

BIOCERÂMICAS APLICADAS À ORTOPEDIA E À ODONTOLOGIA – REVISÃO E ATUALIDADES

A. C. M. Nozaki¹, A. F. Fraga², R. F. C. Marques³, J. Marchi¹

¹ Centro de Ciências Naturais e Humanas (CCNH), Universidade Federal do ABC (UFABC), Campus Santo André, SP, Brazil

² Universidade Federal de São Carlos, Campus São Carlos, SP, Brazil

³ Universidade Federal de Alfenas, Campus Poços de Caldas, MG, Brazil
Rua Santa Adélia, 166, Bangu, Santo André-SP

juliana.marchi@ufabc.edu.br

RESUMO

O número de pesquisas na área de biomateriais para regeneração tecidual tem aumentado muito nos últimos anos, resultando no desenvolvimento de materiais que proporcionam interação com o organismo e resposta regenerativa cada vez melhores. Neste sentido, este trabalho visa apresentar uma revisão bibliográfica a respeito das biocerâmicas utilizadas em tratamentos ortopédicos e odontológicos. Dentre elas, merecem destaque as cerâmicas bioinertes como a titânia, a alumina e a zircônia; as bioativas como a hidroxiapatita e os biovidros bioativos; as biorreabsorvíveis como o tricalcio fosfato, o sulfato de cálcio e os biovidros biorreabsorvíveis. Estas biocerâmicas apresentam diversas vantagens quanto à relação propriedade-estrutura-processamento, resultando em materiais com melhor biocompatibilidade e osteocondutividade, além de propriedades mecânicas mais adequadas para aplicação ortopédica e odontológica.

Palavras-chave: biocerâmicas, ortopedia, odontologia.

INTRODUÇÃO

Os biomateriais cerâmicos têm sido muito estudados nos últimos anos, proporcionando o aprimoramento das propriedades mecânicas e regenerativas, fazendo com que sua aplicação se ampliasse dentro das áreas odontológica e ortopédica. O uso destes materiais para aplicações biomédicas deve-se sobretudo à sua elevada estabilidade química, uma biocompatibilidade melhor que a dos metais para diversas aplicações e suas excelentes propriedades tribológicas⁽¹⁾.

A utilização das biocerâmicas teve início de maneira empírica há uma centena de anos, mas foi apenas nas últimas quatro décadas que pesquisas sistemáticas,

industriais e universitárias ocorreram no sentido de melhorar produtos já existentes ou desenvolver novos materiais⁽¹⁾.

As biocerâmicas podem ser classificadas segundo o tipo de resposta tecidual em: bioinertes, bioativas e biodegradáveis^(2, 3).

Com base nesta classificação, o objetivo deste trabalho é apresentar uma revisão bibliográfica a respeito do desenvolvimento das biocerâmicas nos últimos anos com foco nas melhorias das propriedades mecânicas e biológicas.

Cerâmicas Bioinertes

A primeira geração de biomateriais que data do início do século XX até a década de 1970 foi baseada na procura de materiais denominados inertes, dentre eles as cerâmicas alumina e zircônia⁽¹⁾. Porém, atualmente, o conceito de bioinerticidade, segundo o qual o material não causaria nenhuma reação dos tecidos, foi abandonado devido às evidências de que todo material provoca algum tipo de resposta do organismo⁽¹⁾.

A Al_2O_3 é uma das biocerâmicas mais estudadas para aplicação médica e odontológica. Ela apresenta, além da alta estabilidade química, outros atributos como dureza e alta resistência ao desgaste. Estas características a tornam adequada para aplicação como superfícies artificiais de articulações^(4, 5).

Webster et al⁽⁶⁾ analisaram a função osteoblástica de diversas formas de nanofibras de Al_2O_3 , sinterizadas em diferentes temperaturas. As amostras não apresentaram diferenças significativas quanto à adesão celular, porém, as nanofibras de Al_2O_3 que apresentavam as fases theta+delta, resultantes da sinterização a 1000°C, apresentaram a maior atividade de fosfatase alcalina e de deposição de cálcio em comparação com as outras estruturas, demonstrando seu possível potencial para aplicação como material de regeneração óssea.

