

N. CLASS. *M 620.7*
CUTTER *A 5341*
ANO/EDIÇÃO *2015*

CENTRO UNIVERSITÁRIO DO SUL DE MINAS UNIS

ENGENHARIA MECÂNICA

AMANDA GLEYCE ANASTÁCIO

A IMPORTÂNCIA DOS BIOMATERIAIS E SUAS APLICAÇÕES

Varginha

2015

AMANDA GLEYCE ANASTÁCIO

A IMPORTÂNCIA DOS BIOMATERIAIS E SUAS APLICAÇÕES

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia Mecânica do Centro Universitário do Sul de Minas como pré-requisito para obtenção do grau de bacharel sob orientação do Prof. Esp. Fabiano Faria de Oliveira.

Varginha

2015

AMANDA GLEYCE ANASTÁCIO

A IMPORTÂNCIA DOS BIOMATERIAIS E SUAS APLICAÇÕES

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de Engenharia Mecânica do Centro Universitário do Sul de Minas, como pré-requisito para obtenção do grau de bacharel, sob a aprovação da Banca Examinadora.

Aprovada em: / /

Fabiano Farias de Oliveira

Carlos Alberto Castro

Mateus da Silva de Almeida

Dedico esse trabalho aos meus familiares,
amigos, professores e a todos os que me
auxiliaram a concluí-lo.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente à Deus por ter me dado o dom da vida e por me permitir chegar até aqui. Aos meus pais e irmãs pelo apoio incondicional e por nunca me deixarem desistir. Às minhas sobrinhas pelos incontáveis momentos de alegria que passamos juntas. À todos os meus amigos, professores e àqueles que de alguma forma me auxiliaram na elaboração desse trabalho. À todos vocês meus sinceros agradecimentos!

“Que os vossos esforços desafiem as impossibilidades, lembrai-vos de que as grandes coisas do homem foram conquistadas do que parecia impossível.”

Charlie Chaplin

RESUMO

Os biomateriais são utilizados desde a antiguidade na busca de uma vida melhor e mais longa, implantes dentários, suturas e até mesmo próteses de membros que foram perdidos provam que o homem sempre esteve em busca de melhores condições para si mesmo. Hoje em dia não é diferente, os biomateriais continuam sendo utilizados para restaurar e até mesmo substituir partes do corpo que não cumprem mais suas funções. Diante da importância dessas aplicações é relevante conhecer mais sobre esses materiais que estão tão presentes em nossa vida e muitas vezes nem nos damos conta. Além das próteses ortopédicas e órgãos artificiais, os biomateriais estão presentes também em coisas mais comuns em nosso dia-a-dia como aparelhos ortodônticos, próteses dentárias, lentes de contato, suturas, entre outros. Esse trabalho visa levar ao conhecimento de todos a importância e as aplicações dos biomateriais, seu histórico, características importantes, classificações, vantagens, desvantagens e algumas tendências que vem surgindo em sua aplicação. Essas informações serão passada através de uma revisão literária, onde por meio de livros, artigos, dissertações e outros materiais que tratam desse assunto aprofundaremos e aprimoraremos nossos conhecimentos sobre os biomateriais. Com o crescimento da utilização dos biomateriais, aumenta também a necessidade de pesquisas por novos materiais que se adequem a essa categoria e por técnicas que aprimorem os já existentes.

Palavras-chave: Biomateriais. Biocompatibilidade. Vantagens. Desvantagens. Tendências

ABSTRACT

The biomaterials are used since the antiquity in search of a better life and more long, dental implants, sutures and even limb prostheses that were lost prove that the man was always in search of better conditions for himself. Today is no different biomaterials are still being used to restore and even replace body parts that do not meet more their functions. In the face of the importance of these applications is relevant to know more about these materials that are so present in our lives and many times not realize. Addition of orthopedic prostheses and artificial organs, the biomaterials are present also in things more common in our day-to-day as orthodontic appliances, dental prostheses, contact lenses, sutures, among others. This work aims to make known to all the importance and the applications of biomaterials, your history, important characteristics, ratings, advantages, disadvantages and some trends that has emerged in its application. This information will be passed through a literary review, where through books, articles, these and other materials that deal with this issue we will deepen and improve our knowledge on the Biomaterials. With the growth of the use of biomaterials, also increases the need of searches for new materials that are best suited to this category and by techniques to enhance the already existing.

