



CESPU
INSTITUTO UNIVERSITÁRIO
DE CIÊNCIAS DA SAÚDE

CARACTERÍSTICAS BIOLÓGICAS, DE BIOCOMPATIBILIDADE E MECÂNICAS DO PEEK VS TITÂNIO APLICADOS A ESTRUTURAS SOBRE IMPLANTES

Revisão sistemática integrativa

Anéva Marie AUBERT

Dissertação conducente ao Grau de Mestre em Medicina Dentária (Ciclo Integrado)

Gandra, julho de 2024

Anéva Marie AUBERT

**Dissertação conducente ao Grau de Mestre em Medicina Dentária
(Ciclo Integrado)**

**CARACTERÍSTICAS BIOLÓGICAS, DE BIOCOMPATIBILIDADE E
MECÂNICAS DO PEEK VS TITÂNIO APLICADOS A
ESTRUTURAS SOBRE IMPLANTES**

Revisão sistemática integrativa

Trabalho realizado sob a Orientação de
Mestre Orquídea Lurdes Alves Resende Santos

DECLARAÇÃO DE INTEGRIDADE

Eu, Anéva Marie AUBERT, declaro ter atuado com absoluta integridade na elaboração deste trabalho, confirmo que em todo o trabalho conducente à sua elaboração não recorri a qualquer forma de falsificação de resultados ou à prática de plágio (ato pelo qual um indivíduo, mesmo por omissão, assume a autoria do trabalho intelectual pertencente a outrem, na sua totalidade ou em partes dele). Mais declaro que todas as frases que retirei de trabalhos anteriores pertencentes a outros autores foram referenciadas ou redigidas com novas palavras, tendo neste caso colocado a citação da fonte bibliográfica.

Agradecimentos

Agradeço infinitamente ao meu pai e ao meu irmão que durante estes 5 anos difíceis e a mais de 6000 km de distância sempre me apoiaram. Eu não teria conseguido sem o seu apoio infalível.

Agradeço aos todos os professores que me acompanharam e também à Universidade CESPU por esta grande oportunidade.

RESUMO

Introdução: Graças à sua biocompatibilidade e propriedades físicas e químicas, o titânio é um dos materiais mais utilizados para a fabricação de estruturas implanto-suportadas.

Mais recentemente, o PEEK foi introduzido como uma alternativa devido às suas notáveis propriedades biomecânicas, módulo de elasticidade próximo do osso humano e a sua cor natural.

Objetivos: Esta revisão tem como objetivo de comparar as características biológicas, de biocompatibilidade e mecânicas do PEEK em relação ao titânio.

Material e métodos: Segundo a estratégia PICO e com orientação do PRISMA foi realizada uma pesquisa bibliográfica na base de dados online Pubmed entre 2009 e 2024, usando palavras-chave "titanium" "polymers" "abutment dental" "biomechanics".

Resultados: Seleção de 10 artigos após a aplicação dos critérios de inclusão e exclusão.

Discussão: O PEEK é biocompatível, não tóxico, não mutagénico e não alergénico. Tem uma cor branca única e um módulo de elasticidade inferior ao dos materiais metálicos.

No entanto, o titânio, que pode causar corrosão e alergias, é mais rígido e mais resistente ao stress.

Como a rugosidade da superfície tem um impacto na adesão bacteriana, os tratamentos a laser e plasma são benéficos para o titânio e o PEEK.

Conclusões: O PEEK demonstrou bons resultados contra a adesão bacteriana.

A biocompatibilidade de PEEK e titânio foi similar, apresentando reações tecidulares aceitáveis enquanto a estética do PEEK é superior.

No entanto, as propriedades mecânicas do titânio são superiores às do PEEK.

Palavras-Chave: titanium, polymers, abutment dental, biomechanics

ABSTRACT

Introduction: Thanks to its biocompatibility and physical and chemical properties, titanium is one of the most widely used materials for manufacturing implant-supported structures.

More recently, PEEK has been introduced as an alternative due to its remarkable biomechanical properties, modulus of elasticity close to that of human bone and its natural colour.

Objectives: The aim of this review is to compare the biological, biocompatibility and mechanical characteristics of PEEK with those of titanium.

Material and methods: According to the PICO strategy and with PRISMA guidance, a bibliographic search was carried out in the Pubmed online database between 2009 and 2024, using the keywords “titanium” “polymers” “abutment dental” “biomechanics”.

Results: Selection of 10 articles after applying the inclusion and exclusion criteria.

Discussion: PEEK is biocompatible, non-toxic, non-mutagenic and non-allergenic. It has a unique white colour and a lower elastic modulus than metallic materials.

Titanium, however, which can cause corrosion and allergies, is more rigid and more resistant to stress.

As surface roughness has an impact on bacterial adhesion, laser and plasma treatments are beneficial to titanium and PEEK.

Conclusions: PEEK showed good results against bacterial adhesion.

The biocompatibility of PEEK and titanium was similar, showing acceptable tissue reactions while the aesthetics of PEEK are superior.

However, the mechanical properties of titanium are superior to those of PEEK.

Keywords: titanium, polymers, abutment dental, biomechanics

Índice Geral

1. Introdução	1
2. Objetivos	3
3. Materiais e método	5
3.1. Protocolo Desenvolvido	5
3.2. Foco da questão PICO	5
3.3. Questão PICO	5
3.4. Estratégia de Pesquisa	6
3.5. Termos de Pesquisa	6
3.6. Critérios de inclusão e exclusão	6
3.7. Seleção dos estudos	7
3.8. Extração de dados	7
4. Resultados	9
4.1. Resultados da pesquisa	9
4.2. Características dos estudos	11
4.3. Tabela de resultados	12
5. Discussão	19
5.1. Características biológicas do PEEK e do titânio	19
5.2.1. Colonização bacteriana	20
5.2. Biocompatibilidade do PEEK e do titânio	20
5.3. Características mecânicas do PEEK e do titânio	22
6. Conclusões	25
7. Referências Bibliográficas	27

Índice de Figuras

Figura 1 - Estratégia PICO	5
Figura 2 - Fluxograma de estratégia de pesquisa	10
Figura 3 - Diagrama classificação por tipo de estudo	11

