanopartículas através de uma peneira, para que estas ficassem parcialmente expostas, visando facilitar a liberação e a ação da atividade antimicrobiana. (Figura 5) Para os grupos adição de nanopartículas, o glaze foi aplicado sobre o espécime conforme determinado pelo fabricante e por uso de um microbrush em duas camadas subsequentes. A seguir foi realizada a pulverização com uma peneira com granulometria de $75\mu\text{m}$, malha de 200TY, a uma distância de 10 mm da superfície da amostra e direção em 90 graus com esta superfície.

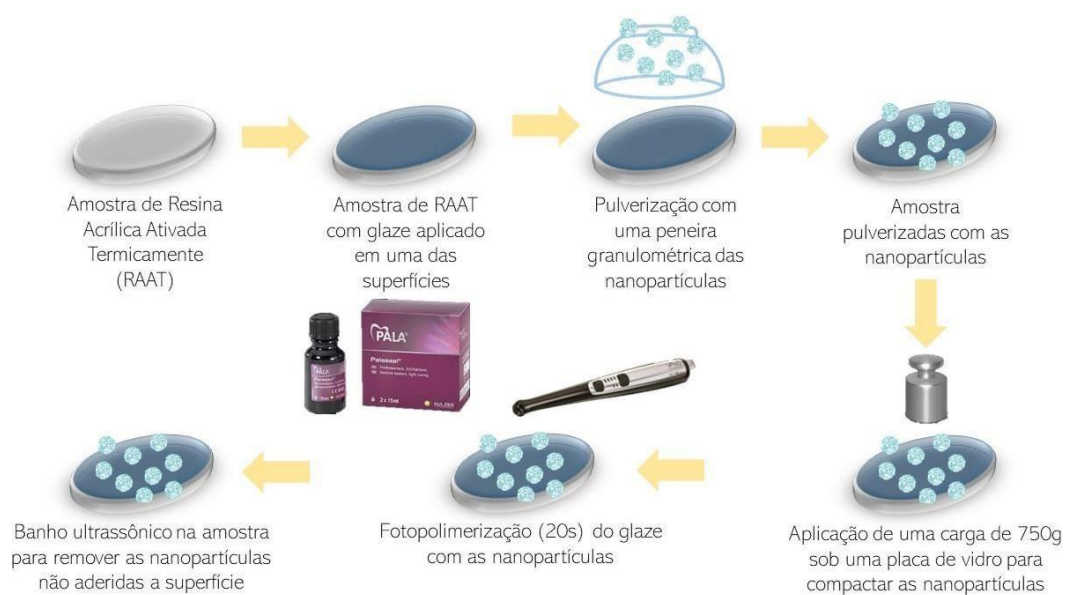
As nanopartículas foram pressionadas na superfície da resina com uma placa de vidro e uma força constante de 750g. Essa aplicação foi realizada duas vezes, para que toda a superfície da amostra fosse recoberta pelas nanopartículas. Então o conjunto nanopartículas e glaze foram fotopolimerizados com uso do fotopolimerizador com $1000\text{mW}/\text{cm}^2$ de potência, durante 20 segundos em cada lado da amostra (VALO Grand, Ultradent Products). (Figuras 7 e 8)

Figura 7 - Amostra fotopolimerizada após a aplicação do glaze e da pulverização da nanopartícula



Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 8 - Esquema da confecção dos espécimes



Fonte: Elaborado pelo autor.

4.6 Mensuração de Cor e Translucidez

Para a análise da cor e translucidez foi utilizado o espécime com 2mm de espessura (n=20), semelhante a espessura de uma prótese, um espectrofotômetro colorimétrico KONICA MINOLTA (CM 2600) e sistema de mensuração de propriedades ópticas de acordo com a CIE-Lab (Comissão Internacional de Iluminação, L^* , a^* , b^*), que coordena a leitura através de um iluminador de 2 graus e uma fonte de luz padrão D65.

Antes da mensuração de cada espécime, foi realizada a calibração do espectrofotômetro colorimétrico conforme as recomendações do fabricante. As diferenças de cor foram definidas como as diferenças das coordenadas de cor entre a amostra, o fundo preto e o fundo branco e são conhecidas como Deltas (Δ). Os Deltas para L^* (ΔL), a^* (Δa) e b^* (Δb) podem ser negativas (-) ou positivas (+). A diferença de cor é calculada matematicamente e denominada pela expressão ΔE^* . Para determinar a diferença total de cor entre as três coordenadas foi utilizada equação (Eq. 1):

$$\Delta E^* = [\Delta L^{*2} + \Delta a^{*2} + \Delta b^{*2}]^{\frac{1}{2}} \quad \text{Eq. 1}$$

Os parâmetros “ L^* ”, “ a^* ” e “ b^* ” correspondem respectivamente a lightness, redness e greeness (modelo CIE, Commission Internationale de l’Eclairage), com anteparos preto ($L^* = 1,8$, $a^* = 1,3$, $b^* = -1,5$) e branco ($L^* = 95,7$, $a^* = -1,3$, $b^* = 2,6$) (Kaizer et al., 2017).

A determinação da alteração de translucidez (T_p , parâmetro de translucência), que é a diferença de cor entre a leitura sobre o fundo branco e o fundo preto foi calculada pela fórmula abaixo (Eq. 2):

$$T_p = [(L_p^* - L_b^*)^2 + (a_p^* - a_b^*)^2 + (b_p^* - b_b^*)^2]^{\frac{1}{2}} \quad \text{Eq. 2}$$

As letras subscritas “p” referem-se às coordenadas de cor sobre o fundo preto e as letras subscritas “b” referem-se ao fundo branco. Quanto maior o valor de T_p , maior é a translucidez.

As coordenadas de cor dos fundos foram: branco (L:84.95; a:-0.38; b:2.93) e preto: (L:25.58; a:-0.15; b:-0.24).

O teste foi realizado com a superfície tratada da amostra voltada para o lado oposto ao da luz, tendo em vista que esta face clinicamente estará em contato com a mucosa oral, ou seja, na parte interior da prótese total. Desta forma a análise de cor foi determinado a partir do lado externo, polido e liso da resina acrílica.

4.7 Análise de Rugosidade

Para análise da rugosidade foi utilizado o rugosímetro (Surftest SJ 400, Mitutoyo, Tóquio, Japão). Na superfície de trabalho de cada amostra foi analisada a rugosidade de superfície (n=10), nos parâmetros R_a (rugosidade média absoluta das alturas das irregularidades ao longo do perfil; parâmetro de altura) e R_z (profundidade da rugosidade média).

Os espécimes foram individualmente identificados e na superfície de cada amostra foram realizadas três leituras paralelas de 3 mm e equidistantes, com velocidade de varredura de 0,2 mm/s, com filtro Gaussian e o valor cut-off de 0,8 mm(ISO 4287-19970).

4.8 Goniometria

Em todos os nanocompósitos foi realizado o ensaio de análise de ângulo de contato através de um goniômetro (Theta Lite model, Attension, Biolin Scientific,

Espoo, Finland), sob temperatura controlada e ligada a um computador com software One Attension. Uma gota de água destilada foi colocada sobre a superfície da amostra com uma seringa, e depois de 10 segundos, o ângulo de contato foi mensurado em graus pelo software.

Os dados foram computados através da média do ângulo de contato direito e esquerdo, sendo que quanto menor o ângulo maior a molhabilidade da superfície. (Figura 9)

O teste foi realizado 3 vezes em cada amostra.

Figura 9 - Goniômetro realizando a análise da média do ângulo de contato direito e esquerdo das amostras



Fonte: Elaborado pelo autor.

4.9 Resistência a Flexão

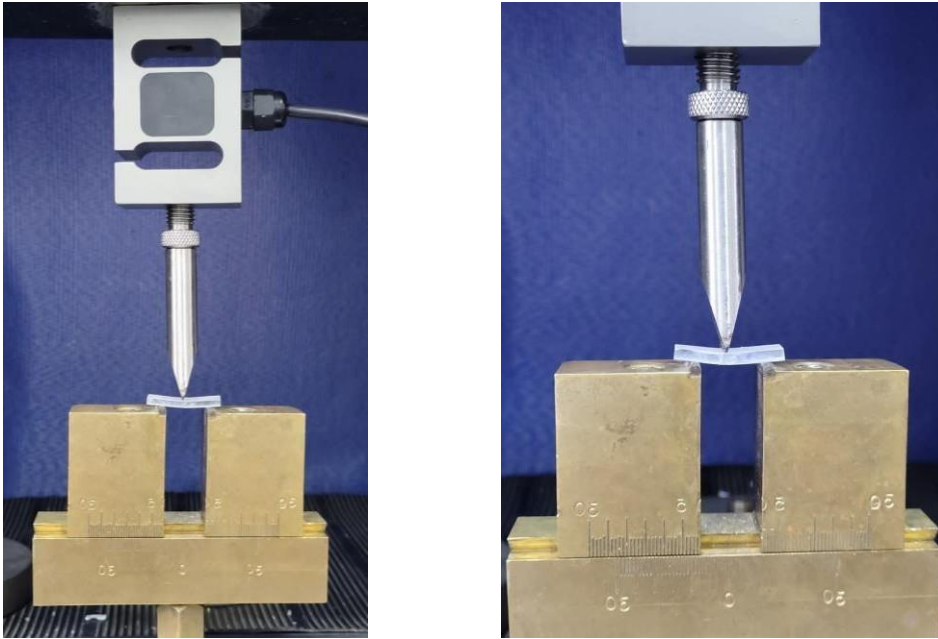
Os espécimes foram posicionados na máquina de teste universal (EMIC-DL2000; São José dos Campos, SP, Brasil) para a realização do teste de resistência a flexão de 3 pontos, em que a distância entre os suportes foi de 18 mm e 5 mm/min de velocidade foi aplicada no centro do corpo de prova com uma haste de aço arredondada na extremidade, com 1,2 mm de diâmetro, por uma carga de 100Kgf, até que ocorresse a fratura, com valores registrados em N, que foi convertido em Mpa para se obtenha a resistência a flexão. (Figura 10)

A resistência a flexão foi calculada de acordo com a seguinte fórmula:

$$S = \frac{3FD}{2LH^2}$$

Sendo que S = resistência a flexão, F = carga máxima (100Kgf), D = distância dos suportes (18mm) L = largura do corpo de prova (10mm), e H = espessura do corpo de prova (3mm).