A ZrO_2 é outra biocerâmica relativamente inerte, que apresenta propriedades interessantes para aplicação na regeneração óssea. A ZrO_2 estabilizada com ítria (Y-TZP) se tornou uma alternativa popular à Al_2O_3 como cerâmica estrutural uma vez que é também inerte em meio fisiológico, apresenta maior resistência à flexão, maior tenacidade à fratura e menor módulo de elasticidade⁽⁷⁾. Porém, o uso de compostos de $ZrO_2-Al_2O_3$ mostra-se ainda mais interessante, pois combinam as propriedades das duas cerâmicas, apresentando ótimas características biológicas, sendo promissores para aplicação como implante⁽⁸⁾.

O BioloX[®] delta, um novo material com nanopartículas de ZrO₂ em uma matriz de Al₂O₃, apresenta características de tenacidade adequadas para a aplicação ortopédica, proporcionadas por dois mecanismos: o primeiro devido ao crescimento *in situ* de grãos alongados de Al₂O₃, os quais desviam as rachaduras, dando estabilidade à microestrutura do compósito; o segundo refere-se à adição de 17% em volume de nanopartículas de ZrO₂, dispersas homoganeamente e individualmente na matriz de Al₂O₃, aumentando a força e a tenacidade do material através do mecanismo de transformação de fase tetragonal para monoclinica⁽⁹⁾.

O Si₃N₄ também é um candidato à substituição da Al₂O₃ na confecção de próteses ortopédicas, visto que, apesar da alta resistência ao desgaste, estabilidade química e dimensional, a aplicação da Al₂O₃ em próteses ortopédicas leva ao problema da perda de componentes femorais como conseqüência de seu comportamento frágil⁽¹⁰⁾. O estudo *in vitro* de Guedes e Silva et al⁽¹⁰⁾ demonstrou que o Si₃N₄ não é citotóxico e apresenta excelentes propriedades mecânicas. Os estudos subseqüentes de Guedes e Silva et al^(11,12) com aplicação de cilindros de nitreto de silício em modelo animal demonstraram também a biocompatibilidade do material *in vivo*, com a ausência de reações adversas, intenso crescimento ósseo e aposição óssea na superfície do implante, demonstrando grande potencial para aplicação em próteses de suporte de altas cargas como em articulações de joelho e quadril.

A TiO₂, também apresenta aplicação ortopédica, sendo responsável pela osteointegração entre implantes médicos artificiais e o osso, podendo ser utilizada como recobrimento, proporcionando melhor biocompatibilidade a implantes metálicos⁽⁵⁾.

Das et al⁽¹³⁾ mostraram como a utilização de TiO₂ pode favorecer a osteocondução e a osteointegração. Neste trabalho, células cultivadas por 5 e 11 dias em superfícies de titânio metálico recobertas com nanotubos de TiO₂ mostraram melhor adesão e crescimento celular do que em superfície de titânio polida. Segundo estes autores, a melhor osteocondução da superfície recoberta com nanotubos de TiO₂ deve-se a algumas propriedades específicas tais como o baixo ângulo de contato e a alta energia de superfície ao longo dos nanotubos, os quais melhoram também a interação do material com as células ósseas resultando em osteointegração mais rápida.

No estudo de Filho et al⁽¹⁴⁾, a deposição de TiO₂ na superfície de titânio metálico por aspersão térmica, seguida pelo tratamento com NaOH, proporcionou a formação de Na₂TiO₃, o qual induz a formação de grupos nucleantes OH⁻ para a hidroxiapatita (HAp), resultando em maior deposição de HAp em relação ao substrato titânio sem deposição de TiO₂.

A TiO₂ pode também ser utilizada para melhorar as propriedades mecânicas de outros materiais. O estudo de Goto et al⁽¹⁵⁾ avaliou cimentos ósseos de polimetilmetacrilato (PMMA) contendo 3 concentrações diferentes de micropartículas de TiO₂ (40, 50 e 55.6% de TiO₂). Estes autores observaram o aumento da força compressiva, da força de flexão e do módulo de flexão conforme a concentração de TiO₂ aumentava. O cimento com 55.6% de TiO₂ também apresentou menor tempo de endurecimento e pico de temperatura mais baixo quando comparado a um cimento de PMMA comercial, além de alta biocompatibilidade e osteocondutividade confirmados pela aplicação *in vivo*.

Marchi et al⁽¹⁶⁾ analisaram a citotoxicidade *in vitro* de compósitos de ZrO₂-TiO₂ e observaram que a dureza do material aumenta proporcionalmente ao aumento de ZrO₂ na mistura, além disso, o compósito ZrO₂-TiO₂ apresenta maior biocompatibilidade quando comparado à TiO₂ e à ZrO₂ puras, conforme teste de cultura celular com análise do crescimento de fibroblastos do tipo FMM1.

