

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE JUIZ DE FORA
FACULDADE DE ODONTOLOGIA
GRADUAÇÃO EM ODONTOLOGIA**

Andrés Miranda Machado de Melo

**Propriedades físico-mecânicas de placas oclusais confeccionadas por
manufatura aditiva e por técnicas convencionais: uma revisão integrativa**

Juiz de Fora
2025

Andrés Miranda Machado de Melo

**Propriedades físico-mecânicas de placas oclusais confeccionadas por
manufatura aditiva e por técnicas convencionais: uma revisão integrativa**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado à Faculdade de Odontologia
da Universidade Federal de Juiz de Fora
como requisito parcial à obtenção ao grau
de bacharel em Odontologia.

Orientador: Prof. Dr. Breno Nogueira Silva

Coorientador: Prof. Dr. Fabrício Tinôco Alvim de Souza

Juiz de Fora

2025

Ficha catalográfica elaborada através do programa de geração automática da Biblioteca Universitária da UFJF, com os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

de Melo, Andrés Miranda Machado.

Propriedades físico-mecânicas de placas oclusais confeccionadas por manufatura aditiva e por técnicas convencionais: uma revisão integrativa / Andrés Miranda Machado de Melo. -- 2025.

47 p.

Orientador: Breno Nogueira Silva

Coorientador: Fabrício Tinôco Alvim de Souza

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) - Universidade Federal de Juiz de Fora, Faculdade de Odontologia, 2025.

1. Placa Oclusal. 2. Impressão Tridimensional. 3. Fenômenos Biomecânicos. I. Silva, Breno Nogueira, orient. II. de Souza, Fabrício Tinôco Alvim, coorient. III. Título.



UNIVERSIDADE FEDERAL DE JUIZ DE FORA
REITORIA – FACODONTO – Coordenação do Curso de Odontologia

Andrés Miranda Machado de Melo

**Propriedades físico-mecânicas de placas oclusais confeccionadas por
manufatura aditiva e por técnicas convencionais: uma revisão integrativa**

Trabalho de conclusão de curso apresentado à Faculdade de Odontologia da
Universidade Federal de Juiz de Fora como requisito parcial à obtenção do título
de Cirurgião-Dentista.

Aprovado em 09 de julho de 2025.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Breno Nogueira Silva

Universidade Federal de Juiz de Fora

Prof. Dr. Fabrício Tinoco Alvim de Souza

Universidade Federal de Juiz de Fora

Prof. Dr. Luciano Ambrosio Ferreira

Universidade Federal de Juiz de Fora

Dedico este trabalho aos meus pais,
irmãos, familiares e amigos que me
inspiram e me apoiaram até aqui.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus por me abençoar e guiar até aqui, me dando a todo momento coragem e força para seguir;

Agradeço também aos meus pais Anderson e Laíse, e aos meus irmãos Anderson Jr. e Andrey por todo apoio e incentivos concedidos a mim em toda parte da minha trajetória;

Agradeço aos meus familiares e amigos, em especial aos meus primos Thaíssa, Gustavo, Carol e Jonas por todo o suporte durante todo o caminho. E à minha namorada Rafaella, por todo carinho, companheirismo e ensinamentos concedidos.

Agradeço, ainda à todos os meus amigos, em especial a turma 231, que fizeram parte dessa longa jornada, tudo foi possível devido ao apoio e companheirismo de vocês.

Agradeço ao Professor Doutor Breno Nogueira Silva e ao Professor Doutor Fabrício Tinôco Alvim de Souza por toda orientação, suporte e ajuda na elaboração e finalização deste trabalho;

Agradeço, por fim, à Faculdade de Odontologia da Universidade Federal de Juiz de Fora por me proporcionar educação e estrutura de qualidade para minha formação.

RESUMO

A manufatura aditiva através da impressão tridimensional tem se tornado uma alternativa nas abordagens terapêuticas com placas oclusais, por demonstrarem redução de tempo de confecção e menor desperdício de material. No entanto, para garantir a eficácia clínica dessas placas, é essencial que apresentem boas propriedades físico-mecânicas, determinadas tanto pelo material quanto pela técnica de fabricação. O objetivo desta revisão integrativa é investigar e comparar as propriedades físico-mecânicas de placas oclusais confeccionadas por manufatura aditiva através de impressão tridimensional e por técnicas convencionais. Foi realizada uma busca bibliográfica fundamentada na estratégia PECO, nas bases de dados PubMed, EMBASE, Scopus, ScienceDirect, BVS e Web of Science. Foram incluídos estudos *in vitro* sem restrição de idioma e tempo. Foram excluídos relatos de caso, revisões de literatura e estudos que abordavam o tema de forma indireta. Utilizaram-se descritores DeCS/MeSH, combinados por meio dos operadores booleanos AND e OR. Foram identificados 286 estudos, dos quais 14 atenderam aos critérios de elegibilidade previamente estabelecidos. Adicionalmente, três estudos foram incluídos por meio de busca cruzada, totalizando 17 estudos *in vitro* analisados. Os materiais convencionais evidenciam superioridade na maioria das propriedades comparadas, sugere-se que as resinas aditivas apresentam desempenho superior em relação a resistência ao desgaste. A manufatura aditiva através de impressão tridimensional, devido à celeridade do processo produtivo, pode ser considerada uma alternativa viável em situações clínicas que demandem dispositivos provisórios ou de curta duração.

Palavras-chave: placa oclusal; impressão tridimensional; fenômenos biomecânicos.

ABSTRACT

Additive manufacturing through three-dimensional (3D) printing has emerged as an alternative in therapeutic approaches involving occlusal splints, due to reduced fabrication time and decreased material waste. However, to ensure the clinical effectiveness of these appliances, it is essential that they exhibit adequate physical and mechanical properties, which are influenced by both the material and the manufacturing technique. The aim of this integrative review is to analyze and compare the physical and mechanical properties of occlusal splints fabricated using additive manufacturing via 3D printing and conventional techniques. A literature search was conducted based on the PECO strategy across the PubMed, EMBASE, Scopus, ScienceDirect, BVS, and Web of Science databases. In vitro studies were included without restrictions on language or publication date. Case reports, literature reviews, and studies addressing the topic indirectly were excluded. DeCS/MeSH descriptors were used and combined using the Boolean operators AND and OR. A total of 286 studies were identified, of which 14 met the predefined eligibility criteria. Additionally, three studies were included through cross-referencing, resulting in a total of 17 in vitro studies analyzed. Conventional materials demonstrated superior performance in most of the properties evaluated, although additive resins showed better performance in terms of wear resistance. Additive manufacturing through 3D printing, due to its production speed, may be considered a viable alternative in clinical situations requiring temporary or short-term appliances.

Keywords: occlusal splint; printing, three-dimensional; biomechanical phenomena.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1	– Fluxograma de identificação e seleção dos estudos, de acordo com a metodologia PRISMA	20
----------	---	----

LISTA DE TABELAS

Tabela 1	– Estratégia de busca utilizada nas bases de dados	17
Tabela 2	– Revisão de literatura: análise descritiva dos estudos incluídos	21
Tabela 3	– Revisão de literatura: análise objetiva dos estudos incluídos	28

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

A	Aditiva
AM	Manufatura aditiva
ATM	Articulação Temporomandibular
C	Convencional
CAD	Desenho assistido por computador
CAM	Manufatura assistida por computador
Ca	Convencionais autopolimerizáveis
CFU/mL	Unidades formadoras de colônia por mililitro
Ct	Convencionais termopolimerizáveis
D	Dureza Superficial
DLP	Processamento Digital de Luz
DP	Desvio Padrão
DTM	Disfunção temporomandibular
GPa	Gigapascal
g	Grama
gf	Grama-força
GU	Unidade de Brilho
h	Hora
Hz	Hertz
I3D	Impressão tridimensional
LCD	<i>Liquid Crystal Display</i>
MA	Manufatura aditiva
ME	Módulo de elasticidade
MEV	Microscopia eletrônica de varredura
Min	Minuto
Mk	Microdureza Knoop
Mm	Microdureza Martens
Mv	Microdureza Vickers
MPa	Megapascal
mm	Milímetro
mm ³	Milímetro cúbico

mm/s	Milímetro por segundo
μm	Micrômetro
μg/mm ³	Micrograma por milímetro cúbico
n	Tamanho da amostra
N	Newton
N/mm	Newton por milímetro
N/mm ²	Newton por milímetro quadrado
Ni-Cr	Níquel- Cromo
nm	Nanômetro
PECO	População, Exposição, Comparação e Desfecho
PMMA	Polimetilmetacrilato
Ra	Rugosidade superficial
RD	Resistência ao desgaste
RF	Resistência à fratura
Rx	Resistência à flexão
RPM	Rotações por minuto
S	Subtrativa
SLA	Estereolitografia
TC	Técnicas convencionais
UFC/m ³	Unidades formadoras de colônias por metro cúbico
VHN	Número de microdureza Vickers

LISTA DE SÍMBOLOS

$<$	Menor que
$\leq$	Menor ou igual
$=$	Igual
$>$	Maior que
$\geq$	Maior ou igual
$\pm$	Mais ou Menos
$\textcircled{R}$	Marca registrada

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	13
2	PROPOSIÇÃO.....	15
3	METODOLOGIA	16
3.1	IDENTIFICAÇÃO DO TEMA	16
3.2	FONTES DE INFORMAÇÃO	16
3.3	EXTRAÇÃO DE DADOS	18
4	RESULTADOS	19
5	DISCUSSÃO	30
5.1	PLACAS OCLUSAIS	30
5.2	MANUFATURA	31
5.3	PROPRIEDADES FÍSICO-MECÂNICAS	32
5.3.1	<i>Resistência à flexão e módulo de elasticidade</i>	<i>33</i>
5.3.2	<i>Resistência à fratura e ao desgaste</i>	<i>35</i>
5.3.3	<i>Rugosidade superficial</i>	<i>37</i>
5.3.4	<i>Microdureza e dureza superficial</i>	<i>39</i>
5.4	IMPLICAÇÕES CLÍNICAS E PERSPECTIVAS FUTURAS	41
6	CONCLUSÃO	43
	REFERÊNCIAS	44

1 INTRODUÇÃO

A Disfunção Temporomandibular (DTM) é um termo abrangente que engloba um conjunto de condições clínicas que envolvem os músculos mastigatórios, a articulação temporomandibular (ATM) ou estruturas orofaciais associadas (Bilir et al., 2023; Grymak et al., 2022). As DTM apresentam etiologia multifatorial, envolvendo fatores causais indiretos e diretos (Raffaini et al., 2023), entre os quais se destacam os hábitos parafuncionais, reconhecidos como importantes fatores de risco para seu desenvolvimento (Bilir et al., 2023; Raffaini et al., 2023).

