



## Implantes de zircônia adicionada de fosfato tricálcio (TCP): propriedades mecânicas e biológicas

Zirconia implants added with tricalcium phosphate (TCP): mechanical and biological properties

Implantes de zirconia añadidos con fosfato tricálcico (TCP): propiedades mecánicas y biológicas

Jéssica Maria Gomes Ferreira<sup>1</sup>, Mathias Antonio Costa de Sousa<sup>2</sup>, Lara Danúbia Galvão de Souza<sup>2</sup>, Marcelo Taumaturgo Porto<sup>3</sup>, Fernanda Porto Taumaturgo<sup>3</sup>, Gustavo Rodrigues Sousa<sup>4</sup>, Sandy Rabelo Lima<sup>5</sup>, Samara Kelly da Silva Cavalcante<sup>1</sup>, Bruno Sousa Pinto Ferreira<sup>6</sup>, Vandrê Taumaturgo de Mesquita<sup>7</sup>.

### RESUMO

**Objetivo:** O objetivo desta revisão de literatura, é apresentar os estudos mais recentes sobre as propriedades mecânicas e biológicas do TCP quando adicionado a zircônia, a fim de avaliar sua viabilidade e potencial para uso em aplicações odontológicas. **Revisão bibliográfica:** A adição de fosfato tricálcio à zircônia tem sido investigada como uma forma de melhorar as propriedades desse material. Algumas pesquisas recentes, têm se concentrado na modificação da superfície da zircônia pela deposição de uma camada de fosfato de cálcio, permitindo assim a formação de uma interface osso-implante direta, melhorando o processo de cicatrização óssea ao redor do implante. O  $\beta$ -fosfato tricálcico ( $\beta$ -TCP) é um material promissor para revestimentos de implantes ósseos inertes devido às suas características biológicas favoráveis, como osteocondutividade, bioreabsorvibilidade e capacidade de união óssea, bem como aumentar da densidade e o tamanho de grão da zircônia, melhorando sua resistência à fratura. **Considerações finais:** Os estudos sugerem que a adição de fosfato tricálcio à zircônia pode melhorar as propriedades mecânicas e biológicas do material, tornando-se uma opção promissora para aplicações médicas e odontológicas.

**Palavras-chave:** Cerâmica, Implantes dentários, Osseointegração, Materiais biocompatíveis, Porcelana dentária.

### ABSTRACT

**Objective:** The aim of this literature review is to present the most recent studies on the mechanical and biological properties of TCP when added to zirconia, in order to evaluate its feasibility and potential for use in

<sup>1</sup> Centro Universitário Católica de Quixadá, Quixadá-CE.

<sup>2</sup> Programa de Pós-graduação em Odontologia da UFPB, João Pessoa-PB.

<sup>3</sup> Universidade de Fortaleza, Fortaleza-CE.

<sup>4</sup> Centro Universitário Christus, Fortaleza-CE.

<sup>5</sup> Programa de Pós-Graduação em Saúde e Sociedade, Mossoró-RN.

<sup>6</sup> Programa de Pós-Graduação em Ciências Morfofuncionais da UFC, Fortaleza-CE.

<sup>7</sup> Programa de Pós-Graduação em Odontologia da UFPE, Recife-PE.

dental applications. **Literature review:** The addition of tricalcium phosphate to zirconia has been investigated as a way to improve the properties of this material. Some recent research has focused on modifying the surface of zirconia by depositing a layer of calcium phosphate, thereby allowing the formation of a direct bone-implant interface, improving the bone healing process around the implant.  $\beta$ -tricalcium phosphate ( $\beta$ -TCP) is a promising material for coating inert bone implants due to its favorable biological characteristics, such as osteoconductivity, bioresorbability, and bone-binding capacity, as well as increasing the density and grain size of zirconia, improving its fracture resistance. **Conclusions:** Studies suggest that the addition of tricalcium phosphate to zirconia can improve the mechanical and biological properties of the material, making it a promising option for medical and dental applications.