Índice de Tabelas

Tabela 1 – Critérios de inclusão e de exclusão.....	6
Tabela 2 – Resultados obtidos da pesquisa por expressão de pesquisa	9
Tabela 3 – Tabela de Resultados.....	12

Lista de abreviaturas, siglas e acrónimos

PEEK : Poliéter éter cetona

PEKK : polietercetona

Ti : titânio

CAD-CAM : conceção e fabrico assistidos por computador

cp-Ti : titânio comercialmente puro

Ti6Al4V : titânio-6-alumínio-4-vanádio

CAISFP : próteses fixas aparafusadas de arco completo suportadas por implantes

WCA - ângulo de contacto com a água

TiL - titânio modificado a laser

P - PEEK

PL - PEEK modificado a laser

PP - PEEK pulverizado com plasma

PLP - PEEK modificado a laser e pulverizado com plasma

XPS - espectroscopia de fotoelectrões de raios X

HGF - fibroblastos gengivais humanos

Sun - rugosidade da superfície

TZI - cerâmica híbrida infiltrada de polímero

MZ - zircónio monolítico

IPS e-max - vitrocerâmica de dissilicato de lítio

Bi – BioHPP

ISFCDs - próteses completas fixas suportadas por implantes

1. Introdução

As restaurações implanto-suportadas são uma opção de tratamento previsível para a substituição de um ou mais dentes e apresentam elevadas taxas de sucesso. O sucesso clínico das restaurações implanto-suportadas depende em grande parte de fatores biomecânicos relacionados com a integridade da interface osso-implante e a estabilidade da ligação mecânica entre os implantes e os componentes restauradores (1).

Com os avanços na conceção e fabrico assistidos por computador (CAD-CAM), o titânio tornou-se o material de estrutura padrão, seguido da zircónia e do crómio-cobalto (2). No entanto, as estruturas de titânio podem causar complicações estéticas devido à sua cor acinzentada e ao risco de corrosão e degradação. Para além disso, podem causar alergia aos metais. Consequentemente, a procura de próteses sem metal levou ao desenvolvimento de materiais esteticamente biocompatíveis sem metal (3).

O PEEK é um material termoplástico resistente produzido a partir de resina de poliéter-éter-cetona. Devido à sua elevada resistência mecânica e durabilidade, boas propriedades eléctricas e excepcional resistência à hidrólise, tem sido amplamente utilizado nas indústrias aeroespacial, automóvel, química, eletrónica, petrolífera e alimentar (1).

Este biomaterial está no mercado desde os anos 80 e é utilizado como alternativa aos materiais metálicos em ortopedia e, mais recentemente, na reabilitação dentária (4).

Apresenta propriedades biomecânicas favoráveis e é capaz de resistir à degradação química e biológica. No domínio das próteses orais, o interesse pelo PEEK como material para aplicações reconstrutivas tem aumentado nos últimos anos (4).

A principal característica benéfica deste material é o facto de o seu módulo de elasticidade ser inferior ao dos materiais metálicos e ser relativamente semelhante ao do osso humano, o que lhe permite reduzir o stress sobre o osso circundante. Devido à sua cor branca única e às suas propriedades mecânicas, o PEEK está a ser cada vez mais utilizado em próteses fixas e removíveis, incluindo estruturas CAD-CAM para implantes (5).

2. Objetivos

Esta revisão sistemática integrativa tem como objetivo principal:

Comparar as características biológicas, de biocompatibilidade e mecânicas do PEEK em relação ao titânio.

3. Materiais e método

3.1. Protocolo Desenvolvido

Para a elaboração desta revisão sistemática integrativa, foi desenvolvido um protocolo detalhado e de acordo com a declaração PRISMA (guia de referência para revisões sistemáticas).

3.2. Foco da questão PICO

Os critérios aplicados à questão PICO são:

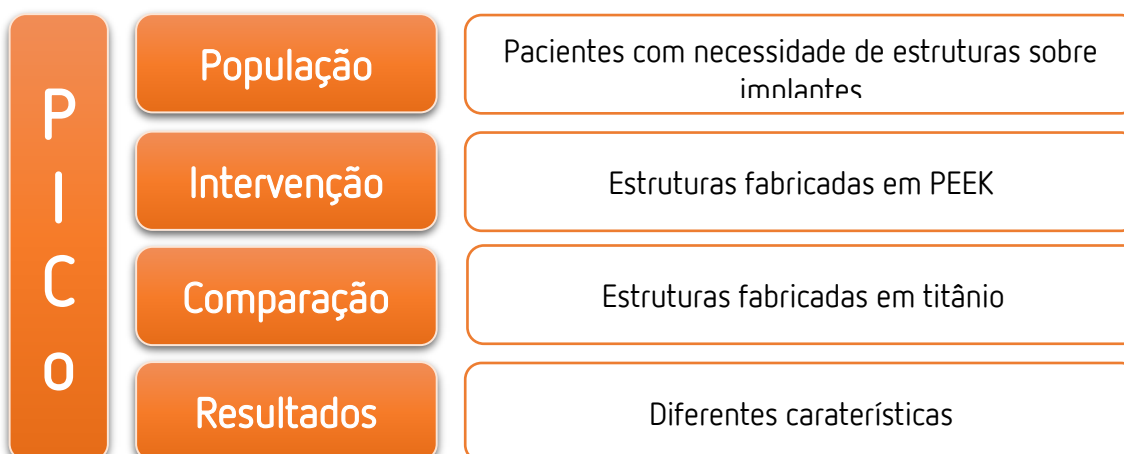


Figura 1 - Estratégia PICO

3.3. Questão PICO

Foi definida a seguinte questão norteadora de acordo com o desenho do estudo, população, intervenção, comparação e resultados:

“Serão as características das estruturas em PEEK semelhantes às de em titânio ?”

3.4. Estratégia de Pesquisa

A pesquisa bibliográfica foi realizada utilizando as bases de dados PubMed (via National Library of Medicine) entre os dias 18 de julho e o 20 de julho de 2024, sendo o dia 20 de julho de 2024 a data da última pesquisa.

Foi definido um período de 15 anos de inclusão dos estudos (2009-2024).

Para esta pesquisa utilizou-se as seguintes palavras-chave: titanium, polymers, abutment dental, biomechanics.