As placas oclusais são consideradas uma opção terapêutica baseada em evidências para o manejo de condições clínicas do sistema estomatognático (Berli et al., 2020), sendo indicadas principalmente para o tratamento de DTM, bem como o controle dos seus sintomas (Huettig et al., 2017). Além disso, são amplamente utilizadas na prevenção dos efeitos deletérios do bruxismo (Grymak et al., 2022; Prpic et al., 2019). O uso de dispositivos oclusais representa uma medida conservadora e não invasiva bastante empregada na prática clínica (Berli et al., 2020; Bilir et al., 2023), com o objetivo de proteger os dentes do desgaste oclusal excessivo, promover relaxamento dos músculos da mastigação e amenizar ou aliviar os sintomas miogênicos e articulares da DTM (Lutz et al., 2019).

Esses dispositivos podem ser adaptados tanto para maxila quanto para mandíbula, dependendo das necessidades do paciente (Grymak et al., 2022), e podem atuar em conjunto com outras formas de tratamentos de DTM, como fisioterapia e psicoterapia (Grymak et al., 2021; Maleki et al., 2024). Nesse contexto, a terapia por meio de placas intraorais tem mostrado eficácia clínica, com taxa de sucesso em 70–90% dos casos sintomáticos (Gibreel et al., 2022), favorecendo, inclusive o posicionamento dos côndilos em sua posição mais estável dentro da cavidade articular (Lawson et al., 2024), além de estabelecer contatos oclusais seguros com os dentes antagonistas (Santos Neto et al., 2023).

Tradicionalmente, as placas oclusais são fabricadas por técnicas convencionais (TC), em um fluxo de trabalho totalmente analógico (Huettig et al., 2017). Esse processo inclui moldagem, vazamento em modelos de gesso, desenho e registro em cera interoclusal (Abad-Coronel et al., 2023), além de prensagem ou injeção da resina acrílica (Lutz et al., 2019). Os dispositivos oclusais convencionais são, em sua maioria, confeccionados com polimetilmetacrilato (PMMA), cujas

propriedades mecânicas e facilidade de manipulação representam o padrão ouro para materiais de placas oclusais (Prpic et al., 2019). As resinas à base de PMMA apresentam vantagens em relação ao custo-benefício, facilidade de manuseio, alta biocompatibilidade e adequada adaptação marginal (Abad-Coronel et al., 2023; Raffaini et al., 2023).

A crescente digitalização na Odontologia, principalmente na impressão em 3D (I3D), viabilizou a fabricação de próteses e dispositivos orais por meio do desenho assistido por computador (CAD) e da manufatura assistida por computador (CAM), os quais englobam tanto manufatura subtrativa, como fresagem, quanto manufatura aditiva (MA), como a própria I3D (Berli et al., 2020; Huettig et al., 2017; Santos Neto et al., 2023).

Entretanto, a precisão dimensional dos dispositivos odontológicos obtidos por I3D é influenciada por diversas variáveis, como o tipo de material, a resolução da impressão, a pós-cura, a velocidade e intensidade da fonte de luz, bem como o ângulo de impressão adotado (Grymak et al., 2021). No caso das resinas fotopolimerizáveis, as tecnologias de estereolitografia (SLA) e de processamento digital de luz (DLP) são predominantemente utilizadas nos processos de polimerização com luz ultravioleta (Bilir et al., 2023; Lutz et al., 2019; Wesemann et al., 2021).

Esse avanço tecnológico possibilita novas alternativas no fluxo de trabalho, capazes de reduzir o tempo e os custos de produção, sem comprometer os níveis de precisão necessários para diferentes abordagens terapêuticas (Santos Neto et al., 2023). Com isso, novos materiais para a fabricação de placas oclusais estão sendo desenvolvidos, cujas propriedades mecânicas podem diferir daquelas das resinas acrílicas convencionais. (Guimarães et al., 2023). Tal cenário exige a adaptação ou desenvolvimento de materiais que atendam às exigências específicas da tecnologia empregada e das indicações clínicas envolvidas para cada paciente (Huettig et al., 2017).

Portanto, para que as placas oclusais possam desempenhar suas funções, é indispensável que apresentem boas propriedades físico-mecânicas, as quais dependem da forma de produção e do material utilizado. Logo, esta revisão integrativa visou analisar e comparar as propriedades físico-mecânicas de placas oclusais confeccionadas por TC e I3D a fim de contribuir para uma escolha clínica mais segura.

2 PROPOSIÇÃO

O objetivo desta revisão integrativa é analisar e comparar as propriedades físico-mecânicas de placas oclusais confeccionadas por manufatura aditiva e por técnicas convencionais, conforme descritas na literatura científica atual. As propriedades avaliadas incluem resistência à flexão, módulo de elasticidade, dureza superficial, rugosidade superficial, resistência à fratura e ao desgaste.

3 METODOLOGIA

A presente revisão integrativa teve como pergunta norteadora “Como as propriedades físico-mecânicas das placas oclusais produzidas por impressão 3D se comparam às das placas confeccionadas por métodos convencionais?”.

3.1 IDENTIFICAÇÃO DO TEMA

A pergunta norteadora foi estruturada com base na estratégia “população, exposição, comparação e desfecho” (PECO), sendo: a população representada pelas placas oclusais; a exposição pelas placas oclusais confeccionadas por manufatura aditiva; a comparação pelas à placas confeccionadas por métodos convencionais; e o desfecho, pelas propriedades físico-mecânicas.

3.2 FONTES DE INFORMAÇÃO

A seleção dos artigos foi realizada de janeiro a junho de 2025, a partir de buscas nas bases de dados PubMed, Web of Science, EMBASE, ScienceDirect e Scopus. Concomitantemente, foi utilizado o portal da Biblioteca Virtual em Saúde (BVS), que, embora não configure uma base de dados propriamente dita, constitui um portal integrador de diversas fontes de informações científicas em saúde, permitindo acesso simultâneo a múltiplas bases de dados, como LILACS, MEDLINE e SciELO.

Foram incluídos estudos *in vitro* pertinentes ao tema proposto, sem restrição de idioma e tempo.

Foram determinados como critérios de exclusão estudos com apenas resumos disponíveis, trabalhos da literatura cinzenta como teses, dissertações, cartas ao editor e opinião de especialistas, bem como estudos de revisão de literatura, relatos de casos clínicos, resumos de conferências e estudos que tangenciam o tema.

O autor (AMMM), previamente treinado e calibrado, realizou de forma independente a busca e a seleção de estudos utilizando os Descritores em Ciências da Saúde (DeCS/MeSH) e termos exatos, combinado mediante operadores booleanos “AND” e “OR”. A estratégia de busca foi adaptada para cada base de dados utilizada, incorporando todas as palavras-chave e termo de indexação identificados, conforme Tabela 1.

Tabela 1: Estratégia de busca utilizada nas bases de dados

Bases	Palavras-chave	Estudos (n=)
Pubmed	("Occlusal Splint"[MeSH Terms] OR "Splint, Occlusal"[All Fields] OR "Night Guard"[All Fields]) AND ("Printing, Three-Dimensional"[MeSH Terms] OR "3D Printing"[All Fields] OR "Additive Manufacturing"[All Fields] OR "Computer-Aided Design"[All Fields] OR "CAD-CAM"[All Fields]) AND ("Biomechanical Phenomena"[MeSH Terms] OR "Hardness"[All Fields] OR "Flexural Strength"[All Fields] OR "Fracture Strength"[All Fields])	29
Web of Science	TS=("Occlusal Splint" OR "Splint, Occlusal" OR "Night Guard") AND TS=("3D Printing" OR "Three-Dimensional Printing" OR "Computer-Aided Design" OR "CAD-CAM" OR "Additive Manufacturing") AND TS=("Biomechanical Phenomena" OR "Hardness" OR "Flexural Strength" OR "Fracture Strength")	22
EMBASE	('occlusal splint'/exp OR 'night guard' OR 'splint, occlusal') AND ('3d printing'/exp OR 'computer aided design'/exp OR 'cad cam'/exp OR 'three dimensional printing' OR 'additive manufacturing'/exp) AND ('biomechanics'/exp OR 'hardness'/exp OR 'flexural strength'/exp OR 'fracture strength'/exp)	16
ScienceDirect	("occlusal splint") AND ("3D printing" OR "three-dimensional printing" OR "CAD-CAM" OR "additive manufacturing") AND ("flexural strength" OR "fracture strength")	93
Scopus	TITLE-ABS-KEY ("occlusal splint" OR "splint, occlusal" OR "night guard") AND TITLE-ABS-KEY ("3D printing" OR "additive manufacturing" OR "computer-aided design" OR "CAD-CAM") AND TITLE-ABS-KEY ("biomechanical phenomena" OR "hardness" OR "flexural strength")	24
BVS	"occlusal splint") OR ("splint, occlusal") OR ("night guard") AND ("3D printing") OR ("three-dimensional printing") OR ("additive manufacturing") OR ("computer-aided design") OR ("CAD-CAM") AND ("biomechanical phenomena") OR ("hardness") OR ("flexural strength") OR ("fracture strength")	102

Fonte: Elaborado pelo autor (2025).

Posteriormente a identificação dos estudos nas bases de dados, os mesmos foram exportados para a ferramenta *Rayyan*® (<https://rayyan.qcri.org/>), para remoção de duplicatas. Em seguida, o autor (AMMM) realizou, de forma independente, uma triagem inicial, revisando minuciosamente os títulos e resumos. Os registros potencialmente elegíveis foram, então, submetidos a uma triagem de texto completo, de acordo com os critérios de elegibilidade previamente definidos. Durante essa fase, foram documentadas as razões para a exclusão de estudos.

Por fim, foi realizada uma busca cruzada manual, de natureza retrospectiva e prospectiva, com o objetivo de ampliar a abrangência da revisão. A busca retrospectiva consistiu na análise das listas de referências dos estudos incluídos, enquanto a busca prospectiva envolveu a identificação de citações posteriores a esses estudos, visando localizar publicações adicionais potencialmente relevantes não capturadas nas buscas eletrônicas iniciais.