**Keywords:** Ceramics, Dental implants, Osseointegration, Biocompatible materials, Dental porcelain.

## RESUMEN

**Objetivo:** El objetivo de esta revisión de la literatura es presentar los estudios más recientes sobre las propiedades mecánicas y biológicas del TCP cuando se añade a la zirconia, con el fin de evaluar su viabilidad y potencial para su uso en aplicaciones odontológicas. **Revisión bibliográfica:** La adición de fosfato tricálcico a la zirconia ha sido investigada como una forma de mejorar las propiedades de este material. Algunas investigaciones recientes se han centrado en la modificación de la superficie de la zirconia mediante la deposición de una capa de fosfato de calcio, permitiendo así la formación de una interfaz directa hueso-implante, mejorando el proceso de cicatrización ósea alrededor del implante. El  $\beta$ -fosfato tricálcico ( $\beta$ -TCP) es un material prometedor para recubrimientos de implantes óseos inertes debido a sus características biológicas favorables, como osteoconductividad, bioresorbilidad y capacidad de unión ósea, así como aumentar la densidad y el tamaño de grano de la zirconia, mejorando su resistencia a la fractura. **Consideraciones finales:** Los estudios sugieren que la adición de fosfato tricálcico a la zirconia puede mejorar las propiedades mecánicas y biológicas del material, convirtiéndolo en una opción prometedora para aplicaciones médicas y odontológicas.

**Palabras clave:** Cerámica, Implantes dentales, Oseointegración, Materiales biocompatibles, Porcelana dental.

## INTRODUÇÃO

Implantes dentários de cerâmica foram sugeridos na década de 1960, introduzido por Sandhaus. Nesta ocasião, os primeiros implantes cerâmicos eram feitos de óxido de alumínio e foram retirados do mercado devido as fracas propriedades biomecânicas e resultados clínicos insatisfatórios. Atualmente, a cerâmica de dióxido de zircônio (zircônia) em implantes dentários está emergindo como uma alternativa ao titânio, principalmente devido à cura superior dos tecidos moles, além de suas propriedades estéticas (FREITAS PH, et al., 2017; RODRIGUEZ AE, et al., 2018).

O titânio, por ser um metal de excelentes propriedades mecânicas e alta biocompatibilidade, é um material padrão-ouro para os implantes dentários. Contudo, existem inúmeras pesquisas odontológicas sendo realizada nesta área, no sentido que se obtenha mais produtos que possam ser indicados também como alternativas para o tratamento de arcos edêntulos (PIERALLI S, et al., 2017; RUPP F, et al., 2017).

A zircônia, tem uma coloração semelhante aos elementos dentais naturais e com isso os implantes deste material proporcionam gengivas mais naturais e harmônicas trazendo grandes benefícios estéticos para o paciente, além disso apresenta excelente biocompatibilidade e integração tecidual, baixa afinidade à placa e propriedades biomecânicas favoráveis (FREITAS PH et al., 2017).

A zircônia ( $ZrO_2$ ) possui três formas cristalográficas distintas: monoclinica (estável até  $1150^\circ C$ ), tetragonal (estável até  $2370^\circ C$ ) e cúbica (estável até o ponto de fusão, a  $2680^\circ C$ ) (ZHANG Y e LAWN BR, 2018). A forma tetragonal, que oferece as melhores propriedades mecânicas, é atualmente a mais utilizada na Reabilitação Oral (KELCH M, et al., 2019). O dióxido de zircônia puro não é ideal para a confecção de próteses odontológicas devido ao aumento abrupto de volume durante as transições de fase, o que pode causar trincas

e inviabilizar seu uso (STAWARCZYK B, et al., 2017). Para evitar isso, óxidos estabilizadores ou dopantes são incorporados em pequenas concentrações para determinar a estabilidade de fase, a transformabilidade e as propriedades mecânicas (ZADEH PN, et al., 2018). Entre esses, a ítria (Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) se destaca como o óxido mais eficaz para alcançar uma combinação de alta resistência e tenacidade (ZHANG Y e LAWN BR, 2018).

Os biomateriais foram introduzidos na década de 50 com intuito de auxiliar na osteointegração pela sua composição química com características de osteoindução e osteocondução favorecendo o crescimento ósseo na superfície dos implantes (PIRES AL, et al., 2015). Estes foram as biocerâmicas à base de silicato de cálcio e o beta fosfato tricálcico, sendo por isso frequentemente empregado como biomaterial  $\beta$ TCP Ca<sub>3</sub>(PO<sub>4</sub>)<sub>2</sub> (ARAÚJO SM, et al., 2019).

O fosfato tricálcico (TCP; Ca<sub>3</sub>(PO<sub>4</sub>)<sub>2</sub>) e a HAP (hidroxiapatita) são atualmente, os biomateriais com maiores taxas de sucesso para fins de regeneração óssea. A busca por melhorias que favoreçam maior área de adesão e especialmente, aquelas relacionadas com as características da superfície do implante (WANG Q, et al., 2020), assim como, sendo destaque em pesquisas científicas a fim de que se obtenha cada vez mais taxas elevadas de sucesso na Implantodontia.