Figura 10 - Teste de resistência a flexão sendo realizado na EMIC – DL2000



Fonte: Elaborado pelo autor.

4.10 Análise de Weibull

Após os dados de flexão de 3 pontos serem computados, foi realizada a análise de Weibull, utilizando-se a distribuição de dois parâmetros (Eq. 3, Eq.4 ,Eq.5):

$$P_f = 1 - \exp \left| - \left(\frac{\sigma}{\sigma_\theta} \right)^m \right| \quad \text{Eq. 3}$$

$$\ln (1 - P_f) = - \left(\frac{\sigma}{\sigma_\theta} \right)^m \quad \text{Eq. 4}$$

$$\ln \left| \ln \left(\frac{1}{1 - P_f} \right) \right| = n \ln \sigma - n \ln \sigma_\theta \quad \text{Eq. 5}$$

Nessa distribuição, a resistência característica σ_θ é o parâmetro de localização, no qual uma grande σ desloca os dados para a direita, enquanto uma pequena σ desloca a distribuição para a esquerda. Este parâmetro corresponde à resistência onde a probabilidade de falha (P_f) corresponde a 63,2%. O módulo de

Weibull (m), corresponde à forma do gráfico da distribuição. Quanto mais contida a distribuição (menor a inclinação da reta), menor a dispersão dos dados e maior o módulo, fazendo com que o material seja mais confiável.

As diferenças estatísticas significantes entre as resistências características foram determinadas pela sobreposição dos intervalos de confiança de 95%.

4.11 Análise Fractográfica

Após os testes de resistência à flexão de 3 pontos, duas amostras fraturadas de cada grupo foram analisadas em secção transversal sob microscópio eletrônico de varredura (Sem, Tescan Vega 3 model, FR) localizado no ITA (Instituto Tecnológico da Aeronáutica), em São José do Campos, SP. As superfícies fraturadas foram metalizadas com uma camada de ouro em uma metalizadora (Quorum, Q150R ES), para a análise por fractografia. Para obtenção das imagens foi utilizada uma tensão de 10 kV no microscópio.

4.12 Avaliação da atividade antibiofilme sobre *Candida albicans*

Previamente ao ensaio de formação de biofilme, os nanocompósitos foram esterilizados por exposição à radiação ultravioleta por 10 minutos em cada face.

Para realização dos ensaios, foi utilizada a cepa padrão *Candida albicans* SC 5314, a qual foi semeada em ágar Sabouraud dextrose e incubada por 24 horas a 37 °C, em aerobiose. Após este período, foi obtida suspensão padronizada contendo 10^6 células/ml em solução fisiológica estéril (NaCl 0,9%, pH 7,0), com auxílio de um espectrofotômetro (λ : 550; DO: 0,380). As amostras foram transferidas para poços de placas de poliestireno de 24 poços. Em seguida, alíquotas de 20 μ L do inóculo fúngico

e 200 µL de caldo RPMI + 2% de glicose foram adicionados a cada poço. As placas foram incubadas por 90 minutos a 37 °C em aerobiose sobre agitação (80 r.p.m.) para a aderência das células fúngicas aos espécimes.

Após o período de pré-aderência de 90 minutos, as amostras foram lavadas com solução fisiológica estéril para remoção de células não aderentes. Em seguida, foi adicionado meio de cultura e incubado a 37 °C por 24 h. Após este período, os espécimes foram transferidos para tubos contendo 1 mL de solução fisiológica. Para a dispersão do biofilme, os tubos foram agitados por 60 segundos em vórtex e depois sonicados (2 pulsos de 30 segundos com vinte segundos de intervalo, amplitude 40, 15 W no gelo). A suspensão resultante foi diluída em série (até 10^{-3}) e semeada em ágar Sabouraud dextrose. As placas foram incubadas por 24 horas a 37 °C, em aerobiose. A seguir, a contagem do número de células viáveis dos biofilmes foi realizada. Os valores de UFC/espécime foram calculados e comparados estatisticamente entre os grupos testes e controle de crescimento.

Foram preparados 2 espécimes de cada grupo nas condições descritas acima para análise em microscopia eletrônica de varredura. Os biofilmes foram submetidos ao processo de fixação por glutaraldeído 2,5 % durante 24 horas. Após enxague em solução fisiológica, foi realizada a desidratação em diferentes concentrações de álcool (30 %, 50 %, 70 %, 80 %, 90 % durante 10 minutos e 100 % durante 20 minutos). A seguir, os biofilmes foram secos em estufa a 37°C por 24 horas. Os biofilmes foram metalizados (EMITECH SC7620, Sputter Coater) e observados em Microscópio Eletrônica de Varredura (MEV), sendo as imagens capturadas e registradas.

4.13 Análise Microscópica do biofilme na superfície da amostra

A superfície com nanopartículas foi qualitativamente acessada pelo MEV (Microscópio Eletrônico de Varredura, Vega3, Tescan, Brno, República Tcheca), na Divisão de Engenharia Mecânica e Aeronáutica do Instituto Tecnológico de Aeronáutica (ITA). As gamas de laser foram definidas de acordo com a substância a ser analisada e, avaliadas de modo equidistante, os campos de uma mesma amostra

a fim de verificar se a penetração dos agentes fotossensíveis estava homogênea. (Zago et al., 2020)

4.14 Análise Estatística

Foram compilados os dados integrais e definidas as médias e o desvio padrão para cada análise desenvolvida. Para determinar o nível de significância das análises de goniometria, resistência a flexão, mensuração de cor e translucidez e análise da ação antimicrobiana, foi realizado o teste paramétrico, teste ANOVA um – fator (nanopartícula) e, sempre que indicado, o teste de Tukey com nível de significância de 0,05.

5 RESULTADOS

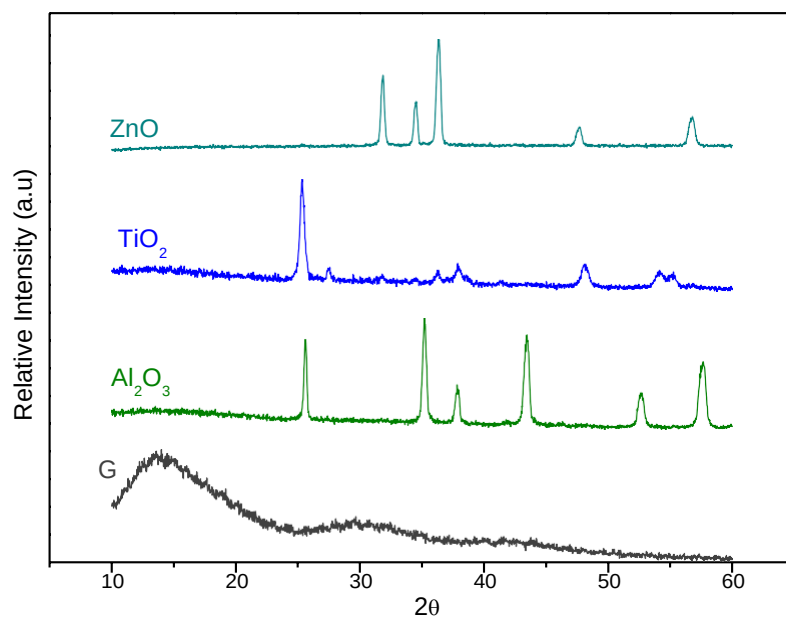
5.1 Difratometria de Raios X (DRX)

A análise foi realizada a fim de confirmar a composição e caracterização das nanopartículas de óxido de zinco (ZnO), dióxido de titânio (TiO_2) e óxido de alumínio (Al_2O_3). Além de analisar a superfície de glaze na resina acrílica ativada termicamente (G).

Sendo possível perceber os picos característicos de cada óxido e do material polimérico, que determinam as fases cristalinas presentes em cada material. (Figura 11)

Figura 11 - Representa a composição de cada grupo através de uma análise por DRX.

G – glaze, Al_2O_3 – óxido de alumínio, TiO_2 – dióxido de titânio, ZnO – óxido de zinco

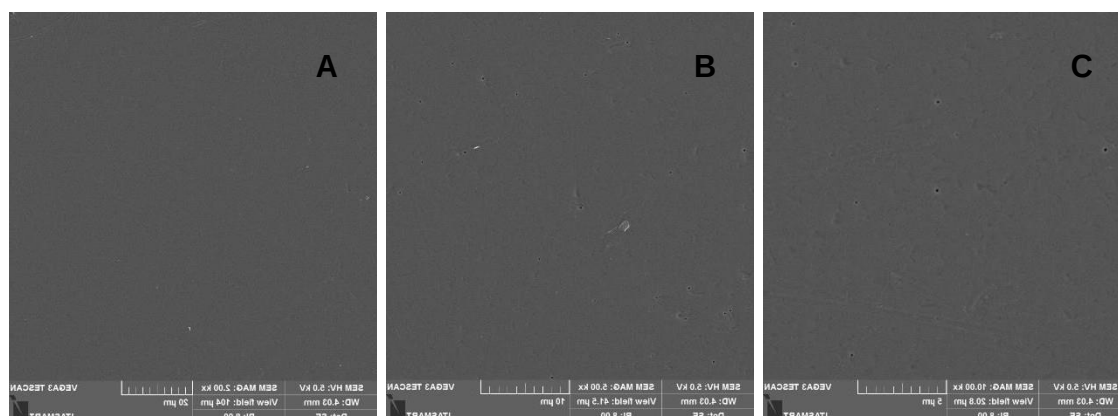


Fonte: Elaborado pelo autor.