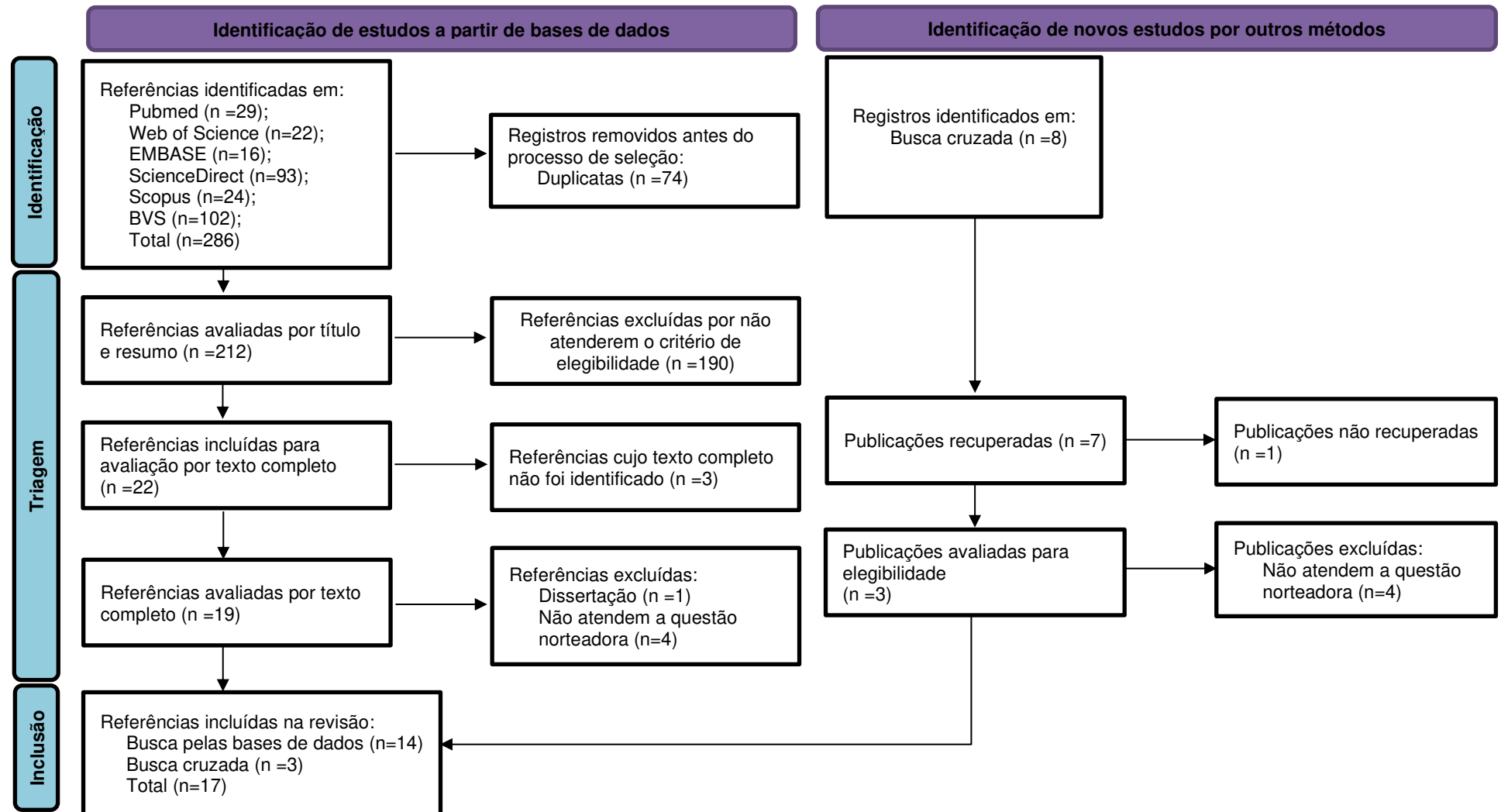
3.3 EXTRAÇÃO DE DADOS

Após a seleção final dos artigos, foi utilizado um formulário padronizado no Microsoft Excel® (Microsoft Corporation, Redmon, Washington, EUA) para extrair os principais detalhes metodológicos dos estudos, como autor(es) e ano de publicação, tamanho da amostra (n), forma da amostra, objetivos, metodologia e resultados. O instrumento de extração de dados foi continuamente ajustado e revisado durante o processo de extração.

4 RESULTADOS

Diante das metodologias empregadas, foram inicialmente identificados 286 estudos potencialmente relevantes, dos quais 74 foram removidos após remoção de duplicatas. Em seguida, 212 estudos restantes foram avaliados por título e resumo, em que apenas 22 foram incluídos para avaliação por texto completo. Após a avaliação, 14 estudos foram incluídos através da busca por bases de dados. Além disso, foi realizada a identificação de novos estudos através de busca cruzada, na qual foi resgatada 8 novos estudos, dos quais 3 atenderam a todos os critérios de elegibilidade pré-estabelecidos deste estudo.

A Figura 1 apresenta detalhadamente o processo de identificação e seleção de estudos, desde a identificação e triagem inicial até a inclusão final deste trabalho.

Figura 1: Fluxograma de identificação e seleção dos estudos, de acordo com a metodologia PRISMA

Fonte: Elaborado pelo autor (2025).

O processo de seleção dos estudos constitui a parte central deste trabalho, sendo a construção e organização dos dados aspecto essencial para a qualidade da pesquisa. Para a formulação das hipóteses e comparação entre as propriedades físico-mecânicas de placas oclusais confeccionadas por manufatura aditiva e por técnicas convencionais, os dados extraídos de estudos previamente publicados foram sintetizados e convertidos em informações analisáveis. Esses resultados, que integram a revisão de literatura, são apresentados de forma descritiva pela Tabela 2, e de maneira objetiva pela Tabela 3.

Tabela 2: Revisão de literatura: análise descritiva dos estudos incluídos

(continua)

Autor/ano	n	Objetivo	Metodologia	Resultados
Huettig et al., 2017	Total (n=30) C (n=10) S (n=10) A (n=10)	Avaliar a rugosidade superficial (Ra) e rastrear a resistência ao desgaste de materiais para manufatura convencional, subtrativa e aditiva de placas oclusais.	As amostras foram polidos para examinar a Ra por perfilometria e posteriormente analisados por microscopia eletrônica de varredura (MEV). Os espécimes foram carregados com uma bola de esteatita movendo-se 5000 vezes ao longo de 1 cm com 5 N de pressão de superfície sob umedecimento constante (saliva artificial) para análise do desgaste.	Todos os espécimes apresentaram Ra comparável de C=0,062 μm (DP = 0,01); S = 0,048 μm (DP = 0,009); A = 0,06 μm (DP = 0,007), revelando p = 0,005. Após 5000 ciclos com pressão de superfície, revelou-se desgaste médio 111,4 μm (DP = 18,5) para C, 85,7 μm (DP = 21,5) para S e 99,1 μm (DP = 21,5). Não apresentaram sinais visuais de arranhões, rugosidades ou não homogeneidades em nenhum material utilizando MEV.
Lutz et al., 2019	Total (n=96) C (n=32) S (n=10) A (n=10)	Avaliar a resistência ao desgaste (RD) e à fratura (RF) de dispositivos oclusais impressos em 3D e compará-los com a fresada e a convencional.	Foram realizados testes iniciais de RF e envelhecimento artificial no simulador de mastigação (50 N, 37 °C) seguidos por testes de RF. A RF foi determinada sob carga de (1 mm / min). O desgaste foi medido após 20.000 e 120.000 ciclos de mastigação com a técnica de réplica.	S apresentou maior RF inicial à fratura do que A ou C ($P < 0,001$). A simulação da mastigação diminuiu a resistência à fratura para S e C ($P < 0,001$), mas não para A ($p = 0,78$). Dispositivos oclusais fabricados em A apresentaram a maior perda de volume de material, seguidos por S e a menor em C ($P < 0,001$).

(continua)

Autor/ano	n	Objetivo	Metodologia	Resultados
Prpic et al., 2019	Total (n=140) C (n=60) S (n=40) A (n=40)	Investigar a resistência à flexão (Rx) e a dureza superficial (D) de diferentes materiais usando diferentes tecnologias	10 espécimes foram submetidos ao teste de flexão de 3 pontos para medir Rx e os outros dez espécimes de cada material foram medidos quanto à D (método Brinell, ISO 2039-1:2001).	O teste <i>post hoc</i> de Bonferroni determinou valores de Rx mais elevados nos materiais S do que nos materiais C ($P = 0,042$) e A ($P = 0,011$), e valores de D mais baixos foram encontrados nos materiais em A do que nos materiais C ($P < 0,001$) e S ($P = 0,004$).
Berli et al., 2020	Total (n=180) C (n=60) S (n=60) A (n=60)	Avaliar o efeito do método de fabricação na Rx, na microdureza Martens (Mm), na microdureza Vickers (Mv) e no módulo de elasticidade (ME), bem como o efeito do envelhecimento.	Um ensaio de flexão de 3 pontos foi realizado utilizando uma máquina de ensaio universal (Z 2.0; Zwick/Roell GmbH) com velocidade de 5 mm/min antes e depois do envelhecimento; Mv e Mm foram medidos após o teste de flexão em três pontos nos fragmentos (ZHU 2.5, Zwick/Roell GmbH) utilizando um indentador Vickers. Três medições foram realizadas em cada espécime; O ME foi medido por análise de frequência de ressonância.	Os valores médios de Rx foram de 92,8 a 99,5 MPa para C, 95,1 a 122,0 MPa para S e 19,5 a 91,3 MPa para A; Os valores médios de Mm foram de 130,1 a 134,1 N/mm para resinas C e de 130,3 a 158,5 N/mm para resinas S; Os valores médios de Mv foram de 18,2 a 19,9 para resinas C e de 18,4 a 23,0 para resinas S. O ME médio variou de 4,6 a 4,8 GPa para resinas C e de 4,7 a 5,3 GPa para resinas S. Alguns testes não foram possíveis no material A, pois apresentaram dureza abaixo do padrão teste.
Grymak et al., 2021	Total (n=21) C (n=6) S (n=3) A (n=12)	Avaliar a Ra, D e o ME de materiais de placas oclusais oclusais fabricados por quatro diferentes métodos.	Para simular o polimento, os três espécimes foram submetidos a três processos de acabamento diferentes; a Ra foi medida a partir do centro de cada espécime usando um perfilômetro de superfície digital; Para avaliar a dureza a D e o ME de cada material foram submetidos a nanoindentação.	O maior brilho foi observado no grupo S (78,77 GU) seguido por C (77,08 GU). Quanto à Ra, os espécimes C apresentaram a superfície mais lisa (0,06 μm). O grupo S iniciou com baixa rugosidade (0,06 μm), que aumentou após polimento. Em D, os C foram superiores aos A (0,16 GPa; $p < 0,001$). O ME foi mais elevado nos materiais C (2,8 GPa), seguido pelos S (0,1–2,7 GPa), enquanto os A apresentaram os menores valores (0,0–2,4 GPa).