Neste sentido, este trabalho científico visa buscar na literatura científica mundial, as pesquisas mais relevantes sobre o tema da Implantodontia utilizando materiais alternativos da zircônia para a Reabilitação Oral e buscar apresentar como um instrumento atual e importante para ser utilizado como base da literatura científica atual.

## REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Desde que a osseointegração foi descoberta, o titânio comercialmente puro (TiCp) se tornou o material preferido para implantes dentários devido à sua biocompatibilidade e propriedades mecânicas. Contudo, em reabilitações estéticas, a tonalidade acinzentada dos implantes de titânio pode representar um desafio. Mesmo com a osseointegração bem-sucedida, em casos de fenótipo gengival fino, a recessão dos tecidos ao redor dos implantes, causada pela reabsorção óssea associada, pode comprometer todo o trabalho. Isso é especialmente crítico na região anterior, onde uma linha de sorriso alta pode revelar os tons escuros da interface marginal através da translucidez da mucosa ao redor dos implantes (HOCHSCHEIDT CJ, et al., 2014).

Além dos problemas locais, a possibilidade de reações alérgicas a metais ou o desenvolvimento de sensibilidade ao titânio comercialmente puro (TiCp) e suas ligas incentivaram os pesquisadores a buscar materiais alternativos para a fabricação de implantes dentários. Existem relatos de reações alérgicas ao titânio e a outros metais utilizados na odontologia, o que tem gerado discussões significativas no meio acadêmico (ANDREIOTELLI M, et al., 2009; SIDDIQI A, et al., 2011).

Devido aos bons resultados obtidos na ortopedia médica, a odontologia tem explorado as propriedades físicas e químicas do dióxido de zircônio (ZrO<sub>2</sub>), também conhecido como zircônia (Zr), especialmente em reabilitações estéticas, há mais de 30 anos. Desde 1989, o ZrO<sub>2</sub> tem sido utilizado para a fabricação de pinos radiculares, braquetes ortodônticos, pilares de implantes e próteses fixas unitárias e parciais sem metal (HISBERGUES M, et al., 2008; KOUTAYAS SO, et al., 2009).

As pesquisas sobre a zircônia (Y-TZP) como biomaterial inicialmente focaram em melhorar o desempenho biomecânico das próteses totais de quadril (THR), amplamente conhecidas, oferecendo uma alternativa aos implantes metálicos. Nos primeiros estudos, a zircônia foi utilizada como condutor à chama ou via spray, uma tecnologia inovadora para a década de 70 (AZEVEDO VVC, et al., 2007).

No campo odontológico, a Y-TZP apresentou outras vantagens, como menor condutividade térmica, benéfica mesmo para restaurações dentárias delicadas, melhor radiopacidade e ausência de artefatos em exames de ressonância magnética, além de benefícios estéticos. As pesquisas mostraram que a Y-TZP causa menos mudança de cor através da mucosa em comparação com implantes metálicos (Ti), uma observação confirmada por análises espectrofotométricas (PRITHVIRAJ DR, et al., 2012).

Ao longo dos anos, a busca por uma melhor qualidade de vida, com aumento da expectativa de vida, saúde e bem-estar dos seres humanos, levou a uma crescente exploração científica dos biomateriais. Esses materiais podem ser implantados para substituir ou corrigir tecidos, contribuindo significativamente para avanços na Odontologia. Para além disso, a busca pela excelência aumentou significativamente a procura por parte dos pacientes por novas possibilidades de tratamento em relação ao seu sorriso e a sua qualidade de vida quer seja na força de mastigação quanto na frequência e intensidade de utilização da própria arcada dentária (MONTEIRO MLS, 2021).

Com o avanço dos estudos na área odontológica, o desenvolvimento de novos materiais para reabilitação oral tem permitido a criação de modalidades mais estéticas e harmônicas. A introdução de materiais inovadores, como o dissilicato de lítio, a porcelana aluminizada pura densamente sinterizada, e a cerâmica à base de zircônia tetragonal policristalina estabilizada com ítrio (Y-TZP), bem como a associação entre alumina e zircônia, ampliou as possibilidades de tratamentos.