3.5. Termos de Pesquisa

Foi realizada a pesquisa avançada de dados na PubMed e utilizando as seguintes conjunções de “Mesh Terms” e com limite temporal de 15 anos:

((titanium[MeSH Terms]) AND (polymers[MeSH Terms])) AND (abutment, dental[MeSH Terms])

((titanium[MeSH Terms]) AND (polymers[MeSH Terms])) AND (biomechanics[MeSH Terms])

3.6. Critérios de inclusão e exclusão

Todos os artigos incluídos foram lidos e avaliados individualmente segundo os critérios de inclusão e exclusão.

Tabela 1 – Critérios de inclusão e de exclusão

Critérios de Inclusão	Critérios de Exclusão
Artigos com resumos relevantes para este trabalho	Artigos que não mostraram relevância após análise detalhada
Artigos que comparam o PEEK e o titânio	Artigos sobre outro material
Ensaio clínico, estudos in vitro	Artigos de revisão integrativa e sistemática.
Artigos publicados entre 2009 e 2024	Artigos anteriores a 2009

3.7. Seleção dos estudos

Após a eliminação dos artigos duplicados a etapa inicial da seleção dos artigos foi realizada por leitura dos títulos e resumos dos artigos. Estudos que não completavam os critérios de elegibilidade foram descartados. Na segunda fase da seleção foram aplicados os mesmos critérios de elegibilidade para os estudos restantes em texto completo.

3.8. Extração de dados

Foi desenvolvida uma tabela de extração de dados. Nesta tabela (Tabela 3), constam informações como artigo, tipo de estudo, objetivo ou materiais e métodos, resultados, conclusão.

4. Resultados

4.1. Resultados da pesquisa

A pesquisa inicial resultou na identificação de 10 artigos.

Tabela 2 – Resultados obtidos da pesquisa por expressão de pesquisa

Base de Dados	Estratégia de busca	Artigos encontrados	Artigos selecionados
PubMed	((titanium[MeSH Terms]) AND (polymers[MeSH Terms])) AND (abutment, dental[MeSH Terms])	140	5
PubMed	((titanium[MeSH Terms]) AND (polymers[MeSH Terms])) AND (biomechanics[MeSH Terms])	172	4

Dos 312 artigos restantes, 281 foram eliminados pela leitura do título e abstract, por não obedecerem aos critérios de elegibilidade. Apenas 31 artigos foram selecionados para seleção através da avaliação do texto completo. Após a leitura total dos artigos apenas 9 artigos foram selecionados aplicando os conteúdos definidos pelos critérios de inclusão e exclusão na pesquisa avançada de dados na PubMed utilizando as conjunções de “MeshTerms”.

Foi também incluído 1 artigo encontrado em pesquisa manual da bibliografia secundária, considerado relevante.

O resultado da seleção resultou em 10 artigos (Figura 2).

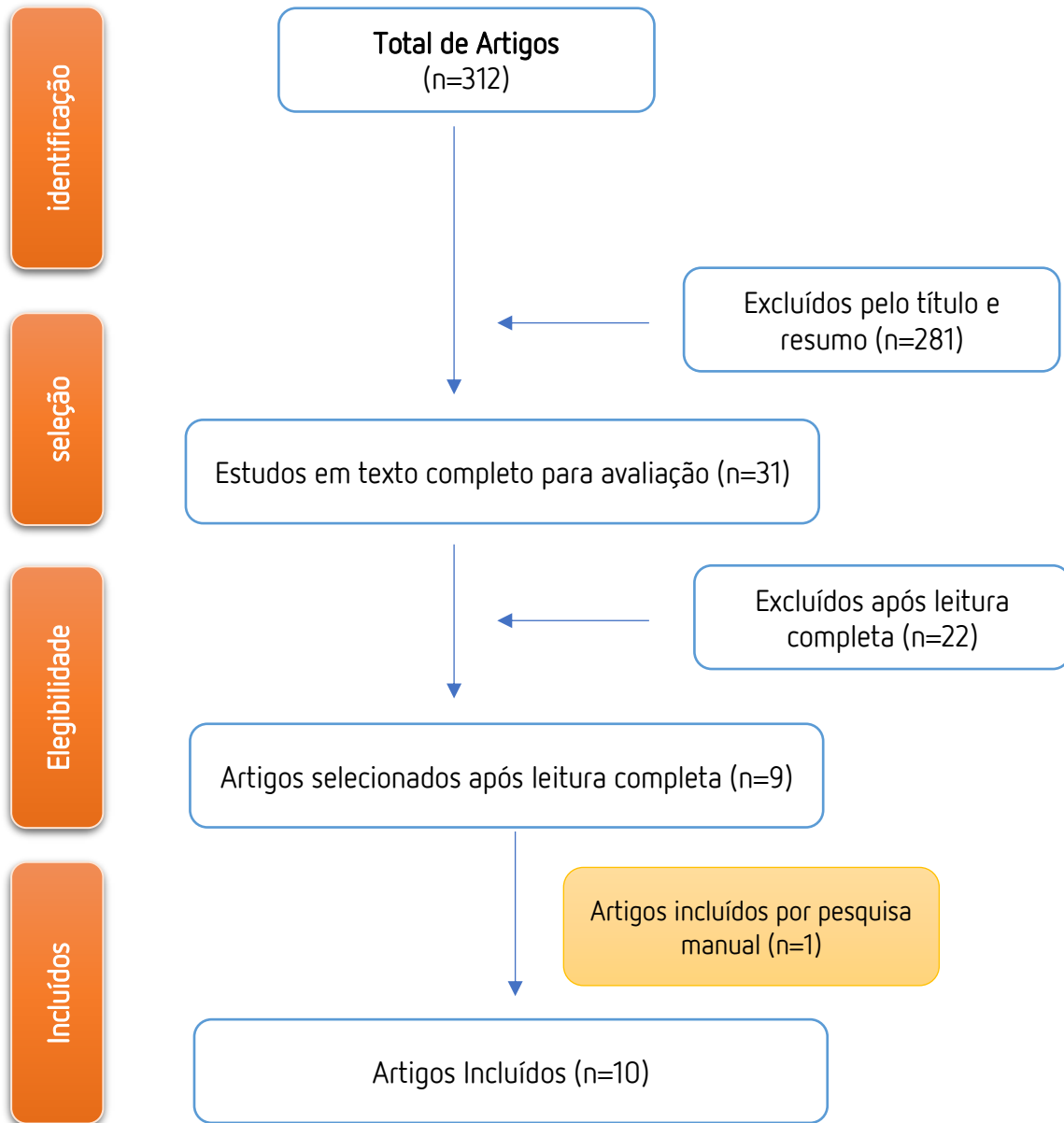


Figura 2 - Fluxograma de estratégia de pesquisa

4.2. Características dos estudos

Os estudos seleccionados para responder à questão PICO são 10: 2 estudos (1,6) foram classificados como estudo laboratorial, e 1 (7) como investigação/ensaio clínico prospetivo randomizado, 1(5) como ensaio clínico retrospectivo e 6(2-4,8-10) como estudo *in vitro*. A figura 3, representa a distribuição dos estudos por classificação.