(continua)

Autor/ano	n	Objetivo	Metodologia	Resultados
Wesemann et al., 2021	Total (n=40) C(n=8) S(n=8) A(n=24)	Comparar a fabricação convencional, subtrativa, aditiva com materiais mais recentes, determinando as propriedades mecânicas de Mv, Rx, RD e ME à flexão dos polímeros.	Espécimes foram submetidos a ensaio de desgaste em simulador de mastigação (200.000 ciclos, 20 N, 2,1 Hz.). A Mv foi avaliada após 24 h (2 N, 10 s) em um microdurômetro. O ensaio de flexão em 3 pontos foi realizado com deslocamento constante 5 mm/min, com distância entre pontas da amostra de 50 mm.	Não houve diferenças estatisticamente significativas na RD entre os grupos ($P \geq 0,074$), independentemente da carga (20 N ou 50 N). Materiais C e S apresentaram maior Mv e ME (GPa) comparados aos A ($P < 0,05$). A Rx foi maior nos materiais S, seguidos pelos C; os materiais A apresentaram os menores valores de Mv e Rx ($P < 0,05$).
Grymak et al., 2022	Total (n=126) C(n=9) S(n=9) A(n=108)	Avaliar desgaste, perda volumétrica ao longo do tempo de materiais para placas oclusais fabricados com resina convencional termopolimerizável (Ct), fresada em CAD e quatro resinas I3D sob três ângulos diferentes.	O teste de desgaste sobre anel foi realizado com molares humanos extraídos como antagonistas. Todas as amostras foram testadas com uma força aplicada de 49N a 1 Hz e 60RPM em saliva artificial a 37 °C por seis e 12 meses. Imagens de MEV foram analisadas para avaliar o desgaste. A perda por desgaste volumétrico e vertical foi analisada estatisticamente.	A menor perda volumétrica e vertical foi observada nos materiais S ($6,44 \pm 1,77\text{mm}^3$ e $48,3 \pm 7,14 \mu\text{m}$) e para o material C ($17,22 \pm 9,23\text{mm}^3$ e $148 \pm 121,1 \mu\text{m}$) após 12 meses ($p < 0,172$). A perda volumétrica média dos materiais A variou de $0,25 \pm 0,15\text{mm}^3$ para $0,29 \pm 0,14\text{mm}^3$. As diferenças na perda vertical de $131,63 \pm 44,1 \mu\text{m}$ para $493 \pm 79,19 \mu\text{m}$ foram estatisticamente significativas ($p < 0,001$).
Gibreel et al., 2022	Total (n=180) C(n=40) S(n=60) A(n=80)	Avaliar o desgaste e a Mv de nove materiais para fabricação convencional, fresagem subtrativa e impressão 3D de placas oclusais.	O teste de desgaste foi conduzido por um simulador de mastigação. A Mv foi medida usando um microdurômetro com carga de 1,96 N aplicada por 15 segundos, com média de três medições para cada amostra.	Materiais fabricados por C e S apresentaram menor desgaste ($27,5$ a $36,7 \mu\text{m}$) e maior Mv ($16,4$ a $20,4 \text{ VHN}$), sem diferença estatística entre eles ($p > 0,05$). Já os materiais A flexíveis, apresentaram maior desgaste (acima de $70 \mu\text{m}$) e menor Mv ($3,5$ a $5,5 \text{ VHN}$), com diferença estatística significativa em relação aos C e S em PMMA ($p < 0,05$). O armazenamento em água reduziu significativamente a Mv em todos os grupos ($p < 0,001$), exceto nos A flexíveis ($p = 0,737$).

(continua)

Autor/ano	n	Objetivo	Metodologia	Resultados
Billir et al., 2023	Total (n=180) C(n=60) S(n=60) A(n=60)	Avaliar a Ra e topografia do polimento das placas oclusais obtidas utilizando três métodos de fabricação e procedimento de polimento laboratorial e clínico.	A Ra foi medida utilizando um perfilômetro digital de superfície com velocidade constante de 1mm/s e comprimento de medição de 2mm. Foi calculado a média de 3 linhas verticais e 3 linhas horizontais. Posteriormente foram analisadas MEV.	O método de fabricação influenciou significativamente a Ra ($P<0,01$). O C apresentou menor Ra ($0,083\pm0,006\text{ }\mu\text{m}$), seguido do S ($Ra=0,099\pm0,006\text{ }\mu\text{m}$) e do A, que apresentou maior Ra ($0,168\pm0,006\text{ }\mu\text{m}$; $p=0,001$). O polimento reduziu a Ra em todos os métodos, mas a A manteve os maiores valores.
Neto et al., 2023	Total (n=60) C(n=40) A(n=20)	Avaliar a Rx de uma resina de impressão 3D, em comparação com resinas acrílicas convencionais termopolimerizáveis (Ct) e autopolimerizáveis (Ca), e os efeitos da termociclagem sobre elas.	As amostras foram submetidas ao teste de flexão de três pontos. Sob uma distância de 50mm entre os apoios e a carga foi aplicada no núcleo do corpo de prova. O ensaio foi realizado com uma célula de carga de 100N, a uma velocidade constante de 5mm/min, até a ruptura. E comparadas ao grupo controle, as quais não passaram pela termociclagem.	A análise dos dados demonstrou que o fator material (<0.0001) e o fator termociclagem ($p=0.0096$) influenciaram a Rx, entretanto, a interação entre os dois fatores não ($p=0.9728$). As amostras fabricadas em Ct apresentaram maior média de Rx antes e após a termociclagem, (144,90 MPa e 130,40 MPa), seguida pela Cq (122,20 MPa e 112,00 MPa) e A (77,40 MPa e 71,32 MPa).
Guimarães et al., 2023	Total (n=50) C(n=30) S(n=10) A(n=10)	Comparar as propriedades mecânicas de diversos materiais utilizados na fabricação de placas oclusais, analisando a Ra, a Microdureza Knoop (Mk), a Rx e o ME.	Os valores de Mk foram determinados sob uma carga de 25g por 10 s. Para cada amostra, três medições foram registradas. A Ra foi medida por um rugosímetro, cada amostra foi realizada 3 leituras e calculado a média entre elas, com varredura de 300 μm por 12 segundos. Quanto a Rx e ME, foi realizada por meio do teste de flexão de três pontos, em que a velocidade constante foi de 5mm/min até que ocorresse a fratura.	A Ra foi a mesma em todos os grupos. A Mk do grupo S foi estatisticamente superior. As amostras dos grupos A e S apresentaram maior Rx do que as demais amostras. O ME do grupo C foi estatisticamente menor do que o dos demais grupos. As propriedades mecânicas dos materiais utilizados na confecção das placas oclusais diferiram, e o grupo S obteve os melhores resultados em todas as análises.

(continua)

Autor/ano	n	Objetivo	Metodologia	Resultados
Abad-Coronel et al., 2023	Total (n=32) C(n=8) S(n=8) A(n=16)	Comparar a RF de placas oclusais confeccionadas em diferentes materiais após envelhecimento termomecânico.	Foi utilizada sobre a superfície oclusal da placa sobre um modelo em Ni-Cr livre de berílio uma taxa de 0,5mm/min até a ocorrência da falha após aplicação de uma pré-carga de 10N.	A maior resistência RF foi observada na placa oclusal S, com média de 3051,2N em comparação a RF da placa oclusal flexível com 1943,4N, da placa oclusal A com 1489,9N e da placa convencional C com 1303,9N.
Rosentritt et al., 2023	Total (n=74) C(n=37) A(n=74)	Avaliar a Mk e a Ra antes e após a escovação com duas escovas auxiliares diferentes, a Rx, o ME e a adesão microbiana de resinas de I3D e Ct para a produção de dispositivos oclusais.	Avaliou-se Mk (25 gf, 20 s), Ra (0,8 mm cut-off; 0,5 mm/s), e flexão em 3 pontos (n = 10; 5 mm/min; carga 200 N). A adesão microbiana (<i>C. albicans</i> e <i>S. mutans</i> ; n = 9) foi medida por UFC/mL e atividade metabólica com XTT.	Resina A apresentou maior Mk, menor adesão microbiana e atividade metabólica de <i>C. albicans</i> do que C ($p < 0,05$), que por sua vez apresentou maior Rx e ME ($p < 0,05$). A escovação com detergente e dentífrico reduziu a Mk de C e A ($p < 0,05$); o uso de detergente não alterou a Ra de C e A ($p = 1,00$), e o uso de dentífrico aumentou a Ra de C ($p < 0,001$).
Raffaini et al., 2023	Total (n=30) C(n=10) S(n=10) A(n=10)	Avaliar e comparar a estabilidade da cor, a Rx e a Ra de placas oclusais fabricadas com resina acrílica convencional, resina à base de polimetilmetacrilato fresada e resina à base de impressão 3D.	A cor foi avaliada com auxílio de um espectrofotômetro. As medições da Ra foram medidas com auxílio de um rugosímetro com valores de corte de 0,8mm com varredura de 0,25mm/seg e em três locais distintos. Para o procedimento de escovação simulada os espécimes foram submetidos a 73.000 ciclos. Além disso foram submetidos a ciclagem termomecânica a 1.200.000 ciclos e posteriormente realizado o teste de flexão usando um ensaio de flexão de três pontos a uma velocidade constante de 0,5mm/min até que ocorra a fratura.	Após ciclagem termomecânica a A apresentou menor Ra. Após a escovação a resina S apresentou maior Ra e maior alteração de cor em comparação a resina A. Independentemente do envelhecimento, a resina S exibiu o maior Rx ($P < 0,05$), exceto quando comparada à resina A submetida a termociclagem. A resina C exposta a termociclagem demonstrou o menor Rx, diferente ($P < 0,05$) do controle. Sob condições de controle, a resina S exibiu o maior Rx, diferente ($P < 0,05$) do grupo escovado. A resina A submetida a termociclagem apresentou o maior Rx ($P < 0,05$).

(continua)

Autor/ano	n	Objetivo	Metodologia	Resultados
Lawson et al., 2024	Total (n=80) C(n=40) S(n=10) A(n=50)	Comparar a RD e Mv de materiais de dispositivos oclusais impressos em 3D flexíveis e rígidos com materiais de dispositivos oclusais fresados e processados convencionalmente.	Os espécimes foram submetidos a 400.000 ciclos em máquina de desgaste com carga de 20 N, deslizamento de 2 mm, antagonista de zircônia e lubrificação com glicerina 33%. O desgaste volumétrico foi medido por perfilometria óptica e a Mv foi determinada com carga de 1,96 N por 15 s.	Materiais A rígidos apresentaram baixo desgaste (0,011–0,028 mm ³) e alta Mv (20,3–20,7), semelhantes aos materiais S (0,041 mm ³ ; 22,7), e C (0,040 mm ³ ; 20,8). Materiais A apresentaram maior desgaste (0,250–0,289 mm ³) e menor Mv (6,1–7,4). Correlação negativa significativa entre dureza e desgaste ($r = -0,93$; $P < 0,001$).
Maleki et al., 2024	Total (n=1140) C(n=190) S(n=475) A(n=475)	Avaliar o efeito do material e do envelhecimento artificial na Rx, ME, Mm, sorção e solubilidade em água bem como na taxa de conversão, a fim de identificar as oportunidades e limitações de diferentes materiais para dispositivos oclusais.	O ensaio de flexão de três pontos foi realizado com velocidade de 5mm/min, com distância entre os apoios de 50mm, sendo calculada a partir da deformação máxima ou fratura. A Mm foi medida com auxílio de um indentador por indentador de diamante vickers com uma força de 9,81 N, onde foi realizada três medições. A sorção foi medida com repetidas colocações em dessecador contendo sílica em gel, e calculado o volume com base na média de três medições.	Os maiores valores de Rx foram observados nos S (3,8–107 MPa), seguidos pelos C (99,7–102 MPa) e A (1,9–90,7 MPa). O ME foi mais elevado nos C (2,8 GPa), seguido por S (0,1–2,7 GPa) e A (0,0–2,4 GPa). A Mm foi superior nos S (50,2–171 N/mm ²), com valores próximos nos C (143–151 N/mm ²) e menores nos A (14,5–126 N/mm ²). A sorção de água foi menor nos S (4,5–23,5µg/mm ³), seguida pelos C (22,5–23,3µg/mm ³) e A (23,1–41,2 µg/mm ³). A solubilidade foi mais baixa nos S, seguido de C e A.