Esses materiais não apenas atendem aos critérios estéticos exigidos pelos pacientes, mas também oferecem propriedades mecânicas superiores. Essa combinação de estética e resistência tem sido essencial para procedimentos que requerem maior durabilidade, como próteses dentárias e restaurações que demandam alta precisão e fidelidade aos elementos dentais naturais (WEBBER LP, et al., 2021).

Diversos estudos destacam a zircônia como uma cerâmica de destaque, devido à sua resistência mecânica elevada e alta taxa de sobrevivência em condições clínicas desafiadoras. Além disso, seu desempenho clínico tem sido considerado bastante aceitável, proporcionando resultados satisfatórios tanto para profissionais quanto para pacientes. Com o desenvolvimento de técnicas avançadas, é possível alcançar um nível de naturalidade nas reabilitações que se aproxima muito da aparência dos dentes naturais, sendo a zircônia frequentemente empregada em reabilitações em regiões estéticas, como os dentes anteriores.

Na Implantodontia, especialmente em zonas de alta demanda estética, esses materiais têm demonstrado resultados excepcionais, contribuindo para o sucesso de tratamentos de reabilitação oral a longo prazo. (WEBBER LP, et al., 2021; MARQUES H e NEVES J, 2021; FILHO LCC, et al., 2022). Os implantes dentários cerâmicos têm sido amplamente estudados em revisões sistemáticas, que confirmaram que a osseointegração do Y-TZP é comparável ou até superior à dos implantes dentários de titânio. Estudos *in vitro* que analisaram a resistência à fratura e à compressão dos implantes de zircônia, após ciclagem mecânica, indicaram que esses implantes podem suportar cargas fisiológicas. No entanto, surgiram dúvidas quanto à sua durabilidade em situações de alto estresse, como em pacientes com bruxismo (WENZ HJ, et al., 2009).

Na Implantodontia, com a possibilidade de utilização da zircônia em implantes dentários, uma gama de possibilidades veio a apresentar através de seu próprio protocolo de sua utilização. Estes podem ser fabricados em modelos de um e dois componentes, ou seja, sistemas de componente único são aqueles que não necessitam de pilares, a parte transmucosa dos implantes de componente único é integrada ao corpo do implante. Já os sistemas de dois componentes, apresentam uma parte que é inserida durante a primeira etapa da cirurgia e uma parte transmucosa que é unida ao implante durante um segundo procedimento, a sua própria indicação se refere basicamente no espaço interoclusal e a estética do caso (FREITAS PH et al., 2017).

A transformação termomecânica da fase tetragonal para a fase monoclinica da zircônia resulta em um aumento de volume de aproximadamente 4%. Esse aumento volumétrico gera tensões compressivas superficiais na estrutura do material, que atuam de maneira eficaz na contenção e prevenção da propagação de trincas. Esse efeito contribui significativamente para proporcionar uma resistência adicional à zircônia, caracterizando um fenômeno amplamente conhecido como tenacificação (BISPO LB, 2015).

Essa propriedade única é fundamental para explicar a elevada resistência à fratura da zircônia, o que justifica seu uso extensivo em aplicações odontológicas que exigem alta durabilidade e robustez. Por exemplo, a zircônia é amplamente utilizada em próteses fixas posteriores, onde as demandas de resistência mecânica são elevadas, assim como em abutments para próteses sobre implantes, que requerem materiais com excelente desempenho clínico e estético (TOSTES BO, et. al., 2017).

A resistência à flexão da zircônia é notavelmente alta, comparável até mesmo à do aço, o que a torna quase três vezes mais resistente do que o dissilicato de lítio, com valores de resistência variando de 900 a 1200 MPa, em contraste com os 262 a 306 MPa do dissilicato de lítio. Esse nível de resistência é particularmente relevante em próteses de três elementos, onde a zircônia é submetida a tensões de flexão significativas no pântico.

Além disso, o elevado módulo de elasticidade da zircônia, que é de aproximadamente 210 GPa, confere ao material uma rigidez excepcional. Essa rigidez torna a zircônia especialmente adequada para a confecção de estruturas de suporte para próteses sobre implantes, como copings para próteses fixas unitárias e próteses parciais fixas posteriores (DPFs), mesmo quando utilizadas em espessuras reduzidas (ZHANG Y e LAWN BR, 2018; KELCH M, et al., 2019).

Além disso, o acúmulo do biofilme tem sido considerado como uma das principais causas de falhas nos implantes. Com isso, surgiu a necessidade de aprimoramento em relação aos biomateriais para a utilização na Implantodontia. Surgindo implantes de zircônia, os quais possuem cor branca e menor afinidade com a formação de biofilme bacteriano (RODRIGUEZ AE, et al., 2018).