Keywords: *Biomaterials. Biocompatibility. Advantages. Disadvantages. Trends*

LISTA DE FIGURAS

Figura 01 – Dedo artificial, mais antiga prótese que se tem conhecimento	13
Figura 02 – Mini placa de titânio estabilizando fratura de mandíbula	21
Figura 03 – Componente acetabular de prótese de quadril em cerâmica	24
Figura 04 – Lente ocular em PMMA	28
Figura 05 – Componente acetabular para prótese de quadril, compósito entre alumina, zircônia e óxido de alumínio	30

LISTA DE QUADRO

Quadro 1 – Aplicações clínicas dos biomateriais	19
---	----

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	12
2 HISTÓRICO	13
3 CARACTERÍSTICAS DESEJÁVEIS NOS BIOMATERIAIS	15
3.1 Biocompatibilidade	16
3.2 Biodegradabilidade	17
4 CLASSIFICAÇÃO DOS BIOMATERIAIS	18
4.1 Classificação por comportamento biológico	18
4.2 Classificação por composição química	18
5 BIOMATERIAIS METÁLICOS	20
5.1 Aplicações	20
5.2 Vantagens	21
5.3 Desvantagens	22
6 BIOMATERIAIS CERÂMICOS	22
6.1 Aplicações	23
6.2 Vantagens	25
6.3 Desvantagens	25
7 BIOMATERIAIS POLIMÉRICOS	26
7.1 Aplicações	26
7.2 Vantagens	28
7.3 Desvantagens	28
8 COMPÓSITOS	29
8.1 Aplicações	29
8.2 Vantagens	30
8.3 Desvantagens	30
9 TENDÊNCIA NA UTILIZAÇÃO DE BIOMATERIAIS	31
10 CONCLUSÃO	33
REFERÊNCIAS	34

1 INTRODUÇÃO

Os biomateriais vem sendo utilizados a milhares de anos, desde a pré-história, já que o ser humano sempre se preocupou em possuir um elevado padrão de vida aliado à longevidade. Nas últimas décadas porém, houve um crescimento significativo no uso dos biomateriais, graças às evoluções nas áreas da Engenharia e da Saúde (RODRIGUES,2013) e também porque houve um aumento na necessidade de que os mesmos fossem utilizados, devido a fatores como aumento das lesões graves causadas por acidentes, aumento da expectativa de vida e conseqüentemente das doenças relacionadas à velhice, entre outros, que requerem a utilização de implantes os quais são feitos a partir dos biomateriais.

Apesar de serem muito utilizados e de possuírem grande importância, os biomateriais não são ainda conhecidos por boa parte das pessoas. E o conhecimento sobre esse assunto se faz relevante, pelo crescimento da sua utilização e por causa das novas tecnologias que estão surgindo e fazem uso dos biomateriais como a Engenharia de Tecidos por exemplo.

O objetivo deste trabalho é apresentar os biomateriais, partindo de seu histórico, as características que são desejáveis que os materiais possuam para que possam ser utilizados como biomateriais, suas classificações.

A seguir serão especificados os tipos de biomateriais metálicos, cerâmicos, polímeros e compósitos, apresentando suas definições, aplicações, vantagens e desvantagens. Também serão apresentadas algumas tendências que estão surgindo no uso de biomateriais.

Tudo isso será feito através de uma revisão de literatura, buscando aprofundar e adquirir maiores conhecimentos sobre o assunto através de livros, artigos, apostilas, dissertações entre outros meios.

2 HISTÓRICO

Buscando padrões de vida superiores e longevidade, a humanidade vem desde sempre confrontando-se com o problema da restauração ou substituição de órgãos (GONÇALVES,2011). Registros escritos de povos antigos como assírios, egípcios, maias e gregos salientam a preocupação com a reconstrução estética e funcional de órgãos e tecidos mutilados. A mais antiga prótese que se tem conhecimento foi encontrada em Tebas, cidade do Antigo Egito e é datada de mais de 3000 anos: um dedo artificial feito à base de linho tratado que apresentava coloração semelhante à da pele e textura de couro (Figura 01). Os furos em volta do artefato sugerem que era preso ao órgão mutilado por tiras em fita (SANTOS, 2011).