Os cimentos de ionômero de vidros também são cerâmicas relativamente bioinertes, porém utilizados em aplicações odontológicas. De acordo com a sua composição química, estes cimentos podem ser classificados como convencionais ou modificados por resina⁽¹⁷⁾.

Os cimentos ionoméricos convencionais dependem unicamente da reação de cura ácido-base e suas vantagens são: liberação de fluoreto durante longo tempo em serviço, anticariogenicamente; boa adesão, ligando-se quimicamente à estrutura do dente, às ligas não preciosas e ao ouro recoberto com estanho. Suas desvantagens são: susceptibilidade à desidratação; muito baixa resistência à tração; muito baixa tenacidade à fratura⁽¹⁸⁾.

Os cimentos de ionômero de vidro modificados por resina podem substituir os cimentos ionoméricos convencionais, apresentando algumas vantagens como a melhora da resistência; menor sensibilidade inicial à perda e ganho de líquidos; liberação de flúor sem prejuízo da resistência adesiva, prevenindo o aparecimento

de cáries e manchas no esmalte adjacente; maior adesão química ao esmalte dentário⁽¹⁹⁾.

O estudo de Romano et al⁽²⁰⁾ comparou o uso do fosfato de zinco com dois cimentos ionoméricos de vidro convencionais e um reforçado com resina. Estes autores analisaram a resistência ao cisalhamento e o Índice de Adesivo Remanescente (ARI), concluindo que o cimento reforçado com resina apresentou maior resistência da adesão ao cisalhamento, seguido pelos cimentos ionoméricos convencionais e pelo fosfato de zinco, além de ARI superior ao do fosfato de zinco. Isto mostra que o reforço de resina melhora as propriedades de adesão do biomaterial ao dente.

Apesar das aparentes vantagens dos cimentos ionômeros reforçados com resina, alguns inconvenientes também podem ser observados, tal como a presença de substâncias tóxicas, como os monômeros HEMA (2-hidroxietil metacrilato), os quais são capazes de se difundir através da dentina até a polpa dentária, causando efeitos adversos como a citotoxicidade, indução de apoptose, inflamação persistente, problemas respiratórios, alergias e dermatite de contato⁽²¹⁾.

Cerâmicas Bioativas

A bioatividade pode ser definida como a capacidade de um material provocar a formação de uma ligação interfacial entre os tecidos vivos e o material, sem a formação de cápsula fibrosa que separa o material do tecido⁽¹⁾.

Os fosfatos de cálcio têm sido estudados como materiais utilizados no reparo ósseo nos últimos 80 anos. Dos compostos à base de fosfato de cálcio, a HAp é um dos mais extensamente investigado⁽²²⁾.

A HAp biológica ou sintética é muito utilizada para o reparo e regeneração ósseos, na forma de grânulos, blocos ou *scaffolds*, sozinhas ou combinadas com polímeros ou outras cerâmicas, ou como recobrimento em implantes ortopédicos e odontológicos. A justificativa para o uso da HAp como um material de substituição óssea é sua composição semelhante ao osso mineral⁽²³⁾. Porém, seu uso é limitado devido à sua lenta biodegradação. Tal característica pode ser melhorada através da substituição de CO_3^{2-} nos sítios de fosfato e de Mg^{2+} ou Sr^{2+} nos sítios de cálcio⁽¹⁾.

A HAp também pode apresentar substituições de silício (SiHAp), sendo esta uma biocerâmica alternativa ao uso da HAp pura, com maior bioatividade, comprovada pelo aumento na porcentagem de crescimento ósseo⁽²⁴⁾.

A associação de fatores de crescimento com a HAp também pode melhorar a interação com o organismo, como no estudo de Silva et al⁽²⁵⁾ que demonstraram que a HAp quando associada à proteína morfogênica óssea (BMP) e ao plasma rico em plaquetas (PRP) pode oferecer boa armação para crescimento ósseo com alta biocompatibilidade, osteoindução e biodegradação.

A utilização de compósitos de HAp e PHB (poli-hidroxibutirato), analisada no estudo *in vivo* de Carlos et al⁽²⁶⁾, apresentou boa biocompatibilidade, osteointegração e osteocondução, observados pela ausência de infiltrado inflamatório nas amostras, formação óssea nas bordas do compósito e projeção de tecido ósseo e conjuntivo para o interior do compósito.