A zircônia tetragonal parcialmente estabilizada foi desenvolvida há mais de quinze anos e também, é conhecida como zircônia convencional (primeira geração). A zircônia convencional tem um alto índice de refração da luz e também possui um número extremamente alto de interfaces devido às inúmeras estruturas cristalinas muito pequenas pelas quais a luz deve passar. Isso cria o caráter opaco para o material. Para contornar esta desvantagem, as restaurações fresadas no estado de corpo branco podem ser tingidas manualmente e individualmente com óxidos corantes após o processo de fresagem e depois sinterizadas (STAWARCZYK B, et al., 2017).

Nos últimos anos, um material cerâmico com altas propriedades mecânicas têm sido utilizadas como alternativa aos implantes de titânio: a zircônia tetragonal policristalina estabilizada por ítrio (ZTP-Y)17-19. Esse material possui cor semelhante à cor natural dos dentes, característica essencial em áreas estéticas, pois permite a transmissão de luz na interface entre o tecido gengival marginal e os componentes protéticos (FREITAS PH et al., 2017).

Os materiais de enxerto ósseo são classificados em quatro tipos: ossos autógenos, ossos alogênicos, ossos xenogênicos e materiais aloplásticos. Dentre esses, os ossos autógenos são considerados os mais seguros em relação à rejeição imunológica, mas exigem procedimentos cirúrgicos adicionais para serem colhidos dos doadores. Ossos alogênicos e xenogênicos não requerem esses procedimentos extras, mas apresentam risco de transmissão de doenças e não permitem ajuste nas taxas de biodegradação. Em contraste, os materiais aloplásticos possibilitam a regulação das taxas de biodegradação e são mais fáceis de esculpir em formas tridimensionais desejadas (KIM YK, et al., 2014).

Diversos materiais têm sido utilizados como enxertos ósseos aloplásticos, incluindo hidroxiapatita (HA), fosfato de cálcio, corais e biovidro. O fosfato tricálcico (TCP,  $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ ), com uma razão molar Ca/P de 1,5, tem sido testado em ensaios clínicos, apresentando formas cristalinas alfa e beta, sendo que o estado  $\beta$  possui maior microporosidade e degradação em comparação à hidroxiapatita. (DACULSI G, et al., 1990).

A HA, com fórmula molecular  $\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6(\text{OH})_2$  e uma razão Ca/P de 1,67, é o material mais amplamente utilizado devido à sua semelhança com a estrutura óssea humana e sua osteocondutividade comprovada em estudos in vitro e in vivo. Os fosfatos de cálcio bifásicos (BCP), mistura de fosfato tricálcico e hidroxiapatita, também demonstram excelente biocompatibilidade e osteocondutividade, sendo que combinações de 40% de  $\beta$ -fosfato tricálcico ( $\beta$ -TCP) e 60% de hidroxiapatita têm mostrado resultados superiores a outros compostos (LU J, et al., 2002).

O fosfato de cálcio com sua excelente compatibilidade, bioatividade e biodegradabilidade também é usado como meio de jateamento em superfícies de implantes de titânio. Com base no tipo cristalino, os fosfatos de cálcio podem ser divididos em  $\alpha$ -tricálcio fosfato ( $\alpha$ -TCP) e  $\beta$ -tricálcio fosfato ( $\beta$ -TCP).  $\beta$ -TCP e Hidroxiapatita são identificados como materiais de jateamento eficazes, pois esses materiais produzem uma textura limpa e

uniforme na superfície do implante de titânio. O valor do contato osso-implante das superfícies tratadas com fosfato de cálcio é maior do que o das superfícies usinadas. Estudos experimentais provaram que o contato osso-implante de uma superfície jateada com fosfato de cálcio foi semelhante a outros materiais jateados durante a osseointegração (WANG Q, et al., 2020).

Recentes estudos vêm utilizando clinicamente o pirofosfato de cálcio e o fosfato tricálcico ( $\beta$  e  $\alpha$ ) devido ao maior potencial bioativo, quando em comparação à fase hidroxiapatita. A bioatividade é uma propriedade que está diretamente relacionada com a dissolução dos fosfatos de cálcio. Por isso, atualmente é verificada uma crescente demanda na produção de fosfatos de cálcio com maior capacidade osteocondutora e bioatividade, consequência de uma adequada bioreabsorção em meio fisiológico (ALMEIDA RS, et al., 2020). A respeito da regeneração óssea em que vários processos biológicos complexos são realizados, muitos experimentos têm sido realizados utilizando biomateriais in vivo e in vitro para promover e compreender este processo de regeneração óssea.