Figura 01 - Dedo artificial, mais antiga prótese que se tem conhecimento.



Fonte: <http://www2.uol.com.br/sciam/noticias/a_primeira_protese_.html> Acesso em: 07/10/2015

Existem também evidências arqueológicas que demonstram o uso de materiais como madeira, conchas marinhas, ossos e metais como ouro e chumbo por civilizações antigas como os egípcios e as da América pré-colombiana (incas, maias e astecas), na confecção de próteses bucais, nas quais encaixavam-se dentes de animais e dentes humanos que seriam posteriormente amarrados com fios nos elementos dentais remanescentes dos indivíduos que receberiam as próteses (CASTRO & VASCONCELLOS,2000).

Porém, o conceito de biomateriais como o conhecemos atualmente é relativamente jovem, remontando ao final da década de 40 e início dos anos 1950.

Foi em 1991, na 2ª Conferência de Consenso de Biomateriais, em Chester no Reino Unido, que foi desenvolvida a definição que é utilizada até hoje para os biomateriais: “material

destinado a interface com sistemas biológicos para avaliar, tratar, aumentar ou substituir um tecido, órgão ou função do corpo” (WILLIAMS *et al.*, 1991).

A história dos biomateriais pode ser dividida em três gerações, que devem ser interpretadas de forma conceitual e não cronológica, já que cada uma delas refere-se a evoluções nas propriedades dos materiais envolvidos para adequação às necessidades que surgiam (NAVARRO *et al.*, 2008).

Na primeira geração de biomateriais temos a utilização em grande escala de materiais considerados bioinertes, ou seja, materiais que não possuíam interação ou interagiam minimamente com o organismo. Fortemente ligados a essa geração estão os implantes ósseos, com destaque para o desenvolvimento da primeira articulação artificial da anca, em 1961. Destacam-se também a utilização de metais e ligas metálicas resistentes à corrosão em cirurgias dentárias e ortodentárias e tecidos ou malhas de poliéster na confecção de próteses vasculares (SANTOS, 2011).

A segunda geração está associada aos materiais chamados de bioativos, assim nomeados por estimularem a regeneração do tecido natural. A utilização desses materiais iniciou-se nos anos 1970, introduzindo os conceitos de biocompatibilidade e biodegradabilidade, que serão definidos mais à frente (SANTOS, 2011).

Já a terceira geração tem início nos anos 1990 e se estende até os dias atuais, nela estão incluídos os materiais capazes de estimular respostas celulares específicas no nível molecular (HENCH & POLAK, 2002). Essa geração também se caracteriza pelo aprimoramento dos biomateriais, o que pode ser notado pelo desenvolvimento dos compósitos e nanocompósitos, que são a junção de materiais insolúveis entre si e que buscam assim apresentarem a combinação das melhores características dos constituintes da mistura.

Também na terceira geração iniciam-se os estudos e pesquisas na área da Engenharia de Tecidos, que consiste no desenvolvimento e manipulação de implantes artificiais de tecidos gerados em laboratórios e/ou de células ou moléculas capazes de substituir ou estimular funcionalmente partes defeituosas ou lesadas dos organismos (CARVALHO, 2009).

No transcorrer das últimas décadas, é possível notar-se um crescente desenvolvimento de novos biomateriais, isto relaciona-se à grande competitividade entre as corporações industriais e de segmentos de mercado, da inovação tecnológica, que tem permitido o desenvolvimento de novos métodos e técnicas de elaboração e caracterização de biomateriais e dispositivos para aplicações biomédicas (RODRIGUES, 2013; SANTOS, 2011). Esta inovação pode ser vinculada à ciência da nanotecnologia que veio revolucionar os métodos e técnicas de síntese e desenvolvimento de biomateriais, conduzindo a novas superfícies, formação de grãos

em escala nanométrica com elevada área superficial de grãos e microporos, condições favoráveis aos processos de osseointegração e da osseoindução e de formação do tecido ósseo. Esta inovação tem contribuído também com os processos cirúrgicos, na fixação de implantes, na liberação de medicamentos entre outros processos (SIMONI & SILVA, 2013).