O revestimento de próteses metálicas é outra aplicação importante dos fosfatos de cálcio. No estudo de Federman et al⁽²⁷⁾, o recobrimento de aço inoxidável com um filme bioativo de SiO₂-CaO mostrou-se eficiente quanto ao estímulo à deposição de fosfato de cálcio sobre a superfície das amostras, comprovando a bioatividade do recobrimento. Tal propriedade também pôde ser observada no teste de cultura celular pela aderência, espalhamento e proliferação celular que se mostraram superiores na superfície recoberta em comparação ao aço inoxidável sem recobrimento.

Guedes e Silva et al⁽²⁸⁾ estudaram o recobrimento de HAp através do método biomimético, com o objetivo de proporcionar propriedades bioativas ao substrato de Si₃N₄. Através das análises por espectroscopia de dispersão de energia, microscopia eletrônica de varredura e difração de raio X, os autores puderam confirmar a deposição de uma camada densa de HAp carbonatada sobre a superfície de Si₃N₄, resultando em um material com excelentes propriedades mecânicas e interação com o organismo.

Materiais advindos de depósitos fósseis de origem marinha também têm sido investigados como biocerâmicas para regeneração óssea⁽²⁹⁾. A fosforita é um exemplo que apresenta diversas fases, sendo o principal constituinte a francolita, uma forma carbonatada de apatita que tende a se converter em fluorapatita quando aquecida a temperaturas relativamente baixas (800°C). A fluorapatita apresenta maior estabilidade quando comparado à HAp, além de estimular maior atividade celular, sendo um biomaterial promissor para produção de substitutos ósseos e material de interface osso-implante.

As vitrocerâmicas de fosfato de cálcio são materiais bioativos que têm sido propostas como alternativas ao uso de β -TCP de HAp para reparação óssea. No estudo de Dias et al⁽³⁰⁾, duas vitrocerâmicas com diferentes composições, MK5B (45CaO–45P2O5–5MgO–5K2O, em mol%) e MT13B (45CaO–37P2O5 –5MgO–13TiO2 , em mol%), foram analisadas *in vivo*, apresentando comportamento similar quanto à integração dos grânulos ao novo tecido ósseo e ambas formaram osso bem organizado e vascularizado, mostrando que estes materiais apresentam comportamento osteocondutor, com potencial aplicação para regeneração óssea.

O estudo de Neto et al⁽³¹⁾ avaliou o efeito da vitrocerâmica Biosilicato®, pertencente ao sistema P2O5-Na2O-CaO-SiO2, sobre vários parâmetros da osteogênese *in vitro*, além da análise do efeito da cristalização do material sobre as propriedades mecânicas. Embora não tenham sido detectadas diferenças significativas com relação ao conteúdo de proteína total e a atividade de fosfatase alcalina, em 11 e 17 dias, o Biosilicato® favoreceu a formação de áreas significativamente maiores de matriz calcificada em 17 dias. Os autores concluíram também que a cristalização do material além de melhorar as propriedades mecânicas pode também alterar outras propriedades importantes do material, como seu índice de dissolução e o aumento significativo do potencial osteogênico.

O estudo de Castro⁽³²⁾ também analisou o Biosilicato®, considerando os efeitos do pré tratamento de superfície com meio de cultura com e sem soro fetal bovino, assim como os efeitos dos produtos da dissolução iônica do material. Esta autora observou que o pré tratamento com o meio de cultura favorece a formação de uma camada de fosfato de cálcio amorfo na superfície do material, reduzindo a exposição das células aos efeitos negativos dos produtos de dissolução iônica, aumentando desta maneira a viabilidade, a proliferação e a população celular nos 7 primeiros dias. Além disso, as amostras de Biosilicato® condicionadas em meio com soro apresentaram as áreas mais extensas de matriz calcificada, quando comparadas às amostras sem condicionamento ou condicionadas em meio sem soro, devido à adsorção prévia de proteínas que possivelmente contribuiu para a maior viabilidade celular e ocorrência de áreas mais extensas de matriz calcificada.

Cerâmicas Biorreabsorvíveis

As cerâmicas reabsorvíveis são materiais que, ao serem implantados, se dissolvem com o tempo e são substituídos gradualmente por tecido natural⁽²⁾.