Os biomateriais cerâmicos têm se destacado na odontologia e em outras áreas da medicina por suas propriedades únicas, que os tornam extremamente vantajosos para uso clínico. Um dos principais motivos para essa ampla utilização é o fato de que esses materiais exibem ângulos de contato com a água que variam entre 60° e 85°. Esses ângulos de contato são indicativos de uma superfície que é hidrofílica o suficiente para promover interações biológicas desejáveis, mas não tão hidrofílica a ponto de provocar alterações conformacionais nas proteínas plasmáticas que são adsorvidas na superfície.

Esse comportamento é particularmente importante porque a manutenção da conformação nativa das proteínas adsorvidas é essencial para promover a migração e adesão celular adequadas, que são fundamentais para a integração do material no tecido biológico e para a promoção da cicatrização (DASGUPTA S, et al., 2019). Entre os biomateriais utilizados nas técnicas regenerativas, o  $\beta$ -fosfato tricálcico ( $\beta$ -TCP) se destaca por suas características únicas que o tornam altamente eficaz como componente de cimentos biológicos e como reforço em arcabouços poliméricos (ALMEIDA RS, et al., 2020). O  $\beta$ -TCP é amplamente preferido devido à sua semelhança estrutural com os componentes inorgânicos do tecido ósseo, o que facilita sua integração no ambiente biológico e promove a regeneração óssea.

Além disso, um dos principais benefícios desse material é que ele não apresenta risco de transmissão de doenças, garantindo maior segurança para os pacientes. O  $\beta$ -TCP também possui excelente biocompatibilidade, sendo bem tolerado pelo organismo sem causar reações adversas. Outra vantagem significativa do  $\beta$ -TCP é sua participação ativa no equilíbrio dos níveis de cálcio e fósforo no organismo, o que é essencial para o processo de mineralização óssea e manutenção da saúde óssea a longo prazo (ZHANG W, et al., 2010).

Devido às suas ótimas propriedades, os fosfatos tricálcicos têm sido muito pesquisados, desde alterações químicas a modelos estruturais. A grande maioria dos estudos, tem como objetivo otimizar sua reatividade e suas propriedades mecânicas em conjunto com as outras necessidades a fim de aumentar ainda mais a gama de aplicação destes materiais (ROSA SFJ, et al., 2020), apresenta também, efeito na bioatividade em que o aumento da porosidade melhora o contato com os fluidos corporais na área da superfície e devem ser fabricados com propriedades adequadas ao tecido que se pretende reparar, juntamente com suas exigências geométricas.

A rugosidade de superfície também tem efeito na adesão celular (JEONG J, et al., 2019), sendo assim, os grânulos são muito favoráveis, por formarem um arcabouço que permite a adesão e a migração celular, por serem de fácil manuseio e capazes de preencher o defeito. (ALMEIDA RS, et al., 2020). Além disso, apresenta excelente velocidade de degradação no meio biológico, na qual a utilização deste com hidroxiapatita se torna uma alternativa viável aumentando a velocidade de degradação da HA.

Nesses casos, a velocidade de degradação é controlada pela quantidade de biomaterial fosfatos tricálcicos utilizado (GUASTALDI AC e APARECIDA AH, 2010). Este apesar de ser material de escolha em vários procedimentos de reparo ósseo ortopédico e maxilofacial, ainda detém algumas limitações. Até o momento, as propriedades físico químicas ideais do BCP para aplicações ósseas não chegaram a um padrão definido.

Isso está relacionado principalmente à falta de protocolos de estudo padrão dos biomateriais, especialmente no que diz respeito às suas caracterizações e aplicações clínicas (ROSA SFJ, et al., 2020).

Implantes de zircônia com fosfato tricálcio (TCP) estão se tornando cada vez mais populares e podem se tornar uma opção comum no futuro devido a razões diversas. Um exemplo está no que diz respeito a melhoria das propriedades mecânicas: A zircônia por si só é muito resistente, mas a adição de TCP pode melhorar ainda mais suas propriedades, aumentando a tenacidade e reduzindo o risco de fraturas (SONG YG e CHO IH, 2014; GAUTAM et al., 2016).