3 CARACTERÍSTICAS DESEJÁVEIS NOS BIOMATERIAIS

Os biomateriais são materiais utilizados em tecidos biológicos buscando o tratamento, substituição ou diagnóstico dos tecidos onde são colocados. Sua seleção se baseia em qual será sua aplicação. Eles podem ter diversas funções, como a estética em implantes de seios, por exemplo, ou a estrutural, quando substituem ossos ou dentes (SIMONI & SILVA, 2013).

Os materiais utilizados não podem ter características prejudiciais ao organismo, isto é, não podem produzir respostas adversas ao meio biológico, por isso é importante que haja um estudo prévio para que o material utilizado não seja tóxico, cancerígeno, antigênico (substância que estimula a produção de anticorpos que agem contra as células do corpo) ou mutagênico, que causa mutações nas células de DNA (MORAIS *et al.*, 2007).

Na seleção dos materiais, é importante levar em consideração as características físicas, químicas e mecânicas dos biomateriais (SILVA, 2006). São elas:

- a) a resistência mecânica, que deve possuir um valor elevado em implantes odontológicos e ortopédicos, já que estes são estruturais e substituem tecidos de alta dureza. Também requerem alta resistência, enxertos de veia aorta, válvulas cardíacas e balões de angioplastia;
- b) o módulo de elasticidade, torção ou flexão, que deve ser o suficiente para suportar as cargas funcionais que o material irá receber e retornar ao seu estado original. O módulo de torção e de flexão são de interesse para materiais como catéteres que podem sofrer torque e fazer percursos tortuosos dentro dos vasos;
- c) a fadiga, ponto onde o material passa a não suportar mais os esforços cíclicos a que está submetido e começa a apresentar trincas. Os dispositivos que devem suportar a fadiga são em sua maioria compostos por poliuretano, poliéster e metais em geral, funcionam geralmente como implantes ortopédicos, odontológicos e cardiovasculares;
- d) a absorção de água, que pode influenciar nas demais características físico-químico-biológicas dos materiais, além de colaborar para a sua degradação;
- e) a bioestabilidade, que deve estar presente em implantes permanentes;

- f) o método de esterilização, já que o mesmo pode causar alteração no estado energético da superfície do material, alterando conseqüentemente a sua resposta biológica.

Para auxiliar na determinação de algumas propriedades mecânicas dos biomateriais podem ser realizados ensaios nesses materiais. Algumas características dos ensaios mais frequentemente realizados podem ser descritas (TURRER & FERREIRA, 2008):

- a) ensaio de tensão e deformação: através desse ensaio é possível determinar e mensurar a resistência do material a tensões aplicadas nos respectivos sentidos – tensão, pressão e cisalhamento;
- b) ensaio de impacto: utilizados para avaliar a fragilidade do material. Quando submetido a esse ensaio, o material pode se comportar de maneira mais frágil. Através desse ensaio é possível avaliar a tenacidade do material, ou seja, a energia de impacto absorvida pelo material durante a fratura;
- c) ensaios de compressão e flexão: o material é submetido a um esforço diferente ao aplicado no ensaio de tração. Utilizado principalmente para materiais cerâmicos que são mais frágeis e apresentam dificuldades no ensaio de tração;
- d) ensaio de dureza: mede a resistência à penetração na superfície do material;
- e) ensaio de fadiga: o material é sujeito a tensões baixas, porém repetidas e pode falhar após aplicação de grande número de ciclos;
- f) ensaio de fluência: o material é submetido a uma determinada tensão durante um certo tempo, podendo o mesmo deformar e eventualmente falhar. Esse ensaio pode ser influenciado por fatores como a temperatura, pois metais sofrem deformação por fluência em temperaturas elevadas e polímeros tendem a sofrer esse tipo de deformação em temperaturas mais baixas.