5.2 Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV)

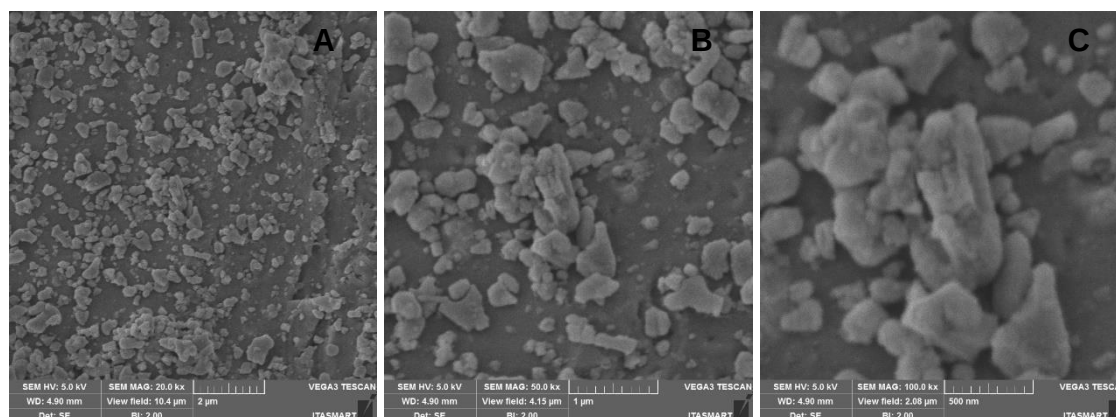
A análise microscópica mostrou os diferentes aspectos superficiais que variaram conforme o tratamento de superfície. O grupo que possui apenas a presença glaze (G) na superfície se apresentou de forma menos rugosa com um aspecto mais homogêneo. O grupo de óxido de alumínio (AlG) apresentou um aspecto mais rugoso com maior profundidade entre as nanopartículas (100nm). O grupo de óxido de zinco (ZnG) apresentou uma superfície com nanopartículas (50nm), bem distribuídas e menos volumosas. Já o grupo de dióxido de titânio (TiG) apresentou também uma superfície bem recoberta pelas nanopartículas (50nm), de forma homogênea. (Figura 12 - 15)

Figura 12 - As imagens são referentes a Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) do grupo Glaze (Controle)



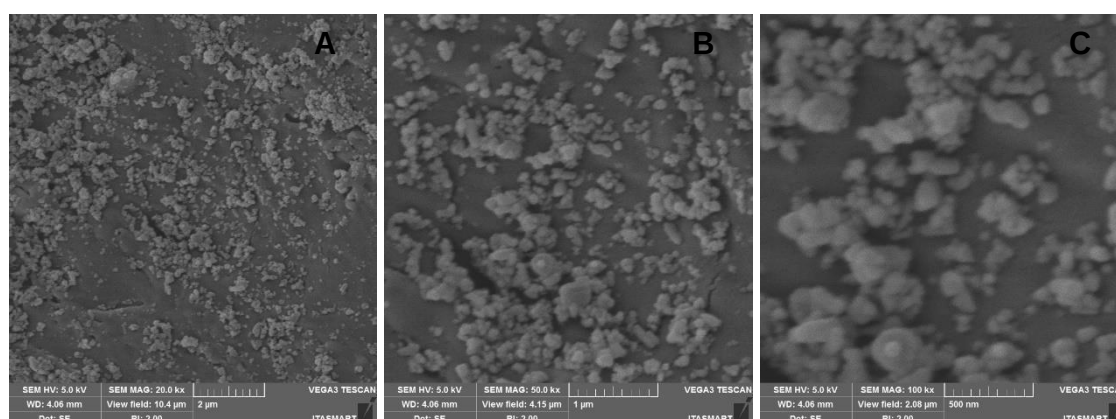
Legenda: As figuras possuem um aumento de: A - 2k, B - 5k e C - 10k.
 Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 13 - As imagens são referentes a Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) do grupo AlG – óxido de alumina



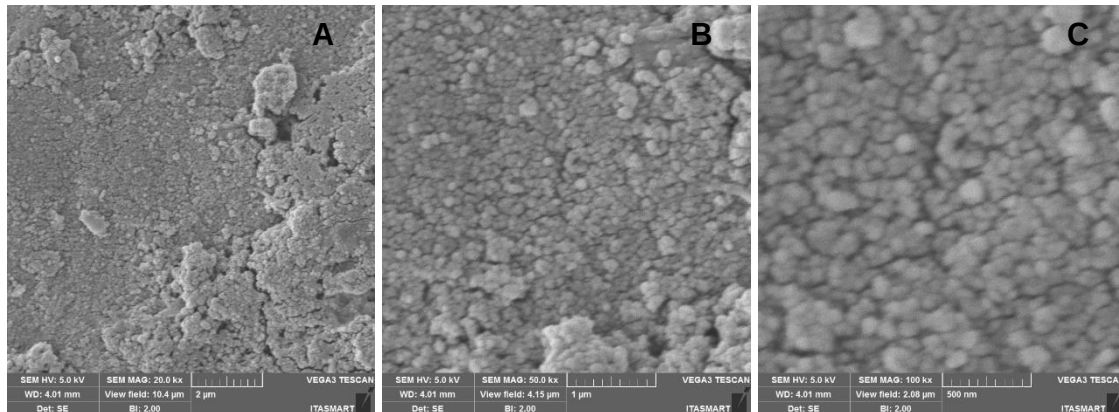
Legenda: As figuras possuem um aumento de: A – 20k, B - 50k e C - 100k.
Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 14 - As imagens são referentes a Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) do grupo ZnG – óxido de zinco



Legenda: As figuras possuem um aumento de: A – 20k, B - 50k e C - 100k.
Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 15 - As imagens são referentes a Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) do grupo TiG – dióxido de titânio



Legenda: As figuras possuem um aumento de: A – 20k, B - 50k e C - 100k.
Fonte: Elaborado pelo autor.

5.3 Resistência a Flexão

O resultado do teste de resistência a flexão de 3 pontos não mostrou diferença estatística significativa entre os diversos grupos, por ANOVA um – fator ($p=0,221$).

Vale ressaltar que o teste foi realizado com a superfície tratada voltada para o lado oposto a aplicação da carga, o que se assemelha a condição clínica, tendo em vista que o tratamento de superfície seria realizado na porção interna (em contato com a mucosa) da prótese total, ou seja, no seu lado de tração. (Tabela 1)

Tabela 1 - Média e desvio padrão para análise da resistência

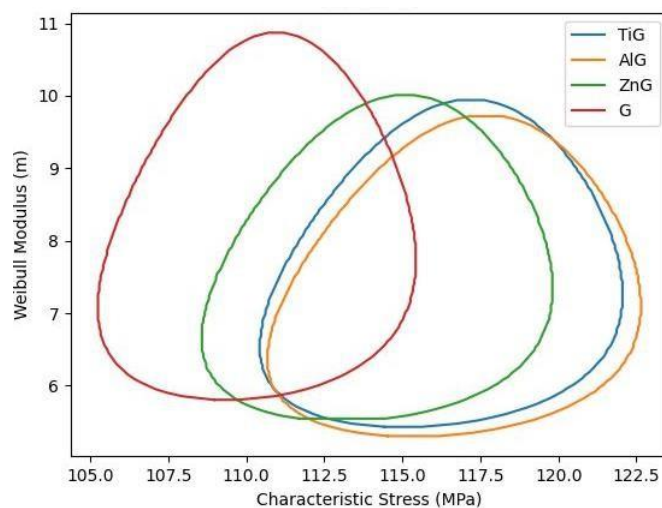
Grupos	N	Média ± Desvio Padrão
G	30	108,54 ± 8,36
AlG	30	113,60 ± 11,95
ZnG	30	111,98 ± 9,27
TiG	30	113,66 ± 10,41

Legenda: Os valores foram dados em MPa.

Fonte: Elaborado pelo autor.

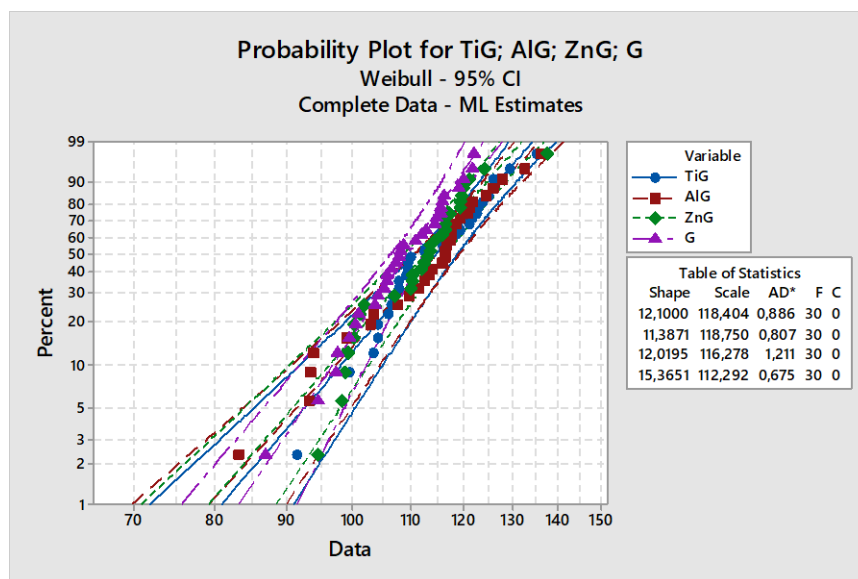
No Módulo de Weibull as linhas que se sobrepõem representam uma semelhança entre os grupos. Desta forma, como pode ser observado na Tabela 1 os grupos G (controle), AlG (óxido de alumina), ZnG (óxido de zinco) e TiG (dióxido de titânio) apresentam semelhança de resistência entre si. (Figura 16 e 17)

Figura 16 - Módulo de Weibull realizado a partir do teste de resistência a flexão



Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 17 - Representa a análise de Weibull, com semelhança no resultado entre os grupos G, AlG, ZnG e TiG



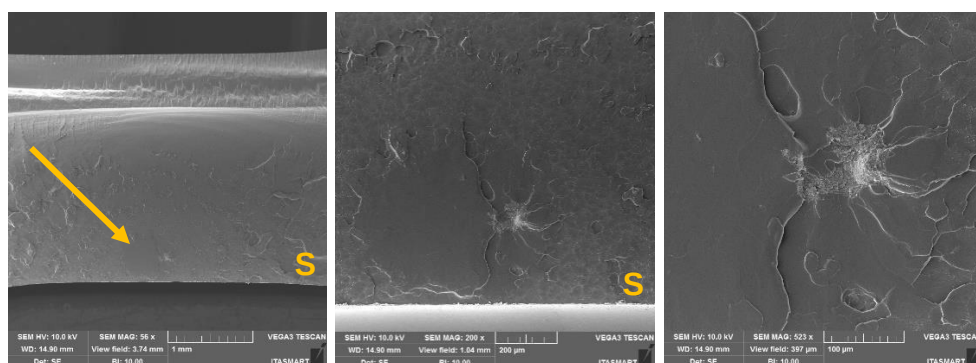
Fonte: Elaborado pelo autor.