Além disso, biocompatibilidade Aumentada: A zircônia é conhecida por sua excelente biocompatibilidade, e a inclusão de TCP pode potencializar a osteointegração, facilitando a integração do implante com o osso ao redor. Outro ponto está no aspecto estético: A zircônia oferece uma cor semelhante ao dente natural, o que a torna uma escolha atraente para pacientes que valorizam a estética (GAUTAM et al., 2016; ZHANG W et al., 2023). Além disso, espera-se uma redução de rejeição: Com sua alta biocompatibilidade e a capacidade do TCP de promover a formação óssea, esses implantes têm um risco reduzido de rejeição ou complicações (ROEHLING et al., 2019; ZHANG W et al., 2023).

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

A adição de fosfato tricálcico (TCP) contribui significativamente para a regeneração óssea devido à sua capacidade de se degradar e liberar íons que estimulam a neoformação óssea. Além disso, o TCP melhora a resistência e a estabilidade da zircônia. Estudos indicam que a incorporação desse material à zircônia pode aprimorar suas propriedades mecânicas e biológicas, tornando-a uma opção promissora para aplicações médicas e odontológicas. No entanto, é crucial realizar mais pesquisas para avaliar a eficácia e a segurança desses materiais em estudos clínicos a longo prazo. A integração de TCP com zircônia representa um avanço importante no desenvolvimento de biomateriais, oferecendo potencial para melhorar os resultados clínicos e expandir as opções de tratamento tanto na medicina quanto na odontologia. A contínua investigação e inovação nessa área são essenciais para garantir a viabilidade e o sucesso dessas soluções em práticas clínicas futuras.

## REFERÊNCIAS

1. ALMEIDA RS, et al. Regeneração de defeito ósseo crítico após implantação de fosfato de cálcio bifásico ( $\beta$ -fosfato tricálcico/pirofosfato de cálcio) e vidro bioativo fosfatado. *Cerâmica*, 2020; 66: 119-25. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/0366-69132020663782707>.
2. ANDREIOTELLI M, et al. Are ceramic implants a viable alternative to titanium implants? A systematic literature review. *Clin Oral Impl Res*. 2009; 20: 32.
3. ARAÚJO SM, et al. Influência da incorporação da HAp e  $\beta$ -TCP no cimento ósseo wollastonita/brushita. *Revista Matéria*, 2019; 24(3).
4. AZEVEDO VVC, et al. Materiais cerâmicos utilizados para implantes. *Rev Eletr Mater Proc*. 2007; (23): 35-42.
5. BISPO LB. Cerâmicas odontológicas: vantagens e limitações da zircônia. *Rev. bras. odontol*, 2015; 72(1-2): 24-9.
6. DACULSI G, et al. Macroporous calcium phosphate ceramic for long bone surgery in humans and dogs. *Clinical and histological study*. *J Biomed Mater Res*. 1990; 24: 379–396.
7. DASGUPTA S, et al. Investigating the mechanical, physiochemical and osteogenic properties in gelatin-chitosan-bioactive nanoceramic composite scaffolds for bone tissue regeneration: In vitro and in vivo. *Mater Sci Eng C Mater Biol Appl*, 2019.
8. FILHO LCC, et al. Implante unitário de corpo único em zircônia em área estética—relato de caso. *Full Dent. Sci*, 2022; 13(51): 28-34.
9. FILHO ROS e VASCONCELOS AA. Pilares cerâmicos utilizados na odontologia: revisão de literatura. *Odontol. Clín.-Cient. (Online)*, 2016; 15(1).
10. FREITAS PH, et al. Implantes de zircônia na odontologia: Revisão de Literatura. *Revista Odontológica do Brasil Central*, 2017; 26(79): 1-8.
11. GAUTAM C, et al. Zirconia based dental ceramics: structure, mechanical properties, biocompatibility and applications. *Dalton Trans*. 2016.