Além de observar todas as características físicas e químicas que foram citadas acima, e de realizar os ensaios que foram descritos para determinar as propriedades mecânicas dos biomateriais, observar a biocompatibilidade e a biodegradabilidade também são fatores importantes na hora da seleção de um biomaterial.

3.1 Biocompatibilidade

Um dos maiores problemas que podem ocorrer com a utilização de biomateriais no corpo humano é a rejeição por parte do sistema imunológico do paciente implantado. Por isso, é importante o conhecimento sobre a biocompatibilidade do material com o meio biológico em que será utilizado.

A princípio, um material era considerado biocompatível, se não apresentasse nenhuma resposta do meio biológico à sua presença, ou seja, fosse totalmente inerte.

Porém, com o tempo percebeu-se que a presença de qualquer material sempre gera alguma resposta do organismo, colocando de lado então a ideia de que a biocompatibilidade estava ligada à inércia do material. As respostas dadas pelo meio biológico podem variar, de acordo com a aplicação do material e também com as características do paciente (sexo, idade, entre outros).

Portanto, para que a biocompatibilidade pudesse ser definida era preciso compreender as diversas formas de interação entre o organismo e o material, enfatizando especialmente a interface tecido (ou meio circunvizinho) - material (ORÉFICE, 2005).

Em 1987, Williams definiu biocompatibilidade como sendo a habilidade de um material desempenhar uma resposta tecidual adequada em uma aplicação específica (WILLIAMS *et al.*, 1991). Com essa definição fica claro que o material biocompatível não é inerte no organismo, muito pelo contrário, é desejável que ele apresente reações, desde que essas sejam convenientes a aplicação na qual o material está sendo empregado.

3.2 Biodegradabilidade

A biodegradabilidade é definida como o fenômeno em que o material é degradado ou solubilizado em fluidos tissulares, desaparecendo do sítio de implantação (PEREIRA *et al.*, 1999; TABATA, 2009).

Os materiais biodegradáveis, ou biorreabsorvíveis como também podem ser chamados, são degradados após um certo período de tempo no organismo e os produtos resultantes devem ser atóxicos, ou seja, não devem causar reações adversas.

Esses materiais tem grande utilização nas cirurgias ortopédicas, incluindo fixação de fraturas, substituição óssea, reparo de cartilagens, reparo de meniscos, fixação de ligamentos e liberação de drogas e medicamentos (RODRIGUES, 2013). Essa grande utilização se deve ao fato de que por serem biodegradáveis não há a necessidade de uma segunda intervenção cirúrgica para a retirada de dispositivos como parafusos, pinos, plugs e placas.

Atualmente as pesquisas relacionadas a materiais biodegradáveis tem como foco principal o desenvolvimento de materiais biocompatíveis com as devidas características de resistência e degradação que tornem possíveis o uso constante em tratamentos ortopédicos em pacientes humanos (RODRIGUES, 2011).

4 CLASSIFICAÇÃO DOS BIOMATERIAIS

Os biomateriais podem ser classificados sob dois aspectos, o seu comportamento biológico e a sua composição química.

4.1 Classificação por comportamento biológico

A classificação segundo o comportamento biológico tem como base as respostas do tecido hospedeiro (MEDEIROS, 2012). Assim sendo, os biomateriais são classificados como:

- a) bioinertes: não provocam reação de corpo estranho no organismo, encontram-se em contato direto com o tecido receptor. Exemplos: titânio, zircônia e alumina;
- b) biotolerados: são moderadamente aceitos pelo tecido receptor e geralmente são envolvidos por um tecido fibroso. Exemplo: aço inoxidável, ligas cromo-cobalto e polimetilmetacrilato (PMMA);
- c) bioativos: possuem ligação direta aos tecidos vivos, pois tem em suas composições íons de cálcio e/ou fósforo, presentes nos substitutos ósseos, o que favorece uma ligação química com o tecido ósseo. Exemplos: hidroxiapatita e biovidros (também conhecidos como vidros bioativos);
- d) reabsorvíveis: são degradados lentamente e gradualmente substituídos pelos tecidos onde são implantados. Exemplos: fosfato tricálcico (TCP) e vidros bioativos.