5.4 Análise Fractográfica

Através da análise fractográfica foi possível constatar que todos os grupos apresentaram falhas internas do material, devido a presença de bolhas e contaminações no interior do material polimérico. Com isso, percebeu-se que o tratamento superficial não provocou alteração na forma de fratura e na resistência do material.

A magnitude dos aumentos foi determinada para que fosse possível uma visualização geral do corte transversal das amostras, da superfície tratada e da origem da fratura. (Figuras 18 - 21)

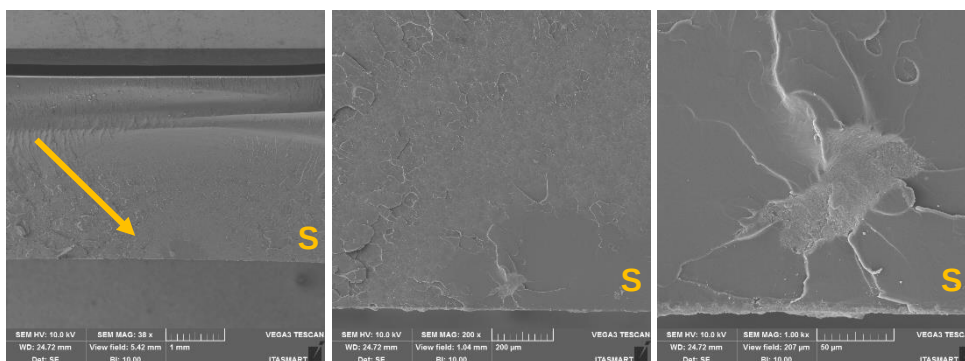
Figura 18 - Fractografia do teste de resistência a flexão do grupo Glaze (G)



Legenda: A seta amarela indica a origem da fratura do material polimérico e o S representa a superfície tratada.

Fonte: Elaborado pelo autor.

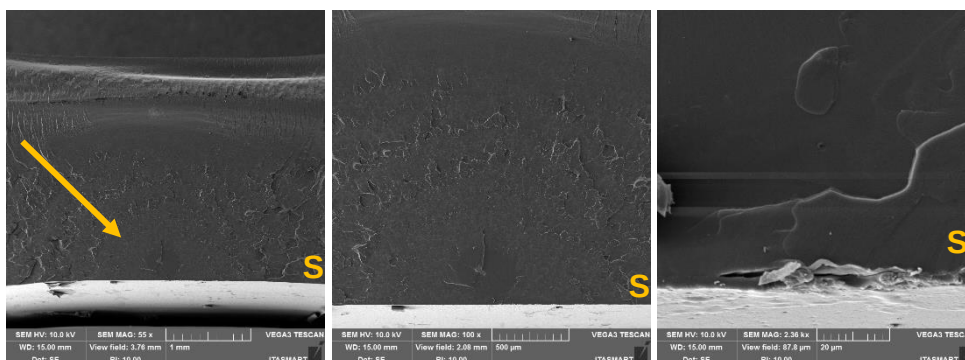
Figura 19 - Fractografia do teste de resistência a flexão do grupo óxido de alumina (AlG)



Legenda: A seta amarela indica a origem da fratura do material polimérico e o S representa a superfície tratada.

Fonte: Elaborado pelo autor.

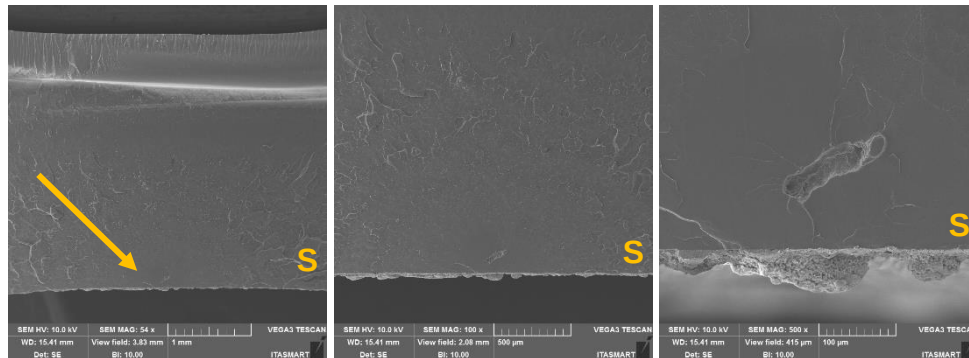
Figura 20 - Fractografia do teste de resistência a flexão do grupo de óxido de zinco (ZnG)



Legenda: A seta amarela indica a origem da fratura do material polimérico e o S representa a superfície tratada.

Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 21 - Fractografia do teste de resistência a flexão do grupo de dióxido de titânio (TiG)



Legenda: A seta amarela indica a origem da fratura do material polimérico e o S representa a superfície tratada.

Fonte: Elaborado pelo autor.

5.5 Análise de Rugosidade

- **Ra**

A análise de rugosidade com base no Ra representa uma rugosidade média absoluta das alturas das irregularidades ao longo do perfil, ou seja, o parâmetro de altura. Neste resultado pode ser constatada uma diferença estatística significativa entre o grupo G (controle) e os demais. Tendo em vista que a presença de nanopartículas na superfície aumenta a rugosidade superficial no material. (Tabela 2)

Tabela 2 - Mensuração da rugosidade (Ra) foi realizada entre os grupos através do ANOVA – um fator e teste de Tukey com 5% de significância

Grupos	N	Média (µm)	Grouping
G	18	0,2652	A
AlG	18	3,957	B
ZnG	18	3,105	B
TiG	18	3,808	B

Legenda: Letras maiúsculas diferentes mostram diferença estatística significativa entre grupos ($p < 0,0001$).
Fonte: Elaborado pelo autor.

- **Rz**

Já no tocante ao Rz que analisa a rugosidade com relação a profundidade da rugosidade média, ou seja, o parâmetro de altura, o resultado também mostrou que houve uma diferença estatística significativa dos grupos AlG (óxido de alumina), ZnG (óxido de zinco) e TiG (dióxido de titânio) com o G (Controle). (Tabela 3)

Tabela 3 - Mensuração da rugosidade (Rz) foi realizada entre os grupos através do ANOVA – um fator e teste de Tukey com 5% de significância

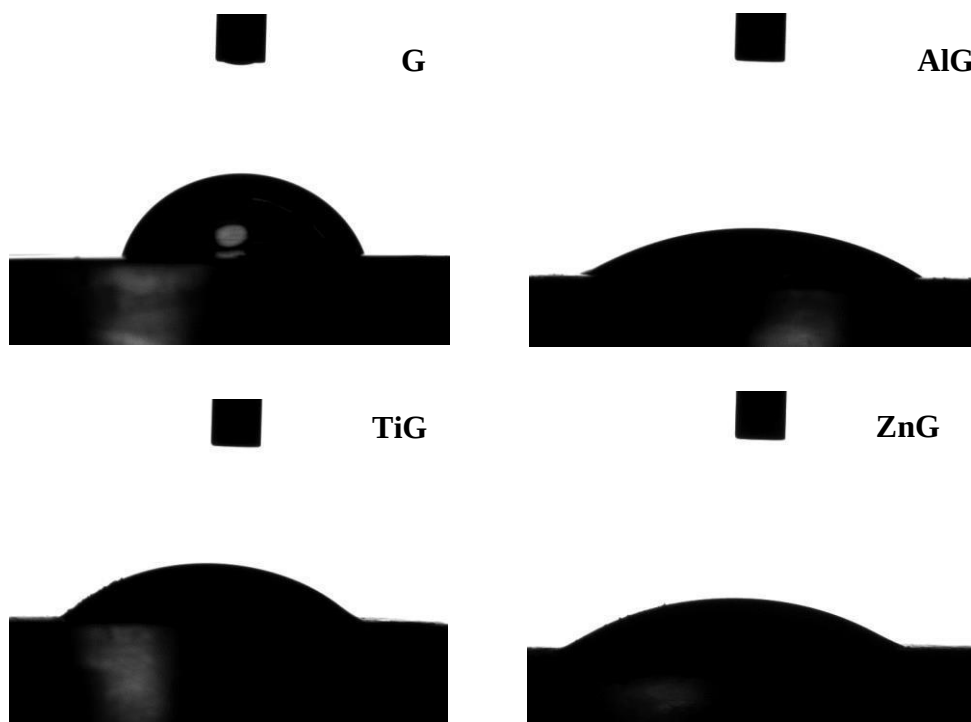
Grupos	N	Média (µm)	Grouping
G	18	1,354	A
AlG	18	21,73	B
ZnG	18	18,44	B
TiG	18	21,50	B

Legenda: Letras maiúsculas diferentes mostram uma diferença estatística significativa ($p < 0,0001$).
Fonte: Elaborado pelo autor.

5.6 Goniometria

O teste de goniometria permitiu analisar a capacidade de molhamento de uma gota de água nas diferentes superfícies. Com este teste foi possível constatar um aumento no molhamento das superfícies tratadas com óxido de zinco (ZnG), dióxido de titânio (TiG) e o óxido de alumínio (AlG), tendo em vista que houve uma diminuição do ângulo de contato entre a gota e a superfície. Este aspecto pode ser observado na Figura 18.

Figura 18 - Teste de Goniometria com uma gota de água na superfície tratada do material polimérico



Fonte: Elaborado pelo autor.

O teste de goniometria foi realizado através do cálculo da média entre o ângulo mensurado do lado esquerdo e direito da gota. Sendo que quanto menor o ângulo de contato maior será o molhamento da superfície. Então com base nas análises estatísticas realizadas de ANOVA – um fator e teste de Tukey pôde ser constatado que houve diferença estatística significativa entre o grupo Glaze (controle) e os demais. Sendo que o Glaze apresentou menor molhamento do que quando comparado aos demais grupos. (Tabela 4)

Tabela 4 - Representa o resultado de Goniometria dos grupos. Letras distintas representam uma diferença estatística significativa. A análise estatística realizada foi o ANOVA – um fator e teste de Tukey com 5% de significância ($P=0,001$)

Grupos	N	Média ± Desvio Padrão
G	3	75,53 ± 5,13 A
AlG	3	38,13 ± 11,87 B
ZnG	3	36,60 ± 4,66 B
TiG	3	37,10 ± 7,88 B

Fonte: Elaborado pelo autor.