Relativamente ao país em que os estudos foram realizados, 2 deles são da China (3,5), 1 foi desenvolvido na Suíça (2), 2 foram no Brasil (1,10), outro foi na Suécia (4), 2 foram nos Estados Unidos (7,8), outro foi de Espanha (9) e por último da Índia (6).

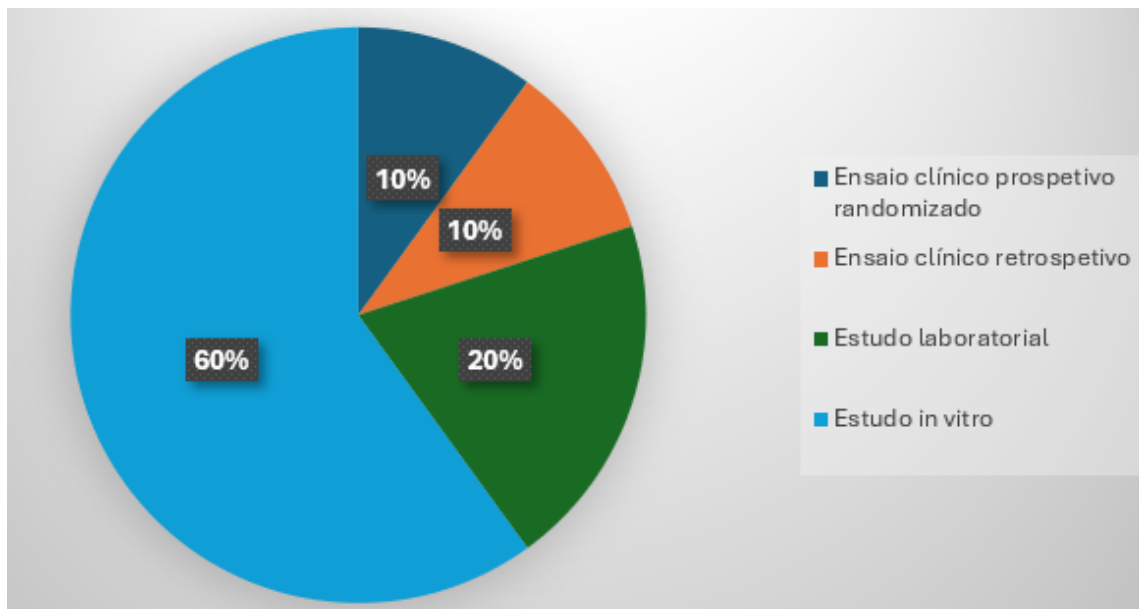


Figura 3 - Diagrama classificação por tipo de estudo

4.3. Tabela de resultados

Tabela 3 – Tabela de Resultados

Artigo	Tipo de estudo	Objetivos	Material e métodos	Resultados	Conclusão
Neumann EAF <i>et al</i> (2014)(1)	Estudo laboratorial	Comparar a resistência à fratura de parafusos de retenção de pilares fabricados em titânio, polietereceterona (PEEK) e PEEK reforçado com 30% de fibra de carbono, utilizando um conjunto de interface implante hexagonal externo/pilar tipo UCLA	Os pilares do tipo UCLA foram fixados aos implantes com parafusos de titânio (Grupo 1), parafusos de poliéter-éter-cetona (PEEK) (Grupo 2) e parafusos de PEEK reforçados com 30% de fibra de carbono (Grupo 3). Os conjuntos foram colocados num suporte de aço inoxidável para permitir uma carga de 45° fora do eixo numa máquina de ensaios universal. Foi aplicada uma carga de 200N (carga estática) no ponto central da extremidade do pilar, a uma velocidade de cruzamento de 5mm/minuto, até à falha. Os dados foram analisados utilizando ANOVA e o teste de Tukey.	Os parafusos de titânio apresentaram uma resistência à fratura superior à do PEEK e do PEEK reforçado com 30% de fibra de carbono ($p < 0,05$). Não houve diferença estatisticamente significativa entre a resistência à fratura dos parafusos PEEK e PEEK reforçado com 30% de fibra de carbono ($p > 0,05$). A análise visual das frações revelou que 100% ocorreram no colo do parafuso do pilar, sugerindo que este é o ponto mais fraco do conjunto.	Os parafusos para pilares em PEEK apresentam uma menor resistência à fratura, comparativamente aos parafusos para pilares em titânio
Abou-Ayash S <i>et al</i> (2021)(2)	Estudo <i>in vitro</i>	Investigar a veracidade e o ajuste marginal de próteses fixas aparafusadas de arco completo suportadas por implantes (CAISFP) de arco completo fabricadas por computador (CAD-CAM) feitas de polietereceterona (PEEK), polietereceterona (PEKK) e titânio (Ti)	O CAD gerado foi utilizado para fresar as estruturas CAISFP em Ti, PEEK ou PEKK (cada $n = 10$). As estruturas foram digitalizadas com um scanner de luz industrial. Foram calculados desvios em cinco pontos da interface pilar-estrutura de cada um dos quatro locais do pilar e as lacunas marginais foram medidas utilizando a técnica de varrimento tripla.	O tipo de material afetou significativamente a veracidade ($p < 0,0001$). O PEEK apresentou os desvios mais baixos (0,039 +/- 0,01 mm), seguido pelo PEKK (0,049 +/- 0,009 mm) e pelo Ti (0,074 +/- 0,011 mm). Para lacunas marginais, apenas o efeito da localização do pilar foi significativo ($p = 0,003$). Dentro do PEKK, as lacunas no pilar 4 foram significativamente maiores, em comparação com os pilares 2 ($p = 0,04$) e 3 ($p = 0,02$).	A veracidade das estruturas PEEK, PEKK e Ti foi diferente após a fresagem. PEEK teve a maior veracidade. No entanto, o ajuste marginal das estruturas foi semelhante e inferior a 90 µm em média. Relevância clínica: As estruturas de arco completo em PEEK, PEKK e Ti apresentavam lacunas clinicamente aceitáveis e podem, por isso, ser recomendadas quando se considera o seu ajuste. Uma