4.2 Classificação por composição química

Quanto a sua composição química, os biomateriais podem ser classificados como:

- a) metálicos;
- b) cerâmicos;
- c) polímeros;
- d) compósitos.

O quadro 1, mostra os biomateriais classificados quanto a sua composição química, além de mostrar vantagens e desvantagens de cada um e locais de aplicação.

Quadro 1 – Aplicações clínicas dos biomateriais

Biomaterial	Exemplos	Vantagens	Desvantagens	Aplicações
Polímeros	Polietileno, PTFE, Poliéster, Poliuretano, PMMA, Silicona.	Elasticidade, fácil fabricação, baixa densidade.	Baixa resistência mecânica, degradação dependente do tempo.	Suturas, artérias, veias, maxilofacial (nariz, orelha, maxilar, mandíbula), cimento, tendão artificial, oftalmologia.
Metais e ligas	Aço inoxidável, Liga de titânio, Liga de cromo-cobalto.	Alta força de tensão, alta resistência ao desgaste, energia de deformação alta.	Baixa biocompatibilidade, corrosão em meio fisiológico, perda das propriedades mecânicas em tecidos conectivos moles, alta densidade.	Fixação ortopédica (parafusos, pinos, placas, fios, hastes), implantes dentais.
Cerâmicas e vidros	Alumina, Zircônia, Carbono, Fosfatos de cálcio, Porcelana, Vidros bioativos.	Boa biocompatibilidade, inércia, resistência à corrosão, inércia, alta resistência à compressão.	Baixa força de tensão, baixa resistência mecânica, baixa elasticidade, alta densidade.	Osso, juntas, dentes, válvulas, tendões, vasos sanguíneos, traquéias artificiais.
Compósitos	Fibra de carbono-resina termofixa, Fibra de carbono termoplástico, Carbono-carbono, Fosfato de cálcio, Colágeno.	Boa biocompatibilidade, inércia, resistência à corrosão, alta força de tensão.	Material de fabricação incompatível.	Válvula cardíaca artificial (carbono ou grafite pitolítico), implantes de juntas de joelho (fibra de carbono reforçada com polietileno de alta densidade).

Fonte: KAWACHI *et al.* (2000), Química Nova, 23(4) 2000, pág. 519

Nas próximas seções haverá um maior detalhamento de cada um dos tipos de biomateriais.

5 BIOMATERIAIS METÁLICOS

Segundo CALLISTER JR (2002), os materiais metálicos são geralmente combinações de elementos metálicos. Possuem uma grande quantidade de elétrons não localizados, ou seja, estes elétrons não tem ligação com nenhum átomo em particular. São exatamente esses elétrons “livres” que conferem aos metais muitas de suas características como o fato de serem bons condutores de calor e eletricidade. Os metais são muito resistentes, mas possuem também a capacidade de se deformar, o que faz com que sejam largamente utilizados em aplicações estruturais.

No corpo humano, alguns metais são tolerados em pequenas quantidades (ferro, cromo, níquel, titânio, cobalto, entre outros), porém nem todos tem uma aceitação biologicamente satisfatória pelos tecidos com os quais estão em contato. Por isso, é de extrema importância que sejam realizados estudos sobre a biocompatibilidade do material metálico antes de sua implantação, o qual deve possuir como característica primordial uma boa resistência à corrosão. A oxidação do metal no corpo humano libera produtos da corrosão no organismo, o que pode gerar uma série de efeitos indesejáveis. Os aços inoxidáveis, titânio, platina, ouro e as ligas à base de cobalto são bons exemplos de biomateriais metálicos que se adequam às exigências de resistência à corrosão (MARTÍN, 2004).

5.1 Aplicações

Os metais e suas ligas encontram ampla aplicação na ortopedia, como materiais estruturais, em dispositivos para fixação de fraturas, na substituição parcial ou total de articulações, na fabricação de instrumental cirúrgico, estabilizadores externos, braçadeiras e aparatos para tração. Também são bastante utilizados em implantes e aparelhos odontológicos.