5.7 Mensuração de Cor

A análise da mensuração de cor foi realizada tendo como contato direto a superfície não tratada. Tendo em vista que a superfície tratada estará em contato com a mucosa, então a observação foi realizada a partir da superfície lisa e polida da resina acrílica ativada termicamente. Observou-se diferença estatística significativa dos grupos tratados quando comparados ao grupo controle. Sendo que os grupos tratados apresentaram semelhança estatística entre si, como visto na tabela a seguir. (Tabela 5)

Tabela 5 - Análise de mensuração de cor realizada através do ANOVA – um fator com 5% de significância ($P=0,539$)

Grupos	N	Média ± Desvio Padrão
AlG	10	7,348 ± 3,573
ZnG	10	8,028 ± 4,112
TiG	10	9,189 ± 3,387

Fonte: Elaborado pelo autor.

5.8 Mensuração de Translucidez

A análise da mensuração de translucidez foi realizada através da diferença entre a análise no fundo branco e no fundo preto. Desta forma, foi observada diferença estatística significativa dos grupos tratados quando comparado ao grupo controle (G). Sendo que os grupos AlG (óxido de alumina) e ZnG (óxido de zinco) apresentaram semelhança estatística. Já o grupo TiG (dióxido de titânio) possuiu diferença estatística significativa quando comparado aos demais grupos. (Tabela 6)

Tabela 6 - Análise de mensuração de translucidez realizada através do ANOVA – um fator e teste de Tukey com 5% de significância ($P < 0,001$)

Grupos	N	Média $\pm$ Desvio Padrão
G	10	38,929 $\pm$ 4,368 A
AlG	10	20,555 $\pm$ 5,780 B
ZnG	10	21,910 $\pm$ 5,273 B
TiG	10	14,720 $\pm$ 2,817 C

Legenda: Letras distintas representam uma diferença estatística significativa

Fonte: Elaborado pelo autor.

5.9 Atividade antibiofilme de *Candida albicans*

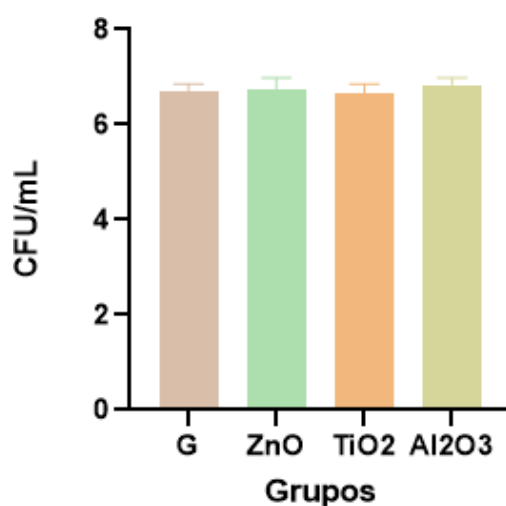
A ação antimicrobiana das amostras com nanopartículas contra o fungo *C. albicans* não apresentou diferença estatística significativa quando comparado ao grupo controle. O resultado obtido mostrou semelhante proliferação fúngica na superfície da amostra, mesmo com o aumento da rugosidade. (Tabela 7 e Gráfico 1)

Tabela 7 - Análise da atividade antifúngica sobre *C. albicans* realizada através do ANOVA – um fator e teste de Tukey com 5% de significância (P=0,218)

	N	Média $\log^{10} \pm$ Desvio Padrão
Grupos		
	12	6,711 $\log^{10} \pm 0,11$ A
G		
	12	6,827 $\log^{10} \pm 0,08$ A
AlG		
	12	6,723 $\log^{10} \pm 0,22$ A
ZnG		
	12	6,663 $\log^{10} \pm 0,18$ A
TiG		

Legenda: Letras distintas representam uma diferença estatística significante
 Fonte: Elaborado pelo autor.

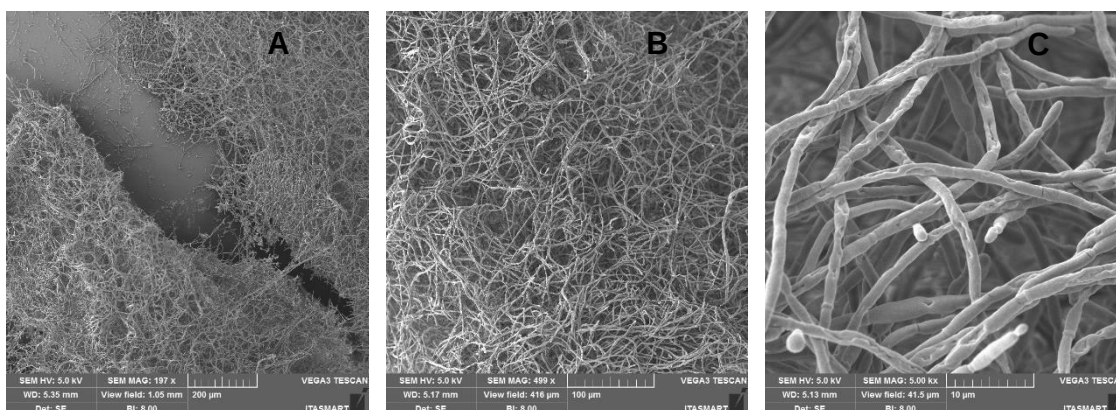
Gráfico 1 - Representa a ação antifúngica de *C. albicans*, dos grupos: G – controle (glaze); AlG – Al_2O_3 ; TiG – TiO_2 ; ZnG – ZnO



Fonte: Elaborado pelo autor.

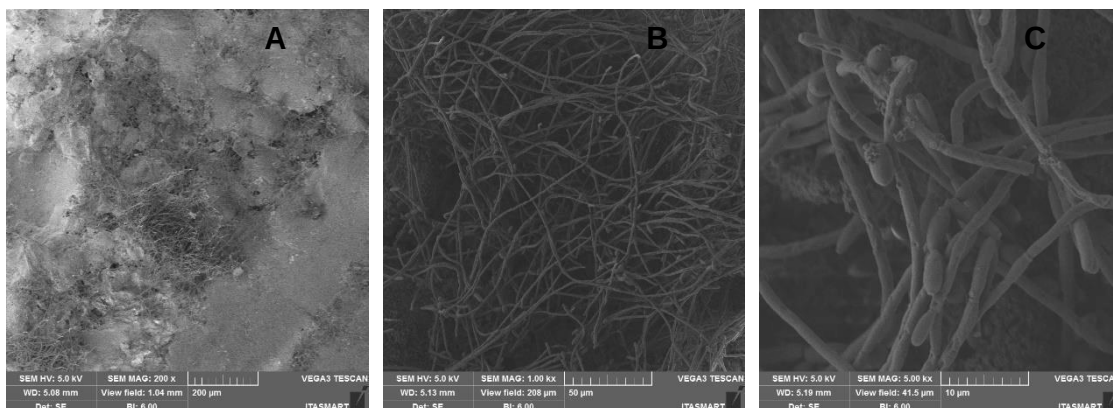
As imagens em Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) das amostras com o fungo *C. albicans* na superfície mostrou uma maior densificação, ou seja, formação de biofilme, do microorganismo no formato de hifas no grupo controle, quando comparado aos grupos tratados. Sendo que nos grupos com a aplicação de nanopartícula na superfície houve uma menor aglomeração das hifas na superfície. (Figuras 19 – 22)

Figura 19 - As imagens são referentes a Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) da amostra com o fungo *C. albicans* do grupo Glaze (Controle)



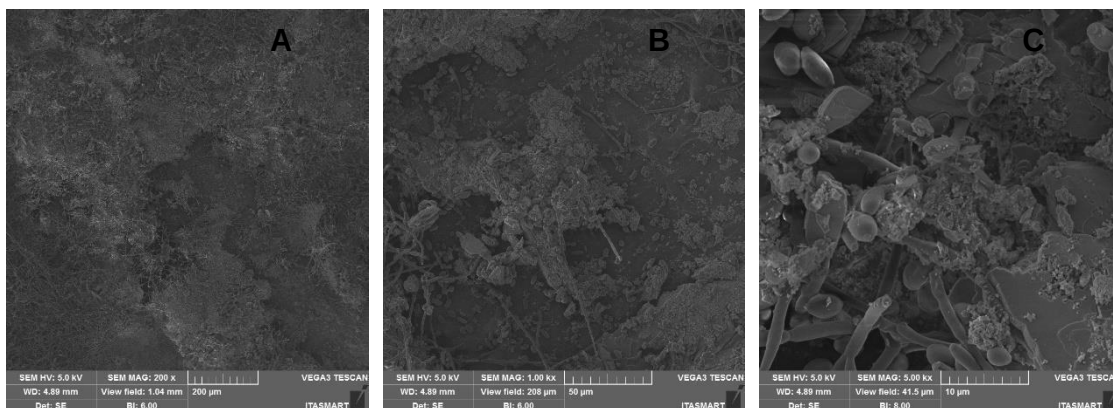
Legenda: As figuras possuem um aumento de: A - 0.2k, B - 1k, C - 5k.
Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 20 - As imagens são referentes a Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) da amostra com o fungo *C. albicans* do grupo AIG



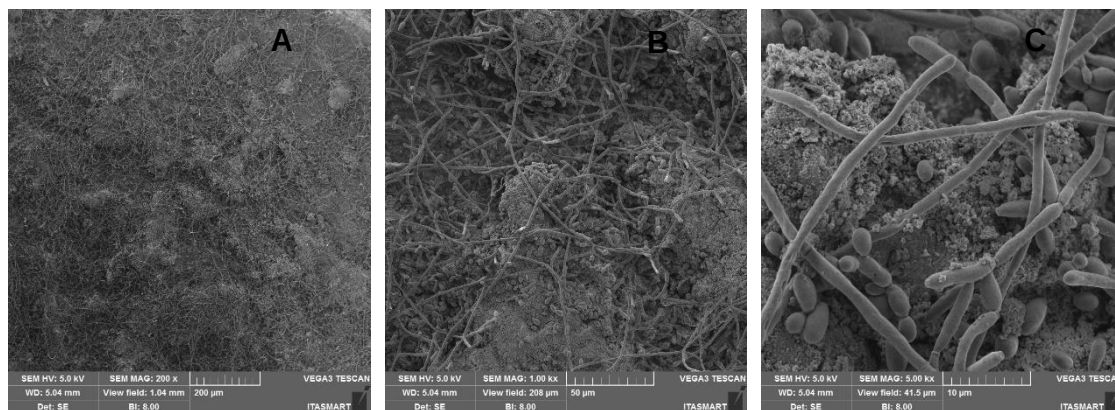
Legenda: As figuras possuem um aumento de: A - 0.2k, B - 1k, C - 5k.
Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 21: As imagens são referentes a Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) da amostra com o fungo *C. albicans* do grupo ZnG



Legenda: As figuras possuem um aumento de: A - 0.2k, B - 1k, C - 5k.
Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 22: As imagens são referentes a Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) da amostra com o fungo *C. albicans* do grupo TiG



Legenda: As figuras possuem um aumento de: A - 0.2k, B - 1k, C - 5k.
Fonte: Elaborado pelo autor.