					maior veracidade após fresagem não resultou num melhor ajuste marginal.
Jin HY <i>et al</i> (2019)(3)	Estudo <i>in vitro</i>	Avaliar e comparar a resistência de união do PEEK modificado (BioHHP) e do titânio com uma resina composta de revestimento e comparar o ajuste marginal e a resistência à fratura de PFs aparafusados e implantossuportados fabricados utilizando o design assistido por computador e o fabrico assistido por computador (CAD- CAM) revestidas com compósito.	Uma resina composta foi ligada a 2 materiais de estrutura (n=20 / grupo): titânio puro (Ti) e BioHPP (Bi). Foram fabricadas 20 estruturas CAD-CAM de titânio e BioHPP de 3 unidades (n=10 / grupo). O ajuste marginal entre as estruturas e os pilares foi avaliado por microscopia eletrônica de varrimento através do teste de parafuso único. Após termociclagem e simulação de mastigação, foi examinada a resistência à fratura dos PLFs revestidos com resina composta. O teste t para amostras independentes foi utilizado para avaliar as diferenças ($\alpha=0,05$).	Foram obtidas resistências de ligação ao cisalhamento significativamente mais elevadas no grupo Bi. A largura média do espaço marginal foi maior no grupo Bi do que no grupo Ti. Os testes estatísticos não revelaram diferença significativa ($P>0,05$). Após o carregamento, observou-se spalling facetário com uma carga de 1960 ± 233 N no grupo Ti. Embora as estruturas do BioHPP tenham fraturado a 1518 ± 134 N, não ocorreu qualquer lascamento.	A resistência de união do BioHPP com a resina composta foi superior à do titânio. As estruturas CAD-CAM BioHPP apresentam um bom ajuste marginal e resistência à fratura. O BioHPP pode ser uma alternativa adequada ao metal como estrutura a revestir com resina composta.
Barkarmo S <i>et al</i> (2019)(4)	Estudo <i>in vitro</i>	Comparar a formação de biofilme por uma gama de importantes espécies bacterianas orais em PEEK, PEEK jato de areia, titânio comercialmente puro (cp-Ti) e titânio-6-alumínio-4-vanádio (Ti6Al4V).	Amostras em forma de moeda cujas superfícies foram caracterizadas por interferometria ótica, microscopia eletrônica de varrimento, espectroscopia de raios X por dispersão de energia e medições do ângulo de contacto. Espécies bacterianas de Streptococcus sanguinis, Streptococcus oralis, Enterococcus faecalis e Streptococcus gordonii foram cultivadas nas superfícies dos quatro materiais durante períodos de tempo variáveis. Os biofilmes foram quantificados	Os resultados da rugosidade e do ângulo de contacto mostraram que o PEEK jateado > PEEK > cp-Ti = Ti6Al4V. A formação de biofilme por S. sanguinis, S. oralis e S. gordonii aumentou em PEEK jato de areia, enquanto a adesão bacteriana foi semelhante em PEEK, cp-Ti e Ti6Al4V. O crescimento bacteriano de E. faecalis foi significativamente mais elevado em cp-Ti do que nos outros três grupos.	Os resultados, tendo em conta a formação de biofilme, sugerem que o PEEK deve ter um desempenho tão bom como o cp-Ti ou o Ti6Al4V quando utilizado como material de restauração dentária.

			após coloração com violeta de cristal.		
Wang J <i>et al</i> (2022)(5)	Estudo clínico retrospectivo	Avaliar o desempenho da estrutura de poliéter-éter-cetona (PEEK) versus titânio concebida e fabricada por computador (CAD-CAM) para próteses completas fixas suportadas por implantes (ISFCDs) com um acompanhamento de até 5 anos.	Pacientes edêntulos consecutivos que foram submetidos a ISFCDs com uma estrutura PEEK ou estrutura de titânio num centro dentário especializado. Foram analisadas as taxas de sobrevivência do implante/prótese, complicações mecânicas/biológicas e parâmetros ósseos e dos tecidos moles.	Foram incluídos sessenta ISFCDs (29 PEEK, 31 titânio) realizados em 43 pacientes desdentados (331 implantes). Foi obtida uma taxa de sobrevivência do implante de 100%. Não houve diferença significativa na taxa cumulativa de sobrevivência da prótese entre os grupos PEEK (93,1%) e titânio (93,5%). As complicações mecânicas mais comuns foram a fratura da faceta artificial tanto no grupo PEEK como no grupo titânio.	Dentro das limitações deste estudo, as ISFCDs com estruturas PEEK podem proporcionar um bom prognóstico para pacientes edêntulos, necessitando ainda de validação a longo prazo.
Gheisarifar M <i>et al</i> (2020)(8)	Estudo <i>in vitro</i>	Comparar as características físicas (rugosidade da superfície e WCA), bem como a fixação e proliferação de fibroblastos gengivais humanos em 2 materiais de implante com diferentes modificações da superfície	Foram avaliadas 150 amostras divididas em 6 grupos experimentais. Liga de titânio maquinada lisa (Ti), considerada como o grupo de controlo. Titânio modificado por laser (TiL), PEEK maquinado liso (P), PEEK modificado por laser (PL), PEEK tratado por plasma (PP), PEEK tratado por laser e plasma (PLP). A rugosidade da superfície (Sun), o ângulo de contacto com a água (WCA) e a espectroscopia de fotoelectrões de raios X (XPS) foram medidos. A fixação e a proliferação do HGF foram observadas 1, 3 e 7 dias após a sementeira das células.	Os valores de Sun dos grupos modificados a laser foram significativamente mais elevados do que os dos grupos não modificados (maquinados suavemente). Os WCAs foram significativamente diferentes entre os grupos PEEK, e os grupos tratados com plasma apresentaram os WCAs mais baixos. A análise XPS dos grupos Ti e PEEK mostrou que o tratamento a laser não teve um efeito significativo na composição da superfície do PEEK. No 1º, 3º e 7º dia de proliferação, os grupos de titânio não mostraram diferenças significativas, enquanto os grupos pulverizados com plasma (PP, PLP) mostraram uma proliferação significativamente maior do que todos os grupos experimentais. Ao 7º dia de proliferação, foram	As superfícies de titânio e PEEK modificadas por laser levaram à fixação guiada de fibroblastos gengivais. O tratamento com plasma das superfícies de PEEK aumentou a molhabilidade deste polímero e melhorou a proliferação de HGF.