12. GUASTALDI AC e APARECIDA AH. “Calcium phosphates of biological interest: Importance as biomaterials, properties and methods for coatings obtaining”, *Quim. Nova*, 2010; 33(6): 1352-1358.
13. HISBERGUES M, et al. Zirconia: established facts and perspectives for a biomaterial in dental Implantology. *J Biomedic Mat Res*. 2008: 519-29.
14. HOCHSCHEIDT CJ, et al. Implantes cerâmicos-evidências científicas para o seu uso. *Full Dent Sci*, 2014; 5: 535-45.
15. JEONG J, et al. Bioactive calcium phosphate materials and applications in bone regeneration. *Biomater Res*, 2019; 23: 4.
16. KELCH M, et al. Impact of different pretreatments and aging procedures on the flexural strength and phase structure of zirconia ceramics. *Dent Mater*, 2019; 35(10): 1439-49.
17. KIM YK, et al. Autogenous teeth used for bone grafting: a comparison with traditional grafting materials. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol*. 2014; 117-45.
18. KOUTAYAS SO, et al. Zirconia in Dentistry: Part 2. Evidence-based clinical breakthrough. *Eur J Esthet Dent*. 2009; 4: 348.
19. LU J, et al. The biodegradation mechanism of calcium phosphate biomaterials in bone. *J Biomed Mater Res*. 2002; 63: 408–412.
20. MARQUES H e NEVES J. Modelagem anatômica para abutment de implante personalizado de zircônia para melhorar a estética anterior: uma técnica clínica. *Brazilian Journal of Implantology and Health Sciences*, 2021; 3(1): 5-17.
21. MONTEIRO MLS, et al. Síntese de hidroxiapatita para aplicação em biocerâmicas: uma revisão da literatura. Dissertação (Graduação em Engenharia de Materiais) – Campus Universitário de Ananindeua. Universidade Federal do Pará, Ananindeua, 2021; 63.
22. MOTTA BBM, et al. Influência do percentual de ítrio nas propriedades da zircônia monolítica: Revisão de literatura. *Rev Nav Odontol*, 2022; 49(2): 33-38.
23. PIERALLI S, et al. Clinical Outcomes of Zirconia Dental Implants: A Systematic Review. *Journal of Dental Research*, 2017; 96(1): 38-46.
24. PIRES AL, et al. Biomaterials: Types, applications, and market. *Química Nova*, 2015; 38: 957-971.
25. PRITHVIRAJ DR, et al. A systematic review of zirconia as an implant material. *Indian J Dent Res*. 2012; 23: 643-9.
26. RODRIGUEZ AE, et al. Implantes dentários de zircônia: uma avaliação clínica e radiográfica. *J Esthet Restor Dent*, 2018; 1–7.
27. ROEHLING S, et al. Zirconia compared to titanium dental implants in preclinical studies A systematic review and meta-analysis. *Clin Oral Impl Res*. 2019; 30(5): 365-375.
28. ROSA SFJ, et al. Cerâmicas de fosfatos de cálcio bifásicas: uma revisão: Uma Revisão. *Revista Eletrônica de Materiais e Processos*, 2020; 15.
29. RUPP F, et al. Surface characteristics of dental implants: A review. *Dental Materials*, 2017; 34(1): 40–57.
30. SIDDIQI A, et al. Titanium allergy: could it affect dental implant integration? *Clin Oral Impl Res*. 2011; 22: 673–80.
31. SONG YG e CHO IH. Characteristics and osteogenic effect of zirconia porous scaffold coated with  $\beta$ -TCP/HA. *J Adv Prosthodont*. 2014; 6: 285-294.
32. STAWARCZYK B, et al. Three generations of zirconia: from veneered to monolithic. Part I. *Quintessence Int*, 2017; 48(5): 369-80.
33. TOSTES BO, et al. Characterization of conventional and high-translucency Y-TZP dental ceramics submitted to air abrasion. *Brazilian Dental Journal*, 2017; 28(1): 97–104.
34. WANG Q, et al. Multi-scale surface treatments of titanium implants for rapid osseointegration: A review. *Nanomaterials*, 2020; 10(6): 1–27.
35. WEBBER, LP, et al. Will zirconia implants replace titanium implants. *Applied Sciences*, 2021; 11(15): 6776.
36. WENZ HJ, et al. Osseointegration and clinical success of zirconia dental implants: a systematic review. *Int J Prosthodont*. 2008; 21: 27-36.
37. ZADEH PN, et al. Flexural strength, fracture toughness and translucency of cubic/tetragonal zirconia materials. *J Prosthet Dent*, 2018; 120(6): 948-54.
38. ZHANG W, et al. Fabrication of interconnected microporous biomaterials with high hydroxyapatite nanoparticle loading. *Biofabrication*, 2010; 2(3): 35006.
39. ZHANG W, et al. Improving the osseointegration and soft tissue sealing of zirconia ceramics by the incorporation of akermanite via sol infiltration for dental implants. *J Mater Chem B*. 2023; 11: 4237-4259.
40. ZHANG Y e LAWN BR. Novel zirconia materials in dentistry. *J Dent Res*, 2018; 97(2): 140-7.