6 DISCUSSÃO

A aplicação de tratamentos na superfície de materiais restauradores está sendo cada vez mais pesquisada com o propósito de melhorar ou aperfeiçoar propriedades já presentes nos materiais. Assim é o caso do presente estudo que buscou melhorar as propriedades das resinas acrílicas termicamente ativadas muito utilizadas na confecção de próteses totais, parciais e do tipo total fixa sobre implantes. A busca por um incremento na qualidade de superfície da RAAT foi investigada neste estudo através da aplicação de nanopartículas como o óxido de zinco (ZnO) e dióxido de titânio (TiO₂) no glaze aplicado sob a resina acrílica, com o propósito de promover: ação antimicrobiana contra *C. albicans*, maior molhamento de superfície para que ocorra um melhor selamento periférico das próteses e preservação da resistência do material.

A hipótese nula do estudo foi parcialmente confirmada, tendo em vista que houve uma ação antimicrobiana e resistência a flexão semelhantes entre o grupo controle e os grupos com tratamento de superfície. A primeira hipótese também foi parcialmente confirmada, tendo em vista que houve uma alteração nos aspectos de cor e translucidez quando comparado o grupo controle com os demais tratados.

Um dos resultados obtidos no presente estudo foi o aumento na rugosidade superficial (parâmetros de altura e profundidade), para os grupos com tratamento de superfície quando comparados com o grupo controle (G), sendo que, esse aumento na rugosidade juntamente com as características nanométricas das nanopartículas pode gerar um proporcional aumento na área de superfície e com isso um incremento na capacidade de molhamento superficial. Clinicamente um maior contato da saliva com a superfície da prótese, possibilitará uma maior estabilidade da peça protética, por conta do selamento que ocorre através da presença da saliva entre a superfície interna da prótese e a mucosa. (Darwish et al., 2019)

Berger et al. (2006) relataram que a rugosidade da porção interna de uma prótese, sem polimento, é de cerca de 4,588µm. Esse dado mostra que o valor de rugosidade encontrado para os grupos com nanopartícula na superfície, no presente estudo, estava menor do que o valor da rugosidade da porção interna de uma prótese,

que não apresenta polimento. Com isso, percebe-se que a aplicação dessas nanopartículas na porção interna da prótese não iria necessariamente aumentar a rugosidade da prótese e com isso, a sua capacidade de agregação microbiana. Entretanto, pelas características estruturais das nanopartículas, seria possível ocorrer um aumento na capacidade de molhamento superficial das próteses totais.

A aplicação do glaze também é muito utilizada sob materiais reembasadores de prótese total, que possuem a capacidade de melhorar a adaptação da prótese em boca. Entretanto, este material apresenta rugosidade e porosidade mais elevada do que da resina acrílica, tendo em vista que é um material para uso em um tempo determinado como etapa terapêutica de tratamento prévio, assim, a aplicação do glaze com a presença da nanopartícula poderia amenizar essas características do material. (Silva Júnior et al., 2019)

Além disso, a rugosidade superficial encontrada para os grupos tratados foi maior do que quando comparada ao grupo controle, com glaze, o que promove um aumento na energia de superfície e um melhor molhamento superficial que pode levar a uma maior estabilidade da prótese, o que é um fator benéfico em determinados casos clínicos com menor retenção da peça protética, por conta de uma menor altura e largura de rebordo. (Abuzar et al., 2010; Darwish et al., 2019)

Outro resultado obtido foi a diminuição da translucidez e alteração de cor dos grupos tratados com nanopartículas quando comparados ao controle, o que não interfere no sucesso do tratamento protético, tendo em vista que a aplicação clínica das nanopartículas seria na região do palato ou em áreas que não comprometem esteticamente a prótese. Desta forma, a diminuição da translucidez e alteração na cor não influenciaria esteticamente o resultado protético. Yu et al. (2009), assim como no presente estudo, analisaram a alteração de cor e translucidez do TiO_2 em compósitos de resina e perceberam que também houve uma alteração nessas propriedades.

O resultado do teste de resistência a flexão não mostrou nenhuma diferença estatística significativa, quando comparado o grupo controle com os demais, tendo em vista que a adição de nanopartículas foi realizada de forma superficial, não alterando a infraestrutura do material e está dentro dos valores analisados para RAAT (Paes Junior et al., 2006). Com isso, não ocorreu uma alteração no módulo de elasticidade e indicação mecânica do material para os casos de reabilitação com próteses totais, parciais ou sobre implantes.

Com relação a ação antifúngica das nanopartículas adicionadas ao glaze da resina acrílica utilizadas no presente estudo foi possível perceber que não houve diferença estatística significativa quando comparado o grupo controle com os demais grupos. Sendo que este resultado pode ter ocorrido por conta de uma concentração insuficiente de nanopartículas, proporcional à área de superfície da amostra, ou até mesmo pelo aumento da rugosidade superficial nos grupos tratados, quando comparado ao grupo controle apenas com a aplicação o glaze. Assim como mostrado em outros estudos, em que a atividade antifúngica contra diversas espécies de *Candida*, varia de acordo com a concentração de nanopartícula presente. Com isso, se houver um aumento na concentração das nanopartículas utilizadas no presente estudo, o resultado da inibição fúngica, possivelmente, poderá ser evidenciado. (Jalalet al., 2018; Karimiyan et al., 2015)

Além disso, é possível que tenha ocorrido uma interação entre o glaze e as nanopartículas que foram incorporadas em sua superfície, de forma que uma inibição fúngica tenha sido impedida. Sendo que esta característica não seria de total surpresa, tendo em vista que estudos prévios foram realizados com a aplicação de nanopartículas no interior no líquido de glaze, em que não houve uma ação antimicrobiana, por conta do recobrimento das nanopartículas pelo líquido, impossibilitando seu contato direto com o fungo. (Lucatto, 2017; Rossi et al., 2022; Sacorague, Paes Junior, 2016)

Além disso, já é consolidado na literatura que a superfície heterogênea e a área, são fatores importantes para determinar as propriedades antimicrobianas de uma nanopartícula como a de óxido de zinco. Sendo que este óxido pode apresentar diferentes morfologias e inibições de crescimento bacteriano. Entretanto, ainda são escassos estudos sobre a ação antimicrobiana dessa nanopartícula com espécies de fungos como a *C. albicans*. (Król et al., 2017)

Já outros estudos mostraram que a nanopartícula de óxido de zinco é um dos óxidos metálicos com melhor ação antifúngica contra a *C. albicans*, sendo que nesse estudo foi utilizada essa nanopartícula na forma de sol-gel, com o óxido de zinco na estrutura de wurtzite, com tamanho entre 20-50nm, mesmo tamanho que foi realizado no presente estudo. Desta forma, percebe-se que quanto menor for o tamanho das nanopartículas maior será sua ação antimicrobiana, por conta do aumento na área de superfície que irá interagir com o microorganismo, sendo que quando possuem

tamanho menor que 10nm podem ser encontradas dentro do fungo e não somente na parede da membrana celular. (Hosseini et al., 2018)

Com relação as imagens em Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) obtidas para as amostras que foram submetidas ao teste antimicrobiano, é possível perceber que mesmo com uma semelhança estatística entre os grupos, o grupo controle (apenas com a aplicação do glaze) apresentou na imagem uma maior densificação de *C.albicans* no estado de hifa. Já os grupos tratados apresentaram um maior espalhamento e menor aglomeração do microorganismo na superfície.

Além disso, foi feita uma análise no MEV da área e altura de nanopartículas presentes na superfície para que pudesse ser quantificada a concentração das nanopartículas na superfície. Com isso foi possível compreender que o não preenchimento por completo da superfície das amostras por nanopartículas, em amplitude micrométrica, e por consequência a concentração de nanopartícula presente, podem ter influenciado na ação antimicrobiana.

Desta forma, estudos mostram que a ação antimicrobiana das nanopartículas de óxido de zinco, com um tamanho de 8nm de diâmetro e com concentração de 1mM, promovem uma redução em 95% do crescimento bacteriano contra *Staphylococcus aureus*. Porém com uma concentração de 5mM, com tamanho de 50-70nm, apresentou uma inibição de crescimento de 50%. É possível perceber que o tamanho e concentração das nanopartículas influenciam na ação antimicrobiana, sendo que quanto maior a concentração e maior a área de superfície da nanopartícula, maior será sua ação antimicrobiana. (Król et al., 2017)

Com relação à atividade antifúngica, as nanopartículas de óxido de zinco apresentam ação contra patógenos de planta como: *Botrytis cinerea*, *Penicillium expansum*. Entretanto, não são encontrados na literatura pesquisada estudos bem consolidados que comprovem ação antifúngica desse material contra o fungo *C. albicans*. Poucos estudos mostram que a ação contra *C. albicans* ocorre de forma fraca e em concentração maior que 100mg/mL, com nanopartícula de 2 - 6µm. Todavia, sabe-se que a ação antimicrobiana ocorre de forma mais efetiva com nanopartículas com menor tamanho, sendo que a utilizada nesse estudo citado apresenta medição em micrômetros, podendo ter sido este o fator que provocou uma baixa inibição de crescimento fúngico.