(conclusão)				
Autor/ano	n	Objetivo	Metodologia	Resultados
Carvalho-Silva et al., 2025	Total (n=94) C(n=47) A(n=47)	Avaliar a Mk e a Ra antes e após a escovação com duas escovas auxiliares diferentes (dentifrício e detergente neutro), a Rx, o ME e a adesão microbiana da resina impressa e da resina Ct para a produção de dispositivos oclusais.	A ME foi avaliada por indentação a 25gf/20 s em um microdurômetro. A Ra foi analisada utilizando velocidade de deslocamento de 0,5 mm/s, um comprimento de deslocamento de 4 mm e uma faixa de medição de $\pm 200 \mu\text{m}$. Após as amostras foram submetidas à escovação simulada por 100 min (velocidade de 356 ciclos/min). A resistência à flexão em três pontos foi avaliada antes da escovação com célula de carga de 200N e velocidade de 5mm/min. Amostras com biofilmes de <i>C. albicans</i> e <i>S. mutans</i> foram incubadas por 48 h, lavadas, submetidas a ultrassom e analisadas por CFU/mL e atividade metabólica com XTT (492 nm).	A resina A apresentou maior Mm que a C antes e após a escovação ($p = 0,001$). A escovação com detergente e dentifrício reduziu a Mm de ambas as resinas ($p = 0,001$). Não houve diferença na Ra inicial entre A e C ($p = 0,100$). Após escovação, apenas C apresentou aumento de Ra com dentifrício ($p = 0,001$). Para A, a escovação com dentifrício ($p = 0,706$) e detergente ($p = 1,00$) não alterou a Ra. CI apresentou maior Rx ($p = 0,001$) e ME ($p = 0,001$) que A. C teve maior contagem de <i>C. albicans</i> ($p = 0,004$) e maior atividade metabólica ($p = 0,047$); para <i>S. mutans</i> , não houve diferença entre os grupos ($p = 0,100$).

Fonte: Elaborado pelo autor (2025).

Legenda: C: Convencional; Ct: Convencional termopolimerizável; Ca: Convencional autopolimerizável; S: Subtrativa; A: Aditiva; Ra: Rugosidade Superficial; RD: Resistência ao desgaste; RF: Resistência à fratura; Rx: Resistência à flexão; D: Dureza superficial; Mm: Microdureza Martens; Mv: Microdureza Vickers; Mk: Microdureza Knoop; ME: Módulo de elasticidade; MEV: Microscopia eletrônica em varredura.

Tabela 3: Revisão de literatura: análise objetiva dos estudos incluídos

(continua)

Autor / ano	Espécimes	Propriedade	Resultados
Huettig et al., 2017	Cilíndrica	Ra e RD	A técnica convencional teve maior Ra antes da termociclagem e menor RD após, comparada à aditiva.
Lutz et al., 2019	Placa oclusal em coroa	RD e RF	RF inicial foi maior na convencional. Após a mastigação simulada, a RF caiu na convencional, mas se manteve na aditiva. A aditiva teve menor RD do que a convencional em todos os testes realizados.
Prpic et al., 2019	Retangular	Rx e D	A técnica convencional teve maior Rx e D que a técnica aditiva.
Berli et al., 2020	Retangular	Rx, Mm, Mv e ME	Os materiais convencionais tiveram maior Rx, Mm, Mv e ME que os aditivos. Após envelhecimento, obtiveram redução nas propriedades avaliadas, sendo que alguns materiais aditivos não atingiram valores mínimos para teste.
Grymak et al., 2021	Retangular	Ra, D e ME	A técnica convencional teve maior D, menor Ra e maior ME que a aditiva. O polimento reduziu a Ra da convencional. Não houve diferença significativa no brilho.
Wesemann et al., 2021	Cilíndrica e retangular	Mv, RD, Rx e ME	Não houve diferença significativa na RD. Os espécimes convencionais apresentaram maior Mv, ME e Rx em comparação às aditivas.
Grymak et al., 2022	Anel	RD	A aditiva teve menor perda volumétrica, mas menor resistência ao desgaste vertical que a convencional após 12 meses, com diferença significativa.
Gibreel et al., 2022	Retangular	RD e Mv	Materiais aditivos apresentaram maior RD e menor Mv em comparação aos convencionais. O armazenamento em água reduziu a Mv de todos os grupos, exceto dos impressos flexíveis.

(conclusão)

Autor/ano	Espécimes	Propriedade	Resultados
Billir et al., 2023	Circular	Ra	O método convencional apresentou menor Ra superficial em comparação à aditiva. Mesmo após o polimento, as aditivas mantiveram os maiores valores de Ra.
Neto et al., 2023	Retangular	Rx	A Rx foi maior nos materiais convencionais, tanto antes quanto após a termociclagem, enquanto os materiais aditivos apresentaram os menores valores.
Guimarães et al., 2023	Retangular	Ra, Mk, Rx e ME	A Ra foi semelhante entre os grupos. Os espécimes convencionais apresentaram maior Mk, Rx e ME em comparação aos materiais aditivos.
Abad-Coronel et al., 2023	Placa oclusal de três elementos	RF	A placa convencional apresentou menor RF em comparação à impressa em 3D.
Rosentritt et al., 2023	Retangular	Mk, Ra, Rx e ME	Os materiais aditivos apresentaram maior Mk, enquanto a convencional teve maior Rx e ME. Não houve diferença na Ra entre materiais.
Raffaini et al., 2023	Retangular e Circular	Rx e Ra	Após termociclagem, os espécimes aditivos apresentaram menor Ra. A resina 3D submetida à termociclagem teve maior Rx, enquanto a resina convencional mostrou a menor Rx.
Lawson et al., 2024	Retangular	RD e Mv	Os materiais aditivos mostraram RD e Mv próximos aos dos materiais convencionais, indicando desempenho semelhante entre as duas técnicas.
Maleki et al., 2024	Retangular e circular	Rx, ME e Mm	A Rx, o ME e a Mm foram maiores nos materiais convencionais em comparação aos aditivos.
Carvalho-Silva et al., 2025	Retangular	Mk, Ra, Rx, ME	A resina aditiva apresentou maior Mk, enquanto a resina convencional teve maior Rx e ME. A escovação reduziu a Mk de ambas as resinas.

Fonte: Elaborado pelo autor (2025).

Legenda: Ra: Rugosidade Superficial; RD: Resistência ao desgaste; RF: Resistência à fratura; Rx: Resistência à flexão; D: Dureza superficial; Mm: Microdureza Martens; Mv: Microdureza Vickers; Mk: Microdureza Knoop; ME: Módulo de elasticidade.

5 DISCUSSÃO

Diante das exigências funcionais, os dispositivos oclusais devem apresentar resistência à fratura suficiente para suportar forças mastigatórias elevadas (Wesemann et al., 2021). Além disso, é essencial que apresentem propriedades biomecânicas semelhantes às da dentina, no que se refere a microdureza (250 a 800 MPa) e ao módulo de elasticidade (10 a 20 GPa), a fim de assegurar adequada absorção de impactos, resistência ao desgaste, rugosidade superficial aceitável e estabilidade oclusal a longo prazo (Abad-Coronel et al., 2023).

Durante a ocorrência dos hábitos parafuncionais, os materiais são submetidos a forças oclusais intensas, que podem atingir até 785 N (Gibreel et al., 2022; Guimarães et al., 2023). Nesse contexto, os dispositivos devem apresentar estabilidade oclusal adequada para suportar não apenas as cargas mastigatórias aplicadas, mas também as condições adversas do ambiente bucal, sem comprometer suas propriedades mecânicas (Berli et al., 2020; Guimarães et al., 2023).

5.1 PLACAS OCLUSAIS

As placas oclusais são dispositivos removíveis que proporcionam estabilidade oclusal, com contatos dentais bilaterais e simultâneos, reduzindo a sobrecarga nas ATM e nos músculos mastigatórios (Abad-Coronel et al., 2023; Lutz et al., 2018). O mecanismo de ação das placas oclusais está relacionada a adequada distribuição das forças oclusais exercidas sobre os dentes, contribuindo para a proteção dos tecidos dentários e periodontais (Gibreel et al., 2022). Ademais, a eficácia clínica está associada à regularidade de acompanhamentos e da precisão dos ajustes oclusais realizados pelo profissional durante o todo o curso do tratamento (Abad-Coronel et al., 2023).

Para terapia com placas oclusais, os dispositivos podem ser confeccionados por diferentes métodos de manufatura, incluindo as TC com resinas acrílicas autopolimerizáveis (Ca) e termopolimerizáveis (Ct), bem como as digitais, como a manufatura subtrativa, utilizando polímeros de PMMA via sistema CAD/CAM, e MA por meio de impressoras 3D (Guimarães et al., 2023).

5.2 MANUFATURA

A TC apresenta maior suscetibilidade à variabilidade devido à influência do operador (Abad-Coronel et al., 2023; Lutz et al., 2019). O processamento inadequado da resina acrílica pode reduzir a taxa de conversão de ligações duplas (Abad-Coronel et al., 2023; Lutz et al., 2019), favorecendo a formação de monômeros residuais, a presença de falhas de preenchimento ou bolhas e heterogeneidade estrutural do material (Abad-Coronel et al., 2023; Lutz et al., 2019; Raffaini et al., 2023). Essas alterações predispõem à fraturas, instabilidade dimensional (Abad-Coronel et al., 2023) e resistência limitada ao desgaste (Raffaini et al., 2023). Além dessas limitações intrínsecas ao material e ao processo, destaca-se o longo tempo de confecção exigido pelos laboratórios de prótese dentária (Abad-Coronel et al., 2023).