O sulfato de cálcio, ou gesso Paris, é um material reabsorvível largamente utilizado para reparação óssea. O estudo de Coneglian et al⁽³³⁾ avaliou comparativamente a evolução do reparo ósseo frente ao coágulo sanguíneo (controle) e os implantes de sulfato de cálcio di-hidratado e 70HAp/30 β -TCP (grupos experimentais) em alvéolos dentários de ratos. Os resultados mostraram que o sulfato de cálcio atuou apenas como osteopreenchedor, prevenindo falhas durante o processo de reparo como a retração do coágulo sanguíneo, porém, não propiciou a permanência de um “andaime” por um período de tempo maior para que fosse possível a osteocondução. Já o implante de 70HAp/30 β -TCP permaneceu em sua forma original durante todo o período experimental, permitindo a formação óssea diretamente sobre sua superfície, demonstrando assim seu potencial osteocondutor.

Segundo Zang et al⁽³⁴⁾ o β -TCP poroso apresenta uma estrutura que mimetiza o osso esponjoso, cuja rede de poros permite o crescimento ósseo, porém, este material também apresenta baixas propriedades mecânicas, as quais limitam sua aplicação como enxerto ósseo. Visando melhorar estas propriedades, estes mesmo autores propuseram um novo modelo estrutural de uma biocerâmica de β -TCP que mimetiza as características do osso natural, com uma estrutura porosa em seu interior circundada por uma estrutura densa. A análise mecânica desta cerâmica mostrou que a força compressiva e o módulo de elasticidade aumentam gradativamente conforme a razão entre a área de secção transversa densa/porosa aumenta, podendo atingir um incremento de até 37 vezes nas propriedades mecânicas quando comparado a uma cerâmica de β -TCP puramente porosa.

O β -TCP também pode ser utilizado em conjunto com outros materiais visando à melhoria das propriedades mecânicas e da interação biológica com o tecido ósseo. Alguns destes elementos são o Mg, o Zn, a HAp e as nanofibras de carbono.

A adição de íons Mg ao TCP proporciona maior estabilidade da fase β a temperaturas mais altas, adiando a transformação de fase β - α e permitindo a sinterização do β -TCP a temperaturas mais elevadas em comparação ao TCP livre de Mg, resultando assim, em aceleração do processo de densificação durante a sinterização de cerâmicas β -TCP⁽³⁵⁾.

A combinação de Zn e β -TCP promove aumento da proliferação celular, como observado por Tas et al⁽³⁶⁾. A presença deste dopante aumentou significativamente a atividade osteoblástica quando comparada à atividade celular sobre β -TCP puro e β -TZP (Zn₃(PO₄)₂), usados como controle positivo e negativo respectivamente.

Hahn et al⁽³⁷⁾ compararam o comportamento de dissolução, a biocompatibilidade e a bioatividade de quatro recobrimentos de substratos de titânio metálico: a HAp, o β -TCP, o fosfato de cálcio bifásico (BCP) com a razão 70HAp/30 β -TCP e o BCP 30HAp/70 β -TCP. A dissolução do β -TCP e dos BCPs aumentou a concentração de íons cálcio e fosfato, levando à precipitação de cristais de apatita em suas superfícies, o que não ocorreu com a HAp. A taxa de proliferação celular e a atividade da fosfatase alcalina não foram proporcionais à taxa de dissolução, sendo maior para o composto 30HA/70 β -TCP, mostrando que a determinação de uma taxa de dissolução adequada pode melhorar a bioatividade dos revestimentos de fosfato de cálcio.