				observadas diferenças estatisticamente significativas entre todos os grupos PEEK e entre os grupos PEEK e o grupo Ti.	
Villefort RF <i>et al</i> (2020)(10)	Estudo <i>in vitro</i>	Avaliar a resposta mecânica de próteses obturadoras sobre implante com fixação por clipe de barra e barras partidas, em três materiais diferentes sob duas incidências de carga.	Um modelo maxilar com defeito recebeu cinco implantes hexagonais externos. Uma prótese obturadora palatina implantossuportada foi simulada em três materiais diferentes: PEEK, ligas de titânio e cromo-cobalto. O osso foi fixado e a carga aplicada em duas regiões distintas para cada material: ao nível da superfície palatina (zona cingulada) dos incisivos centrais; e na superfície oclusal do primeiro molar esquerdo. A microdeformação e a tensão de von-Mises foram selecionadas como critérios de análise.	A carga posterior apresentou uma maior concentração de tensão no tecido peri-implantar posterior, independentemente do material simulado. A carga anterior apresentou uma menor concentração de tensão com amplitude reduzida e mais implantes envolvidos na dissipação de carga. Para o tecido ósseo e para a barra, a rigidez do material foi inversamente proporcional à microdeformação e à tensão calculadas. Para os parafusos protéticos e implantes, o PEEK apresentou uma maior concentração de tensões do que os outros materiais.	O PEEK apresentou um comportamento promissor para o tecido ósseo e para a integridade das fixações da barra e do clipe de barra. Contudo, a concentração de tensões nos parafusos protéticos pode representar um risco aumentado de falha.
Koutouzis T <i>et al</i> (2011)(7)	Ensaio clínico prospetivo randomizado	Avaliar as reacções dos tecidos moles e duros aos pilares de cicatrização de titânio e polímero durante um período de 3 meses.	Foram incluídos dezasseis pacientes. Os implantes foram colocados provisoriamente com pilares de cicatrização de titânio ou de polímero. Os implantes foram colocados com pilares de cicatrização em polímero. As alterações no nível ósseo marginal e nas dimensões dos tecidos moles foram registadas na instalação do implante e aos três meses. As alterações no nível ósseo marginal e nas dimensões dos tecidos moles foram registadas aquando da instalação do implante e aos 3 meses.	Não se registou uma diferença significativa na acumulação de placa entre os entre os 2 grupos no exame de 3 meses. Os implantes de ambos os grupos apresentaram perda óssea marginal mínima durante o período de cicatrização de 3 meses	Os pilares de cicatrização em PEEK os pilares de cicatrização não aumentam o risco de perda óssea marginal e recessão dos tecidos moles durante o período inicial de cicatrização período de cicatrização inicial.

<p>Agustín-Panadero R <i>et al</i>(2015)(9)</p>	<p>Estudo <i>in vitro</i></p>	<p>Teste <i>in vitro</i> da resistência e deformação de pilares protéticos de implantes feitos de diferentes materiais (titânio/PEEK/metacrilato).</p>	<p>40 pilares protéticos de implantes foram divididos em cinco grupos Grupo MP: pilares provisórios de metacrilato com base de titânio maquinada; Grupo PP: pilares provisórios de poliéter éter cetona (PEEK); Grupo TP: pilares provisórios de titânio; Grupo TAD: pilares definitivos anti-rotacionais de titânio; Grupo TRD: pilares definitivos rotacionais de titânio. Foi analisado o seu comportamento mecânico sob carga estática. As amostras foram examinadas ao microscópio para determinar o tipo de fratura produzida.</p>	<p>Os pilares definitivos de titânio antirrotacionais e os pilares definitivos rotacionais de titânio obtiveram a melhor resistência média à compressão, enquanto os pilares provisórios de resina PEEK obtiveram a menor. O grupo que apresentou maior deformação elástica foi o grupo dos pilares provisórios de titânio.</p>	<p>Na base dos resultados apresentados, recomenda-se a utilização de pilares em resina PEEK ou em metacrilato quando a prótese fixa provisória deve ser colocada na boca durante três meses. Para as próteses provisórias por mais tempo (três a seis meses), recomenda-se a utilização de pilares rotativos provisórios ou definitivos em titânio. Quando as próteses provisórias devem ser mantidas na boca e a temperaturas longas (seis durante dois meses), são recomendados os pilares definitivos anti-rotações em titânio.</p>
<p>Rani S <i>et al</i>(2023)(6)</p>	<p>Estudo laboratorial</p>	<p>Avaliar a análise de tensão no implante, pilar e osso periférico com alteração em diferentes pilares e diferentes materiais de coroa através do estudo de elementos finitos em 3D.</p>	<p>As combinações compreendem pilares em titano (Ti), em poliéterétercetona (PEEK), em poliétercetona (PEKK), em cerâmica híbrida infiltrada de polímero (TZI), para além de diferentes restaurações em zircónio monolítico (MZ) e em vitrocerâmica de dissilicato de lítio (IPS e-max). Em cada modelo, os implantes foram carregados obliquamente (150 N). A distribuição das contrações no implante, o pilar e o periférico foram avaliadas pela análise das contrações de von Mises.</p>	<p>Foram encontradas maiores tensões no colo dos implantes, independentemente do material do pilar e do material restaurador. A maior tensão foi encontrada com o material PEEK. O padrão de distribuição de tensões no implante e no osso periférico foi semelhante em todos os modelos.</p>	<p>Não há diferença nas tensões com a alteração do material restaurador, mas a alteração do material do pilar tem efeito nas tensões nos implantes.</p>

5. Discussão

5.1. Características biológicas do PEEK e do titânio

O titânio e a zircónia são normalmente utilizados como materiais de estrutura em infraestruturas pilares em implantologia dentária (4).