A partir das limitações da TC, as placas oclusais confeccionadas por meio de fluxo de trabalho digital tornaram-se alternativas terapêuticas promissoras para o controle sintomatológico do paciente (Huettig et al., 2017). A MA possibilitou a simplificação de múltiplas etapas anteriormente exigidas nas TC de confecção (Grymak et al., 2021). Consequentemente, a fabricação dos dispositivos tornou-se significativamente mais rápidos em relação com as TC (Lutz et al., 2019; Grymak et al., 2021), destacando-se a prevalência da I3D, especialmente em cenários clínicos que demandam a produção simultânea de múltiplos aparelhos em um curto intervalo de tempo (Grymak et al., 2022).

Nesse contexto, os métodos digitais permitem a aquisição precisa dos dados das duas arcadas dentárias mediante escaneamento intraoral, integrado a softwares específicos para posterior confecção de placas por I3D (Abad-Coronel et al., 2023). As placas oclusais por I3D são produzidas pela adição sucessiva de camadas de material, dando origem a um modelo tridimensional com alto grau de complexidade geométrica (Abad-Coronel et al., 2023; Bilir et al., 2023). Essa abordagem proporciona um planejamento com maior acurácia, resultados clínicos mais previsíveis, melhor retenção e alta reprodutibilidade (Abad-Coronel et al., 2023; Santos Neto et al., 2023).

Dentre as tecnologias aditivas disponíveis, a SLA configura-se como uma das tecnologias de I3D mais empregadas na Odontologia para confecção de placas oclusais (Abad-Coronel et al., 2023; Prpic et al., 2019). Essa técnica baseia-se na utilização de um feixe de laser para converter uma resina do estado líquido para o sólido sob luz ultravioleta (Abad-Coronel et al., 2023), camada por camada

progressivamente até que o objeto final seja concluído com base no arquivo digital (Prpic et al., 2019). O processo de formação sequencial das camadas resulta em modelos com elevado grau de precisão e acabamento superficial refinado (Abad-Coronel et al., 2023). Nesse viés, a SLA se destaca devido à sua facilidade de manuseio, alta precisão dimensional, excelente acabamento superficial e utilização eficiente do material, minimizando o desperdício durante o processo de fabricação (Raffaini et al., 2023).

Em contraste, a I3D por DLP projeta uma imagem única de cada camada sobre toda a plataforma de construção simultaneamente, promovendo a polimerização simultânea de toda a superfície exposta da resina (Abad-Coronel et al., 2023; Santos Neto et al., 2023). Esse mecanismo confere à tecnologia DLP uma maior velocidade de produção em relação à SLA, visto que o tempo de formação de cada camada permanece constante, independente da complexidade geométrica ou da quantidade de objetos impressos simultaneamente (Maleki et al., 2024).

A precisão dimensional nas tecnologias SLA e DLP está relacionada ao controle dos eixos “X”, “Y” e “Z”. Os eixos “X” e “Y” correspondem a resolução horizontal, responsáveis pela definição da geometria bidimensional de cada camada por deposição dos materiais, enquanto no eixo “Z” determina a espessura das camadas sucessivas, influenciando a resolução vertical do objeto impresso (Abad-Coronel et al., 2023). Embora a tecnologia SLA ainda seja amplamente utilizada para confecção de placas oclusais, em virtude de sua elevada fidelidade e detalhamento, o método DLP tem se consolidado como a principal alternativa na prática clínica, devido à sua maior eficiência, elevada velocidade de produção e precisão satisfatória para essa aplicação (Maleki et al., 2024). Entretanto, ainda há outras tecnologias de impressão 3D utilizadas para confecção de placas oclusais, como a *Liquid Crystal Display* (LCD), que combina agilidade de processamento e precisão geométrica (Abad-Coronel et al., 2023; Maleki et al., 2024).

5.3 PROPRIEDADES FÍSICO-MECÂNICAS

As placas oclusais estão sujeitas a fraturas no uso rotineiro, devido a tensões, geradas durante a inserção e remoção ou devido a altas cargas oclusais, logo, as propriedades mecânicas são de grande importância clínica (Maleki et al., 2024). Materiais com desempenho mecânico inadequado podem apresentar desgaste

precoce, formação de trincas ou fraturas, além de favorecer a adesão microbiana, comprometendo a estabilidade dos contatos oclusais e reduzindo a longevidade funcional do dispositivo (Gibreel et al., 2022; Huettig et al., 2017).

Nesse contexto, os dispositivos confeccionados por I3D necessitam da análise quanto às suas propriedades físico-mecânicas, a fim de assegurar sua viabilidade como opção terapêutica de longo prazo (Abad-Coronel et al., 2023; Santos Neto et al., 2023).

5.3.1 Resistência à Flexão e Módulo de Elasticidade

Relatos de fratura de dispositivos oclusais, seja em decorrência de quedas acidentais ou do desgaste progressivo do material, não são incomuns na prática clínica (Raffaini et al., 2023). Nesse contexto, a resistência à flexão (Rx) é um parâmetro fundamental, pois determina a resistência de um material às forças que poderiam causar a sua fratura ou deformação (Raffaini et al., 2023; Santos Neto et al., 2023). Esse parâmetro pode ser comprometido com o envelhecimento do material, o que aumenta a suscetibilidade dos dispositivos à fratura ao longo do tempo (Raffaini et al., 2023). Embora a flexibilidade seja importante para a absorção de energia em impactos, dispositivos oclusais com maior Rx são considerados mais adequados para pacientes com bruxismo (Prpic et al., 2019).

Nesse viés, a Rx é um parâmetro fundamental para avaliação da força necessária para fraturar o material, bem como de sua capacidade de resistir à propagação de trincas (Maleki et al., 2024; Raffaini et al., 2023). Já o módulo de elasticidade (ME) caracteriza a rigidez do material, indicando sua capacidade de resistir à deformação elástica quando submetido a tensões mecânicas (Maleki et al., 2024). Um alto ME está associado a materiais mais rígidos, que suportam maiores cargas sem apresentar deformações significativas (Maleki et al., 2024; Guimarães et al., 2023).

A partir desse contexto, Guimarães et al. (2023) investigaram as propriedades mecânicas de resinas acrílicas produzidas por TC, em que as resinas acrílicas Ca apresentaram menores valores de Rx e ME quando comparadas às Ct, devido a este material conter mais monômero residual, o que compromete suas propriedades mecânicas. Ainda assim, os materiais obtidos por I3D apresentaram valores inferiores aos das resinas Ct, indicando desempenho mecânico menos favorável (Guimarães et

al., 2023). Esse achado corrobora outros estudos que também relataram desempenho inferior das resinas produzidas por I3D, tanto em Rx quanto no ME (Carvalho-Silva et al., 2025; Raffaini et al., 2023; Rosentritt et al., 2023; Prpic et al., 2019; Santos Neto et al., 2023; Wesemann et al., 2021), o que pode comprometer a durabilidade do dispositivo (Grymak et al., 2021; Santos Neto et al., 2023).

Wesemann et al. (2021) avaliaram três marcas comerciais amplamente utilizadas na MA e constataram que, em todas elas, o Rx foi inferior ao dos materiais convencionais, representando uma limitação técnica dos sistemas de impressão atualmente disponíveis. Os autores também afirmam que os materiais fabricados por TC apresentaram os maiores valores de Rx, enquanto os materiais fabricados por I3D apresentaram os menores (Wesemann et al., 2021).

Corroborando com estes achados, Prpic et al. (2019), relataram valores de Rx significativamente maiores nos materiais de TC em comparação aos materiais I3D ($p = 0,042$ e $p = 0,011$, respectivamente). No mesmo viés, Rosentritt et al. (2023) também demonstraram a superioridade dos materiais de TC, apontando que o grupo apresentou maior Rx e ME, com significância estatística ($p < 0,05$). De forma semelhante, Carvalho-Silva et al. (2025) constataram que os materiais de TC exibiram Rx e ME significativamente superior quando comparados aos materiais obtidos por MA ($p = 0,001$).

Diversos estudos demonstraram que além do tipo de material, o envelhecimento artificial influencia significativamente a Rx e o ME de placas oclusais (Berli et al., 2020; Guimarães et al., 2023; Maleki et al., 2024; Raffaini et al., 2023; Santos-Neto et al., 2023). Segundo Santos Neto et al. (2023) as amostras fabricadas por TC apresentaram maior média de Rx e ME antes e após passagem pela termocicladora, apresentando 144,90 MPa e 130,40 MPa, respectivamente, enquanto a I3D 122,20 MPa e 112,00 MPa.

Esses dados são consistentes com os achados de Raffaini et al. (2023), que observaram redução da Rx em resinas submetidas à escovação e envelhecimento térmico, especialmente nos materiais de TC. Os autores também relataram que a resina I3D submetida à termociclagem apresentou desempenho satisfatório, sugerindo que, mesmo em condições simuladas de uso clínico prolongado, certos materiais aditivos podem preservar propriedades mecânicas adequadas.

Essa influência do envelhecimento artificial também foi observada por Berli et al. (2020), os quais relataram uma redução significativa na Rx de materiais de I3D

após o processo de envelhecimento térmico. Os autores sugeriram que esse comportamento pode estar relacionado à maior solubilidade de determinadas resinas, que compromete sua integridade estrutural. De forma semelhante, Santos-Neto et al. (2023) destacaram que as propriedades de flexão das resinas de impressão foram negativamente afetadas após a termociclagem, com redução nos valores de Rx e ME, ressaltando a importância de se avaliar o comportamento mecânico desses materiais ao longo do tempo.

5.3.2 Resistência à Fratura e ao Desgaste

O desgaste pode ser definido como a quantidade de material removido (Gibreel et al., 2022), por uma perda contínua de superfície como resultado da interação mecânica entre duas superfícies que exibem movimento (Grymak et al., 2022) ou como o volume de material que foi removido (Grymak et al., 2022). Essa propriedade pode ser alterada por fatores como absorção de água e envelhecimento hidrotérmico (Huettig et al., 2017). Enquanto a resistência à fratura (RF) é a força que um material consegue suportar antes que ocorra a fratura (Abad-Coronel et al., 2023). Assim, a RF e a resistência ao desgaste (RD) de um material de dispositivo oclusal é uma propriedade importante, pois afetará seu desempenho clínico. (Abad-Coronel et al., 2023; Lawson et al., 2024)

Lutz et al. (2019) observaram que, apesar da significativa perda de volume no material I3D, a RF permaneceu estável após a simulação de mastigação, evidenciando boa confiabilidade, resistência ao envelhecimento e homogeneidade do material. Esse desempenho foi atribuído não apenas à composição química, mas também aos parâmetros específicos do processo de I3D. Ainda nesse estudo, os materiais de I3D demonstraram maior RF do que os materiais de TC após a simulação funcional, pois a resistência dos convencionais diminuiu significativamente ($p < 0,001$), enquanto nos materiais por I3D essa redução não foi estatisticamente significativa ($p = 0,78$), indicando maior estabilidade frente ao envelhecimento funcional (Lutz et al., 2019).