A combinação de nanopartículas de β -TCP e membranas de nanofibras de carbono (CNFs) foram estudadas por Liu et al⁽³⁸⁾. O teste de cultura e proliferação celular *in vitro* mostrou, no 7º dia, maior aderência celular e proliferação nas membranas com nanopartículas de β -TCP em comparação às membranas sem β -TCP. Os autores justificaram o fato pelo maior número de sítios de adesão providos pelas nanopartículas de β -TCP, além de que a liberação de íons cálcio e fosfato pela degradação do β -TCP forneciam maior nutrição para o crescimento de tecido ósseo.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Há um número crescente de estudos na área das biocerâmicas nos últimos anos que visam desenvolver novos materiais ou aperfeiçoar materiais já conhecidos, por exemplo, através da combinação de diferentes elementos para se obter propriedades mais interessantes a aplicações específicas, como o uso de materiais relativamente bioinertes com recobrimento bioativo, ou ainda, controlando a taxa de degradação de um material através da porcentagem de material reabsorvível no compósito. Estas melhorias resultam em propriedades mecânicas e interação com o organismo mais adequadas, ampliando assim as possibilidades de aplicação destas cerâmicas dentro da área ortopédica e odontológica.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ORÉFICE, R. L.; PEREIRA, M. M.; MANSUR, H. S. **Biomateriais Fundamentos e Aplicações**. Rio de Janeiro: Cultura Médica, 2005.
2. AZA, P. N.; AZA, S. Biocerâmicas. In: SASTRE, R.; AZA, S.; ROMÁM, J. S. (Eds.) **Biomateriales**. Madrid: CYTED, 2004. p.41-64.

3. HENCH, L. L. Bioceramics: From Concept to Clinic. *J. Am. Ceram. Soc.*, v.74, n.7, p.1487-1510, 1991.
4. KOHN, D. H. Bioceramics. In: KUTZ, M. *Biomedical Engineering and Design Handbook*. McGraw-Hill, 2009. p.357-382.
5. PARK, J. *Bioceramics – Properties, Characterization and Applications*. Iowa: Springer, 2008. p.118-139; 227-245.
6. WEBSTER, T. J.; HELLENMEYER, E. L.; PRICE, R. L. Increased osteoblast functions on theta + delta nanofiber alumina. *Biomaterials*, v.26, p.953–960, 2005.
7. NONO, M. C. A. *Cerâmicas de zircônia tetragonal policristalina no sistema CeO₂-ZrO₂ (Ce-TZP)*. 1990, 155p. Tese (Doutorado em Ciências – Materiais, Processos e Dinâmica de Sistemas) - Instituto Tecnológico de Aeronáutica, ITA-CTA, São José dos Campos/SP.
8. DAGUANO, J. K. M. F.; SANTOS, C.; ROGERO, S. O. Avaliação da Citotoxicidade de Biocerâmicas Desenvolvidas para uso em Sistemas de Implantes. *Revista Matéria*, v.12, n.1, p.134–139, 2007.
9. KUNTZ M, SCHNEIDER N, HEROS R. Controlled Zirconia Phase Transformation in BIOLOX ® delta - a Feature of Safety. In: D'ANTONIO, J. A.; DIETRICH, M. (Eds.) *Bioceramics and alternative bearings in joint arthroplasty. Ceramics in Orthopaedics*, Washington D.C.: Springer, 2005.
10. GUEDES E SILVA, C. C.; HIGA, O. Z.; BRESSIANI, J. C. Cytotoxic evaluation of silicon nitride-based ceramics. *Materials Science and Engineering*, C.24, p.643–646, 2004.
11. GUEDES E SILVA, C. C.; KÖNIG JR, B.; CARBONARI, M. J.; YOSHIMOTO, M.; ALLEGRINI JR, S.; BRESSIANI, J. C. Tissue response around silicon nitride implants in rabbits. *Journal of Biomedical Materials Research*, p.337-343, 2007.
12. GUEDES E SILVA, C. C.; KÖNIG JR, B.; CARBONARI, M. J.; YOSHIMOTO, M.; ALLEGRINI JR, S.; BRESSIANI, J. C. Bone growth around silicon nitride implants—An evaluation by scanning electron microscopy. *Materials Characterization*, v.59, p.1339-1341, 2008.
13. DAS, K.; BOSE, S.; BANDYOPADHYAY, A. Titanium surface modification to titania nanotubo for next generation orthopedic applications. School of Mechanical and Materials Engineering Washington State University. Pullman, Washington. USA. In: NARAYAN, R.; COLOMBO, P.; OHJI, T.; WERESZCZAK, A. (Eds.) *Advances in Bioceramics and Porous Ceramics – Ceramic Engineering and Science Proceedings*. Florida: Wiley, 2008. p.37-41.
14. FILHO, E. A.; ASSIS, C. M.; VERCÍK, L. O.; GUASTALDI, A. C; Biomateriais: deposição de hidroxiapatita sobre superfície de Ti-CP modificada por aspersão térmica. *Quim. Nova*, v.30, n.5, p.1229-1232, 2007.
15. GOTO, K.; HASHIMOTO, M.; TAKADAMA, H.; TAMIRA, J.; FUJIBAYASHI, S.; KAWANABE, K.; KOKUBO, T.; NAKAMURA, T. Mechanical, setting, and biological properties of bone cements containing micro-sized titania particles. *J Mater Sci: Mater Med*, v.19, p.1009-1016, 2008.
16. MARCHI, j.; USSUI, V.; DELFINO, C. S.; BRESSIANI, A. H. A.; MARQUES, M. M. Analysis *in vitro* of the citotoxicity of potencial implant material. I: Zirconia-titania sintered ceramics. *Journal of Biomedical Materials Research.*, v.94B, issue 2, p.305-311, 2010.
17. COIMBRA, L. R.; GIRO, E. M. A.; ARANHA, A. M. F.; COSTA, C. A. S. Citotoxicidade de cimentos de ionômero de vidro restauradores sobre células de linhagem odontoblástica. *Revista Odonto Ciência*, v.21, n.54, p.338-345, 2006.