Desta forma, entende-se que ao utilizar

nanopartículas em escala nanométrica, como as utilizadas no presente estudo, a ação antimicrobiana seria possivelmente maior. (Huang et al., 2008; Król et al., 2017)

Pasquet et al. (2014), sugeriram que a ação antimicrobiana das nanopartículas de zinco contra os fungos é menor do que quando comparado com as bactérias, por conta da capacidade que o fungo tem de desenvolver poros em condições desfavoráveis. Além disso, também foi percebida a capacidade fungistática do óxido de zinco de manter a população inicial e não de diminuí-la. Entretanto, Eskandari et al. (2011) mostraram uma ação fungicida desta nanopartícula contra a *C. albicans*, com a diminuição do crescimento microbiano. Desta forma, percebe-se que ainda faltam estudos mais consolidados para comprovar a ação antifúngica do ZnO contra a *C. albicans*, sendo que quanto menor forem as nanopartículas, melhor será a ação antimicrobiana. (Silva et al., 2019)

Já com relação as nanopartículas de dióxido de titânio, estudos mostram uma inibição de 35% na aderência da *C.albicans*, em sua forma de hifa. (Eskandari et al., 2011) Já outros estudos também mostram uma redução, mas com a diferença de que foi realizada uma aplicação através da técnica de deposição de camada atômica, que por promover uma maior energia de superfície, ou seja, tornar a superfície mais hidrofílica, permite uma inibição maior, de 63% na proliferação fúngica. (Arai et al., 2009) Desta forma, uma outra maneira de potencializar os resultados do presente estudo, seria realizando uma alteração na forma de aplicação das nanopartículas, como por exemplo, através da deposição de camada atômica.

A nanopartícula de dióxido de titânio apresenta melhor ação antimicrobiana quando está na forma de anatase e rutilo, sendo esta composição encontrada na nanopartícula utilizada no presente estudo, com a marca comercial: P25 (80% anatase e 20% rutilo). Além desta forma, existem nanopartículas na forma de membrana e revestimento que mostram uma ação antifúngica contra a *C. albicans*, mas sem serem adicionadas a um material reabilitador. Desta forma, este presente estudo é o primeiro a ser realizado, dentro dos encontrados na literatura, com a aplicação desta nanopartícula comercial em um material polimérico odontológico. (Akiba et al., 2005; Foster et al., 2011; Kühn et al., 2003)

Além de suas inerentes propriedades, outros estudos relataram benefícios da utilização de luz ultravioleta (UV) para potencializar a atividade antimicrobiana das nanopartículas de dióxido de titânio e óxido de zinco (100nm), através da terapia

fotodinâmica, contra bactérias, como *Escherichia coli*. Entretanto, não são encontrados na literatura pesquisada estudos bem consolidados com relação a essa influência para os fungos. (Javali et al., 2019; Jia et al., 2017; Kairyte et al., 2013) Desta forma, tendo em vista que as espécies de *Candida* conseguem colonizar a superfície de próteses em resina e promovem a formação de biofilme, que é o agente principal do desenvolvimento da estomatite protética, diversos estudos buscaram investigar a ação do TiO_2 contra a *C. albicans*, sugerindo que o polímero PMMA (polimetilmetacrilato) das bases de próteses totais modificados com nanopartículas de dióxido de titânio podem melhorar a higiene da superfície das dentaduras. (Naji et al., 2018)

Já no estudo de Kairyte et al. (2013), foram feitas análises com o óxido de zinco contra bactérias e fungos. No tocante as bactérias, foi constatada uma significativa ação antimicrobiana contra *Escherichia coli*, já com relação ao fungo percebeu-se que a inibição fúngica é convincente, mas ainda existem poucos estudos que abordem esse aspecto.

Então, visando a aplicabilidade clínica deste tratamento de superfície, é necessário analisar a individualidade de cada caso clínico, a fim de melhor indicar a sua aplicação. Tendo em vista que em pacientes com pouca retenção e estabilidade da prótese é interessante realizar a indicação deste tratamento, para que possa ocorrer um maior molhamento superficial da porção interna da prótese. Essa aplicação pode ser realizada pelo laboratório protético, para que se possa ter um maior controle da sua aplicação na superfície. Entretanto, nada impede a realização no consultório juntamente com o paciente, caso o cirurgião-dentista possua os materiais adequados.

Esse tratamento pode ser realizado tanto nas próteses antigas quanto nas novas, sendo que nas próteses antigas, a depender de cada situação clínica, em especial do grau de reabsorção óssea e de desadaptação da prótese que ocorre com o passar do tempo. Além disso, a aplicação do glaze também é indicada sobre reembasadores rígidos ou macios, que possuem uma maior porosidade, e que são muito utilizados para melhorar a adaptação, estabilidade e retenção da prótese. Com isso, a aplicação das nanopartículas sob este material poderia apresentar uma melhora na sua porosidade superficial e promover uma menor rugosidade, tendo em vista que este material apresenta uma porosidade maior do que a resina acrílica.

Sugere-se novas pesquisas que visem diminuir a rugosidade superficial, aumentar a concentração, disponibilidade e contato dessas nanopartículas na superfície do material, com os microorganismos, a fim de potencializar a ação antimicrobiana.

7 CONCLUSÃO

Ao considerar-se a metodologia proposta neste estudo foi possível concluir que:

- a) A aplicação das nanopartículas de óxido de zinco e dióxido de titânio sobre o glaze aplicado na resina acrílica apresentaram um baixo potencial de ação antimicrobiana contra o fungo *C. albicans*;
- b) O tratamento de superfície não alterou a resistência a flexão do material;
- c) Houve o aumento da rugosidade e molhabilidade superficial para os grupos com tratamento de superfície pelos nanocompósitos.

REFERÊNCIAS

- Abdolmajid E, Kharazi H, Chalaki M, Khojasteh M, Haghighat S, Attar F, et al. Titanium oxide nanoparticles fabrication, hemoglobin interaction, white blood cells cytotoxicity, and antibacterial studies. *J Biomol Struct Dyn*. 2019;37(11):3007–17. doi: 10.1080/07391102.2018.1499555.
- Abuzar M, Bellur S, Duong N, Kim B, Lu P, Palfreyman N, et al. Evaluating surface roughness of polyamide denture base material in comparison with poly (methyl methacrylate). *J Oral Sci*. 2010;52(4):577–81.
- Akiba N, Hayakawa I, Keh E-S, Watanabe A. Antifungal effects of a tissue conditioner coating agent with TiO₂ photocatalyst. *J Med Dent Sci*. 2005;52:223–7. doi: 10.11480/jmds.520408.
- Arai T, Ueda T, Sugiyama T, Sakurai K. Inhibiting microbial adhesion to denture base acrylic resin by titanium dioxide coating. *J Oral Rehabil*. 2009;36(12):902–8. doi: 10.1111/j.1365-2842.2009.02012.x.
- Azizi-Lalabadi M, Ehsani A, Divband B, Alizadeh-Sani M. Antimicrobial activity of Titanium dioxide and Zinc oxide nanoparticles supported in 4A zeolite and evaluation the morphological characteristic. *Sci Rep*. 2019;9(1):1–10. doi: 10.1038/s41598-019-54025-0.
- Barzegar A, Ghaffari T, Parizad A. Effect of incorporating aluminum oxide nanoparticles on thermal conduction and flexural strength of acrylic resins. *Dent Res J* 2022;19(33).
- Berger JC, Driscoll CF, Romberg E, Luo Q, Thompson G. Surface roughness of denture base acrylic resins after processing and after polishing. *J Prosthodont*. 2006;15(3):180–6. doi: 10.1111/j.1532-849X.2006.00098.x.
- Budtz- Jorgensen E, Kaaber S. Clinical effects of glazing denture acrylic resin bases using an ultraviolet curing method. *Eur J Oral Sci*. 1986;94(6):569–74. doi: 10.1111/j.1600-0722.1986.tb01801.x.

Carlson C, Hussein SM, Schrand AM, Braydich-Stolle LK, Hess KL, Jones RL, et al. Unique cellular interaction of silver nanoparticles: Size-dependent generation of reactive oxygen species. *J Phy Chemistry B*. 2008;112(43):13608–19. doi: 10.1021/jp712087m.

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;28(9):1011–7. doi: 10.1111/jopr.13032.

El-Sayed D, Nouvong A. Infection protocols for implants. *Clin Podiatr Med Surg*. 2019;36(4):627–49. doi: 10.1016/j.cpm.2019.06.007.

Eskandari M, Haghighi N, Ahmadi V, Haghighi F, Mohammadi SR. Growth and investigation of antifungal properties of ZnO nanorod arrays on the glass. *Physica B Condens Matter*. 2011;406(1):112–4. doi: 10.1016/j.physb.2010.10.035.

Foster HA, Ditta IB, Varghese S, Steele A. Photocatalytic disinfection using titanium dioxide: Spectrum and mechanism of antimicrobial activity. *Appl Microbiol Biotechnol*. 2011;90(6):1847–68. doi: 10.1007/s00253-011-3213-7.

Gharpure S, Ankamwar B. Synthesis and antimicrobial properties of zinc oxide nanoparticles. *J Nanosci Nanotechnol*. 2020;20(10):5977–96. doi: 10.1166/jnn.2020.18707.

Giti R, Dabiri S, Motamedifar M, Derafshi R. Surface roughness, plaque accumulation, and cytotoxicity of provisional restorative materials fabricated by different methods. *PLoS One*. 2021;16. doi:10.1371/journal.pone.0249551.

Global data on dental caries prevalence [Internet]. WHO Oral Health Programme adults aged 35-44 years / Global Oral Data Bank, Oral Health/Area Profile Programme. Geneva: World Health Organization; 2000. [cited 2022 Nov 12] Available from: <https://apps.who.int/iris/handle/10665/66521>

Hosseini SS, Ghaemi E, Koohsar F. Influence of ZnO nanoparticles on *Candida albicans* isolates biofilm formed on the urinary catheter. *Iran. J. Microbiol*. 2018; 10(6):424-432.

Huang Z, Zheng X, Yan D, Yin G, Liao X, Kang Y, et al. Toxicological effect of ZnO nanoparticles based on bacteria. *Langmuir*. 2008;24(8):4140–4. doi: 10.1021/la7035949.

Jalal M, Ansari MA, Ali SG, Khan HM, Rehman S. Anticandidal activity of bioinspired ZnO NPs: effect on growth, cell morphology and key virulence attributes of *Candida* species. *Artif Cells Nanomed Biotechnol*. 2018;46:912–25. doi: 10.1080/21691401.2018.1439837.