Complementando esses resultados, Abad-Coronel et al. (2023) confirmaram que, embora tenha ocorrido perda volumétrica, a tenacidade à fratura dos materiais I3D não foi afetada após a simulação mastigatória, o que foi atribuído à homogeneidade proporcionada pelo processo de impressão. No entanto, os autores

destacaram que esse material seria mais indicado para uso de curto prazo. Além disso, relataram que os dispositivos fabricados por I3D apresentaram menor risco de fratura e menor potencial de desgaste em comparação aos convencionais. Os materiais impressos demonstraram RF superior aos materiais de TC, com valores médios de 1489,9 N para os impressos e 1303,9 N para os de TC, evidenciando um desempenho mecânico mais satisfatório, sobretudo no que se refere à RF (Abad-Coronel et al., 2023).

Quanto à RD Grymak et al. (2022) observaram uma mudança significativa na perda volumétrica de materiais de TC e I3D entre seis e doze meses de envelhecimento hidrotérmico. No mesmo estudo, os autores relataram que a maior RD foi evidenciada nos materiais de TC, enquanto os materiais I3D apresentaram o pior desempenho nesse parâmetro (Grymak et al., 2022).

Resultados semelhantes foram encontrados por Gibreel et al. (2022), que verificaram menor desgaste em materiais de TC (27,5 a 36,7 μm) após armazenamento em água, sem diferença estatística entre os grupos ($p > 0,05$). Em contrapartida, materiais I3D, especialmente os flexíveis, apresentaram maior desgaste (acima de 70 μm), com diferença estatisticamente significativa em relação aos convencionais ($p < 0,05$). Os autores ainda relataram que os materiais de placas oclusais por I3D apresentaram menor RD do que os materiais por TC, reforçando a inferioridade relativa dos sistemas aditivos em termos de durabilidade (Gibreel et al., 2022).

Complementando esses achados, Huettig et al. (2017) realizaram um ensaio com 5.000 ciclos de pressão de superfície e relataram valores médios de desgaste de 111,4 μm para o grupo convencional, e 99,1 μm para o grupo aditivo, evidenciando desempenho intermediário para os materiais de I3D. Por outro lado, Lawson et al. (2024) encontraram baixa perda volumétrica em materiais rígidos de I3D, variando de 0,011 a 0,028 mm^3 , sugerindo que alguns materiais aditivos podem apresentar comportamento favorável frente ao desgaste.

Abad-Coronel et al. (2023) também contribuíram para esse panorama, concluindo que materiais de placas oclusais por TC apresentaram uniformidade na resistência ao desgaste, independentemente da técnica de fabricação. Em contraste, a resina I3D demonstrou maior desgaste, o que pode limitar seu desempenho em aplicações de longo prazo.

Embora Huettig et al. (2017) tenham relatado que RD foi comparável entre materiais convencionais, subtrativos e aditivos, esse resultado contrasta com os achados de outros autores. Lutz et al. (2019), por exemplo, indicaram que os valores de perda de volume observados em materiais aditivos foram diferentes dos reportados por Huettig et al. (2017), sugerindo maior desgaste dos materiais de TC em determinadas condições, o que coloca em dúvida a equivalência funcional entre essas técnicas de fabricação.

Essa discrepância também foi evidenciada por Prpic et al. (2019), que também critica os achados de Huettig et al. (2017) ao constatarem que uma resina fotopolimerizável não acrílica produzida por MA apresentou menor desgaste em comparação com uma resina acrílica convencional, o que contradiz diretamente os dados de RD equivalentes entre os grupos avaliados por Huettig et al. (2017).

Segundo Prpic et al. (2019), tais resultados opostos podem ser explicados pelas diferentes propriedades analisadas nos estudos, já que alguns avaliaram RD, enquanto outros consideraram dureza superficial (D) como parâmetro indireto. Embora a D seja frequentemente associada à RD, diversos estudos encontraram correlação parcial entre essas variáveis, enquanto outros autores apontam ausência dessa relação de forma consistente. Portanto, investigações mais abrangentes, especialmente ensaios clínicos, são necessárias para que se possa estabelecer uma comparação precisa entre a D e a RD dos materiais empregados na confecção de dispositivos oclusais por diferentes métodos de fabricação (Prpic et al., 2019).

Corroborando essa percepção, Wesemann et al. (2021) relataram que os dispositivos oclusais fabricados por I3D demonstraram RD satisfatória, sendo inclusive considerados adequados para uso prolongado. Por outro lado, outros estudos demonstraram desgaste significativamente maior nos dispositivos I3D quando comparados a materiais por TC (Lawson et al., 2024), o que revela uma divergência nos achados experimentais sobre o desempenho clínico desses materiais. Por fim, Huettig et al. (2017) ponderam que, mesmo havendo diferenças detectáveis no desgaste entre os materiais, a relevância clínica dessas diferenças permanece incerta.

5.3.3 Rugosidade Superficial

Placas oclusais devem apresentar superfície lisa e uniforme, a fim de minimizar a adesão de biofilme e proporcionar conforto ao paciente, especialmente em relação ao contato com a língua (Grymak et al., 2021). Superfície rugosas favorecem alterações de cor no aparelho devido ao acúmulo de pigmentos de alimentos e bebidas e adesão de microrganismos, como bactérias e fungos, incluindo *C. albicans* (Grymak et al., 2021; Raffaini et al., 2023). Nesse viés, a presença de placa bacteriana na superfície das placas oclusais pode contribuir para desenvolvimento de doenças gengivais e cáries. Além da textura superficial, outras variáveis como o tipo de material e a energia livre da superfície também influenciam o acúmulo de biofilme em placas oclusais (Bilir et al., 2023).

Dessa forma, a uniformidade da placa oclusal é fundamental para a saúde bucal e a longevidade do paciente, sendo que valores de rugosidade superficial (R_a) inferiores a $0,2\text{ }\mu\text{m}$ não impactam significativamente o número de microrganismos ou sua patogenicidade (Guimarães et al., 2023). Entretanto, a literatura apresenta grande variabilidade nos valores médios de R_a , como evidenciado por Guimarães et al. (2023), que relataram variações de R_a entre $0,07\text{ }\mu\text{m}$ e $0,15\text{ }\mu\text{m}$ em diferentes grupos de resinas acrílicas, apontando ainda que as resinas autopolimerizáveis tendem a apresentar maiores valores de R_a , possivelmente devido ao maior teor de monômero residual, que favorece a formação de poros e compromete as propriedades mecânicas.

Resultados similares foram observados por Huettig et al. (2017), que encontraram R_a comparável entre os espécimes estudados, com valores de R_a em torno de $0,048$ a $0,062\text{ }\mu\text{m}$, confirmando a consistência na textura superficial entre diferentes materiais. Por outro lado, Grymak et al. (2021) demonstraram que o polimento e o brilho final podem modificar a R_a , variando de um aumento inicial após o polimento até uma redução após o brilho, evidenciando a influência dos procedimentos de acabamento. Nesse mesmo estudo, os materiais impressos com um ângulo de 45° apresentaram a maior R_a nas amostras de controle, reforçando a influência do ângulo de fabricação na textura superficial.

Em relação aos métodos de fabricação, Bilir et al. (2023) verificaram que a TC produz superfícies com R_a ($R0,083\pm0,006\text{ }\mu\text{m}$) em comparação ao I3D, que apresentou a maior R_a ($0,168\pm0,006\text{ }\mu\text{m}$; $p=0,001$). Essa maior R_a na MA está de acordo com os achados, indicando que placas oclusais produzidas por MA tendem a ter superfícies mais rugosas, o que pode influenciar na retenção de biofilme e conforto

do paciente. Contudo, Guimarães et al. (2023) observaram que, apesar dessas diferenças, a Ra pode ser semelhante entre grupos, sugerindo que outros fatores, como tratamento superficial e acabamento, também desempenham papel importante.

Em contrapartida, Raffaini et al. (2023) destacaram que, apesar da menor RD observada em resinas 3D em comparação com materiais de TC, essa resistência reduzida pode estar relacionada ao menor teor de carga das resinas de I3D, necessária para garantir baixa viscosidade e facilitar o fluxo do material durante a fabricação, o que contribui para superfícies inicialmente lisas. De fato, a resina de I3D apresentou a menor alteração na Ra após envelhecimento hidrotérmico, indicando maior RD quando comparada a outros tipos de resina (Raffaini et al., 2023). Além disso, após escovação abrasiva, observou-se uma redução na Ra da resina I3D, sugerindo uma superfície ainda mais lisa, efeito atribuído ao baixo teor de carga da resina (Raffaini et al., 2023).

Comparativamente, a resina confeccionada por TC demonstrou maior Ra e alteração de cor ,após escovação, em relação à resina I3D (Raffaini et al., 2023). No que tange aos agentes utilizados na limpeza, Rosentritt et al. (2023) verificaram que o uso de detergente não alterou a Ra das resinas de TC ($p = 1,00$), enquanto o uso de dentífrico aumentou significativamente a Ra das resinas de TC ($p < 0,001$). Para os materiais fabricados pelo método aditivo, Carvalho-Silva et al. (2025) não observaram alterações significativas na Ra após escovação com dentífrico ($p = 0,706$) ou detergente ($p = 1,00$), corroborando a maior estabilidade superficial desses materiais frente aos procedimentos de higienização. Portanto, os estudos incluídos apresentam resultados divergentes quanto à RD dos materiais impressos por I3D, o que pode ser atribuído, principalmente, às diferenças metodológicas entre os trabalhos.

5.3.4 Microdureza e Dureza Superficial

A dureza superficial (D) constitui uma propriedade fundamental dos materiais dentários, pois reflete sua capacidade de resistir à penetração e à abrasão, afetando diretamente a longevidade das restaurações protéticas durante a função mastigatória e os processos de higienização (Gibreel et al., 2022; Prpic et al., 2019). Trata-se de um parâmetro crítico para materiais submetidos a elevados estresses mecânicos, como forças oclusais e de apertamento, uma vez que está relacionada à capacidade

de suportar deformações, arranhões e falhas estruturais em função do uso contínuo (Grymak et al., 2021).

A caracterização da D pode ser realizada por meio de ensaios padronizados como os métodos de Vickers, Knoop, Brinell e Martens, os quais variam conforme o tipo de carga e formato do penetrador (Rosentritt et al., 2023). Assim, a D pode ser subclassificada em microdureza e macrodureza, de acordo com a profundidade da indentação e a magnitude da carga aplicada. A microdureza é especialmente útil na avaliação de superfícies finas e heterogêneas, enquanto a macrodureza se aplica a análise de volumes maiores de material e estruturas mais densas (Maleki et al., 2024; Rosentritt et al., 2023).