18. CORRÊA, L. G. P.; OGASAWARA, T. Estudos Comparativos de Alguns Cimentos Ionoméricos Convencionais. **Matéria**, v.11, n.3, p.297-305, 2006
19. PASCOTTO, R. C. Materiais de colagem e cimentação em ortodontia. Parte I – Cimentos de Ionômero de Vidro. **R Dental Press Ortodon Ortop Facial**, v.6, n.6, p.109-116, 2001.
20. ROMANO, F. L.; RUELLAS, A. C. O. Estudo Comparativo entre Materiais Utilizados para Cimentação de Bandas Ortodônticas. **J Bras Ortodon Ortop Facial**, v.7, n.42, p.494-499, 2002.
21. NICHOLSON, J. W.; CZARNECKA, B. The Biocompatibility of resin-modified glass-ionomer cements for dentistry. **Dental Materials**, v.24, p.1702-1708, 2008.
22. MACHADO, C. P. G.; PINTOR, A. V. B.; GRESS, M. A. K. A.; ROSSI, A. M.; GRANJEIRO, J. M.; MAIA, M. D. C. Avaliação da hidroxiapatita contendo estrôncio como substituto ósseo em tíbias de ovelhas. **Innov Implant J, Biomater Esthet**, v.5, n.1, p.9-14, 2010.
23. LEGEROS, R. Z.; LEGEROS J. P. Hydroxyapatite. In: KOKUBO T. (Ed) **Bioceramics and their clinical applications**. Boca Raton: CRC Press, 2008. p.367-394.
24. PATEL, N.; BROOKS, R. A.; CLARKE, M. T.; LEE, P. M. T.; RUSHTON, N.; GIBSON, I. R.; BEST, S. M.; BONFIELD, W. *In vivo* assessment of hydroxyapatite and silicate-substituted hydroxyapatite granules using an ovine defect model. **Journal of Materials Science in Medicine**, v.16, p.429-440, 2005
25. SILVA, J. M.; CANABRAVA, H. A. N.; BELETTI, M. E.; CRESTANA, F. M.; SILVA, S. V. S.; LIMA, T. B. F. Hidroxiapatita sintética associada a fatores de crescimento em subcutâneo do pavilhão auricular de coelhos (*Oryctolagus cuniculus*) da raça Nova Zelândia. **Vet. Not.**, v.13, n.1, p.31-37, 2007.
26. CARLOS, E. C.; BORGES, A. P. B.; VARGAS, M. I. V.; MARTINEZ, M. M.; ELEOTÉRIO, R. B.; DIAS, A. R.; RODRIGUES, M. C. D. Resposta tecidual ao compósito 50% hidroxiapatita: 50% poli-hidroxibutirato para substituição óssea em coelhos. **Arq. Bras.Med.Vet.Zootec.**, v.61, n.4, p.844-852, 2009.
27. FEDERMAN, S. R.; MANSUR, H. S.; STANCIOLI, E. F. B.; VASCONCELOS, W. L. Avaliação da biocompatibilidade do compósito aço/filme bioativo SiO₂-CaO para aplicação biomédica. **Cerâmica**, v.55, p. 257-262, 2009
28. GUEDES E SILVA, C. C.; RIGO, E. C. S.; MARCHI, J. Hydroxyapatite Coating on Silicon Nitride Surfaces Using the Biomimetic Method. **Materials Research.**, v.11, n.1, p.47-50, 2008.
29. PESENTI, H.; LEONI, M.; MOTTA, A.; SCARDI, P. Fossils as Candidate Material for Orthopedic Applications. **Journal of Biomaterials Applications**, v.25, p.445-467, 2011.
30. DIAS, A. G.; LOPES, M. A.; SANTOS, J. D.; AFONSO, A.; TSURU, K.; OSAKA, A.; HAYAKAWA, S.; TAKASHIMA, S.; KURABAYASHI, Y. *In vivo* Performance of Biodegradable Calcium Phosphate Glass Ceramics using the Rabbit Model: Histological and SEM Observation. **Journal of Biomaterials Applications**, v. 20, p., 2006.
31. NETO, J. M. **Osteogênese in vitro sobre uma nova vitrocerâmica bioativa 100% cristalina (Biosilicato®)**. 2006, 87p. Dissertação (Mestrado em Cirurgia e Traumatologia Buco-Maxilo-Facial) - Departamento de Cirurgia e Traumatologia Buco-Maxilo-Facial e Periodontia, Faculdade de Odontologia de Ribeirão Preto, Universidade de São Paulo, Ribeirão Preto-SP.
32. CASTRO, L. M. S. **Osteogênese in vitro sobre vitrocerâmica 100% cristalina e altamente bioativa (Biosilicato®): efeitos do condicionamento de**