O titânio e as suas ligas são primeira escolha para materiais de pilar devido às suas propriedades biológicas favoráveis. No entanto, a sua cor acinzentada e a possibilidade de corrosão e degradação tornam-nos menos atrativos para a substituição de dentes na zona estética ou quando o suporte ósseo ou tecidual está limitado à junção da plataforma de fixação. (6) Para além disso, podem causar alergia ao metal (3).

A poliéter-éter-cetona (PEEK) é um polímero de alto desempenho pertencente ao grupo das poliariletercetonas e possui excelentes propriedades físicas e químicas, tais como baixo peso específico, baixa resistência à flexão, elasticidade adequada e dureza adequada (5).

É um material com propriedades biomecânicas favoráveis e é capaz de resistir à degradação química e biológica (4).

Foi demonstrado que o PEEK é biocompatível, não tóxico, não mutagénico e não é responsável por inflamações clinicamente significativas (8).

A principal característica benéfica deste material é o facto de o seu módulo de elasticidade ser inferior ao dos materiais metálicos e ser relativamente semelhante ao do osso humano (5).

Devido à sua cor branca única e às suas propriedades mecânicas, o PEEK está a ser cada vez mais utilizado em próteses fixas e removíveis, incluindo estruturas de implantes CAD-CAM (5).

O PEEK tem mostrado algumas vantagens, como o facto de ser facilmente obtido em formas tridimensionais (3D) personalizadas e de facilitar o fabrico de próteses radio-lúcidas (10).

5.2.1. Colonização bacteriana

Os biomateriais presentes na cavidade oral não estão geralmente selados e protegidos nos tecidos, mas sim expostos à saliva de pH variável e a uma grande variedade de bactérias. Foram detetadas mais de 700 espécies bacterianas no ambiente oral. Dependendo da localização, podem ocorrer cáries, gengivite, periodontite ou peri-implantite. Por conseguinte, é importante utilizar materiais que não favoreçam a formação de biofilme (4).

No seu estudo, Barkarmo *S et al*/sugerem que o PEEK maquinado não é mais suscetível à colonização bacteriana do que o titânio, sugerindo uma adesão bacteriana semelhante entre os dois materiais. No entanto, o PEEK jato de areia com uma topografia de superfície mais rugosa apresentou uma maior formação de biofilme (4).

A rugosidade da superfície tem um impacto na adesão bacteriana a estes materiais. Para os componentes não implantares, como os pilares dentários, do ponto de vista do controlo de infeções, é importante manter os biomateriais na cavidade oral tão lisos quanto possível, para reduzir a quantidade de formação de biofilme na superfície e para facilitar a limpeza (4).

5.2. Biocompatibilidade do PEEK e do titânio

A integração de tecido em implantes dentários é um processo de cicatrização que envolve várias fases de formação e rutura de tecido (7).

A barreira mucosa em redor do implante é caracterizada pela transição progressiva de um coágulo para um tecido de granulação seguida pela formação de um epitélio barreira e pela maturação do tecido conjuntivo (7).

O tecido mole adjacente aos implantes pode proporcionar um selamento protetor entre o ambiente oral e o osso de suporte. Pode também evitar a colonização bacteriana, prevenindo assim a perda óssea marginal irreversível. Por conseguinte, o estabelecimento precoce de tecido mole organizado à volta dos pilares dos implantes pode ser um passo importante para a osteointegração e sobrevivência dos implantes a longo prazo (7,8).

O sucesso estético não depende apenas da prótese em si, mas é largamente determinado pela aparência do tecido mole circundante (9).

Atualmente, existem várias técnicas que podem facilitar a gestão dos tecidos moles, incluindo a colocação de uma prótese provisória, que pode ser imediata ou tardia (9).

Os fibroblastos gengivais humanos (HGF) são as principais células do tecido conjuntivo peri-implantar e são importantes para a cicatrização e regeneração das feridas gengivais. A quantidade e a bioatividade do HGF na interface gengival do implante podem influenciar a formação de articulações dos tecidos moles peri-implantares (8). De acordo com um estudo realizado por Gheisarifar M *et al*, as superfícies de titânio e PEEK modificadas por laser conduziram a uma fixação melhorada e direcionada dos fibroblastos gengivais em comparação com as superfícies não modificadas por laser (8).

O estudo também revelou diferenças significativas entre os grupos PEEK e titânio, eliminando a hipótese nula. Conclui-se que o tratamento por plasma dos materiais PEEK aumenta a molhabilidade deste polímero e melhora a proliferação do HGF (8).

Por conseguinte, os componentes dos implantes PEEK podem ser uma melhor escolha clínica em áreas esteticamente difíceis, onde é essencial um contacto máximo entre os tecidos moles e os componentes dos implantes (8).

Koutouzis T *et al*, num ensaio clínico prospetivo, não conseguiram demonstrar que o material do pilar de cicatrização (PEEK ou titânio) influencia significativamente as alterações nos tecidos moles e a nível ósseo durante o período de 3 meses após a instalação do implante. Não foi observada qualquer diferença significativa na acumulação de placa entre os 2 grupos no exame de 3 meses. Os implantes de ambos os grupos apresentaram uma perda óssea marginal mínima durante o período de cicatrização de 3 meses. Estes resultados indicam que os pilares de cicatrização PEEK não resultam num risco aumentado de perda óssea marginal e recessão dos tecidos moles durante o período inicial de cicatrização (7).

5.3. Características mecânicas do PEEK e do titânio

O comportamento biomecânico dos implantes difere do dos dentes naturais devido à ausência de um ligamento periodontal (6).

Isto resulta na transferência direta de forças oclusais para o implante e para o osso circundante em próteses dentárias suportadas por implantes. Biologicamente, esta transferência direta de tensão pode levar à perda óssea na região peri-implantar e ter um impacto no sucesso clínico a longo prazo da prótese sobre implantes (6).

O titânio é conhecido pelo seu elevado módulo de elasticidade. O resultado desta propriedade é que, em vez de absorver as forças mastigatórias, o titânio transfere essas forças para o osso adjacente, proporcionando assim uma proteção significativa contra o stress (1).