Javali MA, AlQahtani NA, Ahmad I, Ahmad I. Antimicrobial photodynamic therapy (light source; methylene blue; titanium dioxide): Bactericidal effects analysis on oral plaque bacteria: An in vitro study. *Niger J Clin Pract*. 2019;22(12):1654–61. doi: 10.4103/njcp.njcp_189_19.

Javed R, Ain N ul, Gul A, Arslan Ahmad M, Guo W, Ao Q, et al. Diverse biotechnological applications of multifunctional titanium dioxide nanoparticles: An up-to-date review. *IET Nanobiotechnol*. 2022;16(5):171–89. doi: 10.1049/nbt2.12085.

Jia L, Qiu J, Du L, Li Z, Liu H, Ge S. TiO₂ nanorod arrays as a photocatalytic coating enhanced antifungal and antibacterial efficiency of Ti substrates. *Nanomedicine*. 2017;12(7):761–76. doi: 10.2217/nnm-2016-0398.

Kairyte K, Kadys A, Luksiene Z. Antibacterial and antifungal activity of photoactivated ZnO nanoparticles in suspension. *J Photochem Photobiol B*. 2013;128:78–84. doi: 10.1016/j.jphotobiol.2013.07.017.

Karimiyan A, Najafzadeh H, Ghorbanpour M, Hekmati-Moghaddam SH. Antifungal Effect of magnesium oxide, zinc oxide, silicon oxide and copper oxide nanoparticles against *Candida albicans*. *Zahedan J Res Med Sci*. 2015;17(10):e2179. doi: 10.17795/zjrms-2179.

Król A, Pomastowski P, Rafińska K, Railean-Plugaru V, Buszewski B. Zinc oxide nanoparticles: Synthesis, antiseptic activity and toxicity mechanism. *Adv Colloid Interface Sci*. 2017;249:37–52. doi: 10.1016/j.cis.2017.07.033.

Kühn KP, Chaberny IF, Massholder K, Stickler M, Benz VW, Sonntag HG, et al. Disinfection of surfaces by photocatalytic oxidation with titanium dioxide and UVA light. *Chemosphere*. 2003;53(1):71–7. doi: 10.1016/S0045-6535(03)00362-X.

Li Y, Liao C, Tjong SC. Recent advances in zinc oxide nanostructures with antimicrobial activities. *Int J Mol Sci*. 2020;21(22):1–70. doi: 10.3390/ijms21228836.

Liu S, Chen X, Yu M, Li J, Liu J, Xie Z, et al. Applications of titanium dioxide nanostructure in stomatology. *Molecules*. 2022;27(12). doi:10.3390/molecules27123881.

Lu PJ, Cheng WL, Huang SC, Chen YP, Chou HK, Cheng HF. Characterizing titanium dioxide and zinc oxide nanoparticles in sunscreen spray. *Int J Cosmet Sci*. 2015;37(6):620–6. doi: 10.1111/ics.12239.

Lu PJ, Fang SW, Cheng WL, Huang SC, Huang MC, Cheng HF. Characterization of titanium dioxide and zinc oxide nanoparticles in sunscreen powder by comparing different measurement methods. *J Food Drug Anal*. 2018;26(3):1192–200. doi: 10.1016/j.jfda.2018.01.010.

Lucatto BC. Síntese, caracterização e efeito microbiológico de nanopartículas de sílica revestidas por prata quando associadas a resina acrílica quimicamente ativada, reembasador macio e ao glaze [tese]. São José dos Campos (SP): Universidade Estadual Paulista (Unesp), Instituto de Ciência e Tecnologia; 2017.

Mahamuni-Badiger PP, Patil PM, Badiger M V., Patel PR, Thorat-Gadgil BS, Pandit A, et al. Biofilm formation to inhibition: Role of zinc oxide-based nanoparticles. *Mater Sci Eng C*. 2020;108:110319. doi: 10.1016/j.msec.2019.110319.

Mishra PK, Mishra H, Ekielski A, Talegaonkar S, Vaidya B. Zinc oxide nanoparticles: a promising nanomaterial for biomedical applications. *Drug Discov Today*. 2017;22(12):1825–34. doi: 10.1016/j.drudis.2017.08.006.

Naji SA, Sadat T, Kashi J, Pourhajibagher M, Behroozibakhsh M, Masaeli R, et al. Evaluation of antimicrobial properties of conventional Poly(Methyl Methacrylate) denture base resin materials containing hydrothermally synthesised anatase TiO₂ nanotubes against cariogenic bacteria and *Candida albicans*. *Iran J Pharm Res*. 2018; 17(Suppl2): 161-172.

Nam KY. In vitro antimicrobial effect of the tissue conditioner containing silver nanoparticles. *J Adv Prosthodont*. 2011;3(1):20–4. doi: 10.4047/jap.2011.3.1.20.

Osmond MJ, McCall MJ. Zinc oxide nanoparticles in modern sunscreens: An analysis of potential exposure and hazard. *Nanotoxicology*. 2010;4(1):15–41. doi: 10.3109/17435390903502028.

Paes Junior T. Estudo das resinas acrílicas para bases de próteses totais com relação à resistência flexural e à quantidade de monômeros residual superficial [dissertação]. São Paulo (SP): Universidade de São Paulo (USP). Faculdade de Odontologia; 2006.

Pasquet J, Chevalier Y, Couval E, Bouvier D, Noizet G, Morlière C, et al. Antimicrobial activity of zinc oxide particles on five micro-organisms of the Challenge Tests related to their physicochemical properties. *Int J Pharm*. 2014;460(1–2):92–100. doi: 10.1016/j.ijpharm.2013.10.031.

Pelgrift RY, Friedman AJ. Nanotechnology as a therapeutic tool to combat microbial resistance. *Adv Drug Deliv Rev*. 2013;65(13–14):1803–15. doi: 10.1016/j.addr.2013.07.011.

R. Kalankesh L, Rodríguez-Couto S, Zazouli MA, Shahamat YD, Ali Dianati R, Arghiani M. Synthesis and characterization of nanoparticles and composites as bactericides. *J Microbiol Methods*. 2019;167. doi: 10.1016/j.mimet.2019.105736.

Racovita AD. Titanium dioxide: structure, impact, and toxicity. *Int J Environ Res Public Health*. 2022;19(9). doi: 10.3390/ijerph19095681.

Ramimoghadam D, Zobir M, Hussein B, Hin Taufiq-Yap Y. Synthesis and characterization of ZnO nanostructures using palm olein as biotemplate. *Chem Cent J*. 2013.7:71:2-10. <https://doi.org/10.1186/1752-153X-7-71>

Rocha Regis R. Análise das propriedades biológicas de um monômero antimicrobiano para aplicação em prótese dentária [tese]. São Paulo (SP): Universidade de São Paulo (USP). Faculdade de Oodntologia; 2009.

Rossi NR, de Menezes BRC, Sampaio A da G, da Silva DM, Koga-Ito CY, Thim GP, et al. Silver-coated silica nanoparticles modified with MPS: potential antimicrobial biomaterials applied in glaze and soft liner. *Polymers (Basel)*. 2022;14(20):4306. doi: 10.3390/polym14204306.

Sacorage S. Avaliação mecânica e microbiológica de resinas acrílicas reforçadas com partículas de sílica revestidas com prata [tese]. São José Dos Campos (SP): Universidade Estadual Paulista (Unesp). Instituto de Ciência e Tecnologia; 2016.

Santos DM, Nagay BE, da Silva EVF, Bonatto L da R, Sonogo MV, Moreno A, et al. In vitro analysis of different properties of acrylic resins for ocular prosthesis submitted to accelerated aging with or without photopolymerized glaze. *Mat Sci Eng C*. 2016;69:995–1003. doi: 10.1016/j.msec.2016.07.081.

Santos RL, Pithon MM, Carvalho FG, Ramos AA dos S, Romanos MTV. Mechanical and biological properties of acrylic resins manipulated and polished by different methods. *Braz Dent J*. 2013;24(5):492–7. doi: 10.1590/0103-6440201302293.

S.B Sehajpal, V.K Sood. Effect of metal fillers on some physical properties of acrylic resin. *Dent Technol*. 1989;61(6):746–51.

Sesma N, Laganá DC, Morimoto S, Gil C. Effect of denture surface glazing on denture plaque formation. *Braz Dent J*. 2005;16(2):129–34. doi: 10.1590/s0103-64402005000200008.

Silva BL da, Abuçafy MP, Manaia EB, Junior JAO, Chiari-Andréo BG, Pietro RCLR, et al. Relationship between structure and antimicrobial activity of zinc oxide nanoparticles: An overview. *Int J Nanomedicine*. 2019;14:9395–410. doi: 10.2147/IJN.S216204.

Silva Júnior JG. Avaliação das propriedades superficiais de um material reembasador resiliente para prótese total [tcc]. Juiz de Fora (MG): Universidade Federal de Juiz de Fora (UFJF);2019.

Silva J de FG, Rossi NR, de Menezes BRC, Thim GP, Paes Junior TJ de A. Effect of silver-coated silica nanoparticles on the thermal conductivity of thermally activated acrylic resin. *Braz Dent Sci*. 2022;25(3). doi: 10.4322/bds.2022.e3271.

Singh S. Zinc oxide nanoparticles impacts: cytotoxicity, genotoxicity, developmental toxicity, and neurotoxicity. *Toxicol Mech Methods*. 2019;29(4):300–11. doi: 10.1080/15376516.2018.1553221.

Wang Z, Shen Y, Haapasalo M. Dental materials with antibiofilm properties. *Dent Mater*. 2014;30(2):e1–16. doi: 10.1016/j.dental.2013.12.001.

Yu B, Ahn JS, Lim JI, Lee YK. Influence of TiO₂ nanoparticles on the optical properties of resin composites. *Dent Mater*. 2009;25(9):1142–7. doi: 10.1016/j.dental.2009.03.012.

Zago LH de P, de Annunzio SR, de Oliveira KT, Barbugli PA, Valdes BR, Feres M, et al. Antimicrobial photodynamic therapy against metronidazole-resistant dental plaque bacteria. *J Photochem Photobiol B*. 2020;209. doi: 10.1016/j.jphotobiol.2020.111903.