superfície e dos produtos de dissolução iônica. 2009, 99p. Dissertação (Mestrado em Odontologia – Biologia Oral) - Faculdade de Odontologia de Ribeirão Preto, Universidade de São Paulo, Ribeirão Preto-SP.

33. CONEGLIAN, P. Z. A. **Avaliação do processo evolutivo de reparo ósseo frente ao sulfato de cálcio e à hidroxiapatita. Estudo microscópico em alvéolos dentários de ratos.** 2007, 215p. Dissertação (Mestrado em Odontologia – Endodontia) - Faculdade de Odontologia de Bauru, Universidade de São Paulo, Bauru-SP.

34. ZANG, F.; CHANG, J.; LU, J.; LIN, K. Fabrication and Mechanical Properties of Dense/Porous β -Tricalcium Phosphate Bioceramics. **Key Engineering Materials**, v.330-332, p.907-910, 2007.

35. MARCHI, J.; DANTAS, A. C. S.; GREIL, P.; BRESSIANI, J. C.; BRESSIANI, A. H. A.; MÜLLER, F. A. Influence of Mg-substitution on the physicochemical properties of calcium phosphate powders. **Materials Research Bulletin**, v.42, p.1040-1050, 2007.

36. TAS, A. C.; BHADURI, S. B.; JALOTA, S. Preparation of Zn-doped β -tricalcium phosphate (β -Ca₃(PO₄)₂) bioceramics. **Materials Science and Engineering**, C.27, p.394-401, 2007.

37. HAHN, B. D.; PARK, D. S.; CHOI, J. J.; RYU, J.; YOON, W.H.; LEE, B. K. Effect of the HA/ β -TCP Ratio on the Biological Performance of Calcium Phosphate Ceramic Coatings Fabricated by a Room-Temperature Powder Spray in Vacuum. **J. Am. Ceram. Soc.**, v.92, n.4, p.793–799, 2009.

38. LIU, H.; CAI, Q.; LIAN, P.; FANG, Z.; DUAN, S.; YANG, X.; DENG, X.; RYU, S. β -tricalcium phosphate nanoparticles adhered carbon nanofibrous membrane for human osteoblasts cell culture. **Materials Letters**, v.64, p.725-728, 2010.

BIOCERAMICS APPLIED TO ORTHOPEDICS AND DENTISTRY – REVIEW AND UPDATES

ABSTRACT

The number of researches about biomaterials for tissue regeneration has increased in recent years, resulting in the development of materials that provide better interaction with the organism and regenerative response. Thus, this work presents a literature review about the bioceramics used in orthopedic and dental treatments. Among them, stand out the bioinert such as titania, alumina and zirconia; the bioactive ceramics such as hydroxyapatite and the bioactive glasses; the bioresorbable ceramics as the tricalcium phosphate, calcium sulphate and the bioresorbable bioglasses. These bioceramics have several advantages related to the relation property-structure-processing, resulting in materials with improved biocompatibility and osteoconductivity, beyond the more suitable mechanical properties for orthopedic and dental application.

Key words: bioceramics, orthopedics, odontology.