Neumann EAF *et al*, num estudo destinado a comparar a resistência à fratura de parafusos de retenção de pilares de titânio e PEEK, verificaram que os parafusos de pilar de PEEK e os parafusos de pilar de PEEK reforçados com 30% de fibra de carbono apresentavam uma resistência à fratura inferior à dos parafusos de pilar de titânio (1).

Villefort RF *et al*, avaliaram a resposta mecânica de próteses obturadoras implanto-suportadas com fixação por barra-clipe e barras fresadas, em três materiais diferentes sob duas incidências de carga. Para os parafusos e implantes protéticos, o PEEK apresentou uma concentração de tensões mais elevada do que os outros materiais, bem como um comportamento promissor para o tecido ósseo e para a integridade da barra e das fixações barra-clipe. No entanto, a concentração de tensões nos parafusos protéticos pode representar um risco acrescido de fracasso (10).

A concentração de tensões nos parafusos protéticos é influenciada pela conexão do implante e pelo material selecionado para os pilares e estruturas (10).

Villefort RF *et al*, afirma que os pilares menos rígidos, como os feitos de compósito reforçado com fibra e PEEK, não são absolutamente relevantes para os implantes com cone Morse (10).

Em contraste, para implantes hexagonais externos, as estruturas protéticas flexíveis aumentam a tensão gerada nas roscas protéticas e podem reduzir a sobrevivência das restaurações em fadiga cíclica. Isto é importante porque o desaperto dos parafusos do pilar, a fratura dos parafusos de fixação, o endireitamento dos parafusos e o afrouxamento do pilar são complicações técnicas comuns nas próteses suportadas por implantes (10).

Assim, os resultados do presente estudo sugerem que a utilização de PEEK pode facilitar o aparecimento de complicações mecânicas nos parafusos protéticos, comparativamente às estruturas metálicas (10).

De facto, o aparecimento de microfissuras nas estruturas detetadas no grupo PEEK poderá estar relacionado com o comportamento à fadiga deste polímero de alto desempenho (5).

Rani S *et al*, ao analisarem as tensões em relação ao implante, revelaram que o valor máximo de tensão foi encontrado com o pilar de PEEK e o mínimo com o pilar de titânio em torno do colo do implante. Além disso, observou-se que a alteração do material do pilar e do material protético teve pouco efeito no valor da tensão no osso periférico, o que foi consistente com estudos anteriores (6).

6. Conclusões

De entre os artigos selecionados para esta revisão sistemática integrativa da literatura sobre o tema “Características biológicas, de biocompatibilidade e mecânicas do PEEK vs titânio aplicado em estruturas sobre implantes” foram retiradas as seguintes conclusões:

O PEEK demonstrou bons resultados contra a adesão bacteriana, no entanto, não é mais vantajoso do que o titânio.

Ao nível dos tecidos moles, notaram-se diferenças. O PEEK teve um melhor desempenho na fixação melhorada e orientada dos fibroblastos gengivais. No entanto, não foram observadas diferenças significativas nas respostas dos tecidos moles e duros aos pilares dos implantes temporários. Concluindo assim possuir excelente biocompatibilidade

Por outro lado, o titânio demonstrou melhores qualidades mecânicas. Com o seu elevado módulo de elasticidade e a sua rigidez, evita a transmissão de tensões desfavoráveis, transferindo estas forças para o osso adjacente, ao contrário do PEEK que possui um módulo de elasticidade inferior.

Além disso, é mais provável que cause complicações ao despertar, por exemplo, ou microfissuras.

Perante a questão “As características das estruturas PEEK são semelhantes às do titânio?”
(A hipótese nula deve ser rejeitada porque existem diferenças entre os dois materiais.)

7. Referências Bibliográficas

1. Neumann EAF, Villar CC, França FMG. Fracture resistance of abutment screws made of titanium, polyetheretherketone, and carbon fiber-reinforced polyetheretherketone. *Braz Oral Res.* 2014;28:S1806-83242014000100239.
2. Abou-Ayash S, Schimmel M, Özcan M, Ozcelik B, Brägger U, Yilmaz B. Trueness and marginal fit of implant-supported complete-arch fixed prosthesis frameworks made of high-performance polymers and titanium: An explorative in-vitro study. *J Dent.* 2021 Oct;113:103784.
3. Jin HY, Teng MH, Wang ZJ, Li X, Liang JY, Wang WX, et al. Comparative evaluation of BioHPP and titanium as a framework veneered with composite resin for implant-supported fixed dental prostheses. *J Prosthet Dent.* 2019 Oct;122(4):383–8.
4. Barkarmo S, Longhorn D, Leer K, Johansson CB, Stenport V, Franco-Tabares S, et al. Biofilm formation on polyetheretherketone and titanium surfaces. *Clin Exp Dent Res.* 2019 Aug;5(4):427–37.
5. Wang J, Wu P, Liu HL, Zhang L, Liu LP, Ma CF, et al. Polyetheretherketone versus titanium CAD-CAM framework for implant-supported fixed complete dentures: a retrospective study with up to 5-year follow-up. *J Prosthodont Res.* 2022 Apr 27;66(2):279–87.
6. Rani S, Jain N, Barua SL, Idnani S, Kaushik N. Stress analysis in implant, abutment, and peripheral bone with different restorative crown and abutment materials: A three-dimensional finite element analysis study. *Dent Res J (Isfahan).* 2023;20:62.
7. Koutouzis T, Richardson J, Lundgren T. Comparative soft and hard tissue responses to titanium and polymer healing abutments. *J Oral Implantol.* 2011 Mar;37 Spec No:174–82.
8. Gheisarifar M, Thompson GA, Drago C, Tabatabaei F, Rasoulianboroujeni M. In vitro study of surface alterations to polyetheretherketone and titanium and their effect upon human gingival fibroblasts. *J Prosthet Dent.* 2021 Jan;125(1):155–64.
9. Agustín-Panadero R, Serra-Pastor B, Roig-Vanaclocha A, Román-Rodríguez JL, Fons-Font A. Mechanical behavior of provisional implant prosthetic abutments. *Med Oral Patol Oral Cir Bucal.* 2015 Jan 1;20(1):e94-102.
10. Villefort RF, Tribst JPM, Dal Piva AM de O, Borges AL, Binda NC, Ferreira CE de A, et al. Stress distribution on different bar materials in implant-retained palatal obturator. *PLoS One.* 2020;15(10):e0241589.