Além da caracterização técnica, a análise da D permite inferências importantes sobre o comportamento elasto-plástico do material e sua degradação induzida pelo envelhecimento, além de influenciar diretamente a escolha do material para dispositivos oclusais de uso prolongado (Maleki et al., 2024).

Essa relevância é especialmente evidenciada quando se consideram as intensas cargas funcionais e parafuncionais envolvidas no contexto clínico. Atividades como o bruxismo podem gerar forças superiores a 785 N, o que torna a D um requisito fundamental para os materiais utilizados em dispositivos oclusais (Prpic et al., 2019). Nesse contexto, a D do material influencia diretamente a capacidade da resina em manter uma superfície polida e resistente ao desgaste provocado por contatos oclusais repetitivos e estímulos alimentares (Grymak et al., 2021). Como descrito por Darvell (2018 *apud* Grymak et al., 2021), quanto maior a D da resina, mais duradouro será o brilho superficial e menor será a degradação funcional do dispositivo ao longo do tempo.

Considerando esse cenário clínico, os materiais fabricados por TC demonstraram maior consistência para D, seguido pelas resinas I3D (Prpic et al., 2019). Foi sugerido que o ângulo de construção de 45° na I3D pode contribuir para redução da concentração de tensões, resultando em valores de dureza semelhantes aos das placas convencionais (Grymak et al., 2021).

Corroborando esses achados, Gibreel et al. (2022) e Grymak et al. (2022) observaram valores superiores de D nos materiais por TC em comparação com os materiais I3D, sendo que estes, especialmente os flexíveis, mostraram os menores valores. Tal diferença pode ser atribuída ao aumento da absorção de água observado

nos materiais fabricados por MA, característica que compromete suas propriedades ao longo do tempo (Wesemann et al., 2021).

Entre os fatores que influenciam negativamente a D dos materiais I3D, o armazenamento em água provocou uma redução significativa na D para a maioria dos materiais, especialmente nos fabricados por I3D, que apresentaram perdas variando entre 27,5% e 36,4%. Esse declínio está relacionado à presença de micro espaços intercamadas nos fotopolímeros, os quais favorecem a difusão de água e a consequente deterioração das propriedades mecânicas (Gibreel et al., 2022; Guimarães et al., 2023; Rosentritt et al., 2023).

Esses efeitos se refletem nos valores médios obtidos nos ensaios, os quais indicam resinas de TC variando entre 130,1 e 134,1 N/mm² na microdureza Martens (Mm), enquanto valores de microdureza Vickers (Mv) situam-se entre 18,2 e 19,9 (Berli et al., 2020). Em contraste, materiais I3D frequentemente apresentam D inferior (Prpic et al., 2019), com alguns espécimes ficando abaixo do limite mínimo recomendado para ensaios (Berli et al., 2020; Prpic et al., 2019).

Apesar da tendência geral de D inferior nas resinas obtidas por I3D, algumas pesquisas indicam que certos materiais impressos apresentam maior D, inclusive após simulações de escovação mecânica (Carvalho-Silva et al., 2025; Rosentritt et al., 2023). Lawson et al. (2024) também reportaram D elevada em resinas I3D (20,3–20,7 VH), comparável às resinas Ct (20,8 VH), evidenciando o impacto significativo da composição e dos protocolos de pós-processamento.

Ainda assim, de modo abrangente, as resinas Ct apresentaram maiores valores de D em relação aos demais (Guimarães et al., 2023), com Mv reportada entre 143 e 151 N/mm². Já os I3D apresentaram ampla variação (14,5–126 N/mm²), refletindo sua heterogeneidade composicional e sensibilidade ao ambiente (Maleki et al., 2024).

Embora os materiais confeccionados por TC ainda apresentem, em média, os melhores resultados, a crescente sofisticação das tecnologias aditivas, associada à composição e ao controle do pós-processamento, vem permitindo a obtenção de resinas I3D com desempenho comparável ou até superior (Carvalho-Silva et al., 2025; Lawson et al., 2024; Rosentritt et al., 2023). Assim, a avaliação integrada da D, aliada a consideração dos fatores clínicos e ambientais, é essencial para uma seleção adequada do material para aplicações clínicas prolongadas e com demandas mecânicas elevadas (Berli et al., 2020; Grymak et al., 2021; Prpic et al., 2019; Wesemann et al., 2021).

5.4 IMPLICAÇÕES CLÍNICAS E PERSPECTIVAS FUTURAS

A MA é influenciada por diversos fatores, como a composição e tecnologia dos materiais, a orientação de impressão e a espessura das camadas, que em conjunto determinam o desempenho mecânico e as propriedades finais dos dispositivos oclusais (Huettig et al., 2017). Apesar de apresentarem vantagens como economia de tempo, simplicidade do processo, redução de desperdício e custo-benefício, os dispositivos I3D ainda possuem limitações quanto às suas propriedades (Grymak et al., 2021; Lutz et al., 2019).

Dessa forma, embora os materiais I3D ainda estejam em desenvolvimento para superar limitações mecânicas, o fluxo de trabalho digital combinado com a MA representa uma promessa para a produção eficiente, econômica e precisa de dispositivos oclusais, especialmente quando associado ao escaneamento intraoral, permitindo redução nos custos e prazos clínicos menores (Abad-Coronel et al., 2023; Santos Neto et al., 2023; Wesemann et al., 2021). Contudo, é importante destacar que os estudos até o momento apresentam limitações relevantes, como tamanhos amostrais reduzidos, heterogeneidade metodológica e falta de padronização nas análises, o que dificulta a comparação direta dos resultados. Além disso, há escassez de estudos clínicos e *in vivo* que possam validar os achados laboratoriais e confirmar a durabilidade e funcionalidade dos dispositivos oclusais produzidos por I3D em condições reais de uso.

6 CONCLUSÃO

A manufatura aditiva para dispositivos oclusais representa uma inovação significativa ao proporcionar maior agilidade e precisão no processo de fabricação. Embora os materiais convencionais à base de PMMA evidenciam superioridade em resistência à fratura, módulo de elasticidade, dureza superficial, microdureza e resistência à flexão, sugere-se que as resinas aditivas apresentam desempenho superior em resistência ao desgaste. A ausência de consenso quanto à rugosidade superficial indica lacunas metodológicas e a necessidade de padronização nas análises. Dessa forma, o uso provisório ou a curto prazo dos dispositivos produzidos por impressão 3D é indicado em alguns casos, até que novos estudos, especialmente clínicos e *in vivo*, possam otimizar suas propriedades mecânicas e validar sua durabilidade, contribuindo para uma aplicação segura e eficaz na prática odontológica.

REFERÊNCIAS

- ABAD-CORONEL, C. et al. Comparative Analysis between Conventional Acrylic, CAD/CAM Milled, and 3D CAD/CAM Printed Occlusal Splints. **Materials (Basel)**, v.16, n.18, p.6269, set. 2023.
- BERLI, C. et al. Comparing the mechanical properties of pressed, milled, and 3D-printed resins for occlusal devices. **The Journal of prosthetic dentistry**, v. 124, n. 6, p. 780-786, dez. 2020.
- BILIR, H. et al. Effect of laboratory and chairside polishing methods on the surface topography of occlusal splint materials manufactured using conventional, subtractive and additive digital technologies. **Brazilian Dental Science**, v. 26, n. 3, p. e3873, set. 2023.
- CARVALHO-SILVA, J. M. et al. Printed versus heat-polymerized resin for occlusal devices: Evaluation of physical and mechanical properties after brushing and microbial adhesion. **Journal of Prosthodontics**, jan. 2025. Epub ahead of print. Disponível em: <https://doi.org/10.1111/jopr.14012>. Acesso em: 28 abr. 2025.
- GIBREEL, M. et al. Two-body wear and surface hardness of occlusal splint materials. **Dental materials journal**, v. 41, n. 6, p. 916-922, nov. 2022.
- GRYMAK, A. et al. Comparison of hardness and polishability of various occlusal splint materials. **Journal of the mechanical behavior of biomedical materials**, v. 115, n. 1, p. 104270, mar. 2021.
- GRYMAK, A. et al. Evaluation of wear behaviour of various occlusal splint materials and manufacturing processes. **Journal of the mechanical behavior of biomedical materials**, v. 126, n.1, p. 105053, fev. 2022.
- GUIMARÃES, D. M. et al. Evaluation of the mechanical properties of different materials for manufacturing occlusal splints. **Brazilian Oral Research**, v. 37, n. 1, p. e034, abr. 2023.
- HUETTIG, F. et al. Polishability and wear resistance of splint material for oral appliances produced with conventional, subtractive, and additive manufacturing. **Journal of the mechanical behavior of biomedical materials**, v. 75, n. 1, p. 175-179, nov. 2017.
- LAWSON, N. C. et al. Wear resistance of 3D printed occlusal device materials. **The Journal of Prosthetic Dentistry**, v. 133, n. 2, p. 576, nov. 2024.
- LUTZ, A. et al. Fracture resistance and 2-body wear of 3-dimensional–printed occlusal devices. **The Journal of prosthetic dentistry**, v. 121, n. 1, p. 166-172, jan. 2019.
- MALEKI, T. et al. Mechanical and physical properties of splint materials for oral appliances produced by additive, subtractive and conventional manufacturing. **Dental Materials**, v. 40, n. 8, p. 1171-1183, ago. 2024.

PRPIC, V. et al. A study of the flexural strength and surface hardness of different materials and technologies for occlusal device fabrication. **The Journal of prosthetic dentistry**, v. 121, n. 6, p. 955-959, jun. 2019.

RAFFAINI, J. C. et al. Effect of artificial aging on mechanical and physical properties of CAD-CAM PMMA resins for occlusal splints. **The Journal of Advanced Prosthodontics**, v. 15, n. 5, p. 227, out. 2023.

ROSENTRITT, M. et al. Effects of storage and toothbrush simulation on Martens hardness of CAD/CAM, hand-cast, thermoforming, and 3D-printed splint materials. **Clinical Oral Investigations**, v. 27, n. 12, p. 7859-7869, dez. 2023.

SANTOS NETO, O. M. et al. Flexural resistance of 3D printing resin compared to conventional acrylic resins employed to build occlusal bite splints. **Revista de Odontologia da UNESP**, v. 52, n.1, p. e20230006, mai. 2023.

WESEMANN, C. et al. Polymers for conventional, subtractive, and additive manufacturing of occlusal devices differ in hardness and flexural properties but not in wear resistance. **Dental Materials**, v. 37, n. 3, p. 432-442, mar. 2021.