Até o século XVIII, os materiais metálicos que eram utilizados em implantes cirúrgicos eram fundamentalmente o ouro e a prata. Em meados do século XX, aço inoxidável e depois ligas de cromo-cobalto foram utilizados com sucesso em implantes para reparo ósseo. Na década de 60 foram iniciados a utilização do titânio e suas ligas (Figura 02) (CHARNLEY, 1960; MARINHEIRO, 2002). Nos últimos 40 anos cresceu a utilização do tântalo na confecção de marca-passos e em cirurgias reparadoras de crânio, por apresentar boa biocompatibilidade e alta resistência à corrosão (CHRISTIE, 2003).

Figura 02 - Mini placa de titânio estabilizando fratura de mandíbula.



Fonte: (TURRER & FERREIRA, 2008, p. 257).

Muitas são as aplicações dos materiais metálicos, porém são poucos os que suportam a agressividade do meio biológico. Mesmo entre os biomateriais metálicos que possuem a biocompatibilidade necessária para serem implantados, muitas vezes os resultados não são satisfatórios, já que podem ocorrer falhas como desgaste, corrosão, liberação de íons entre outras (MARTÍN, 2004).

Com o intuito de que haja melhorias, muitas pesquisas estão em desenvolvimento nessa área, visando permitir uma melhor e maior interação dos materiais metálicos com o organismo humano (RODRIGUES, 2013). Uma das formas de melhoria encontrada, foi a associação de materiais metálicos com outros materiais, como os polímeros, que lhe conferem maior resistência mecânica, permitindo o contato adequado em regiões de grande atrito, além de poder minimizar a liberação de íons metálicos por interação do biomaterial com os fluidos fisiológicos (PUNT *et al.*, 2008).

5.2 Vantagens

Entre as principais vantagens dos biomateriais metálicos podemos citar (TURRER & FERREIRA, 2008):

- a) Excelente resistência mecânica;

- b) Capacidade de deformação;
- c) Elevada tenacidade;
- d) Facilidade de fabricação;
- e) Baixo custo.

5.3 Desvantagens

As principais desvantagens que podem ser citadas sobre os biomateriais metálicos são (BAUER & SCHILS, 1999; MORAIS *et al.*, 2007):

- a) Pode ocorrer corrosão;
- b) Liberação de íons, o que pode ser prejudicial ao organismo se os mesmos tiverem algum grau de toxicidade, ou se houver algum tipo de alergia aos íons liberados;
- c) Sofrem desgaste;
- d) Podem ocasionar perda do estímulo mecânico no osso, sítio do implante, o que pode ocasionar a perda do mesmo.

6 BIOMATERIAIS CERÂMICOS

Os materiais cerâmicos podem ser sintéticos ou naturais, sendo classificados como compostos entre os elementos metálicos e não metálicos, sendo geralmente óxidos, nitretos e carbeto. Também se enquadram nessa classificação cerâmicos que são compostos por minerais argilosos, cimento e vidro. Estes materiais são isolantes a passagem de eletricidade e calor e possuem uma maior resistência a altas temperaturas e materiais abrasivos que os metais e polímeros. Quanto ao comportamento mecânico, os cerâmicos possuem alta dureza, mas são mais quebradiços (CALLISTER JR, 2002).

De acordo com a resposta na interface tecido-implante, as cerâmicas podem ser classificadas em quatro grupos (KAWACHI *et al.*, 2000):

- a) Inertes ou quase inerte: são toleradas pelo organismo, não havendo interações químicas e biológicas. Exemplos: alumina e zircônia;
- b) Porosas: ocorre o crescimento internos dos tecidos através dos poros. Exemplos: aluminatos e hidroxiapatitas porosos;
- c) Bioativas: ocorre uma forte ligação na interface osso-implante. Exemplos: biovidros, hidroxiapatitas e vitro-cerâmicas;

- d) Reabsorvíveis: as cerâmicas são degradadas e substituídas pelos tecidos. Exemplos: gesso e fosfato tricálcico.

A primeira referência ao uso de cerâmicos como biomateriais data de 1894, quando Dreesman relatou o uso de gesso como possível substituto para ossos. Porém esse material possui uma resistência mecânica muito baixa e é completamente reabsorvido pelo organismo, o que resulta em uma rápida fragmentação e degradação. Por apresentar tais propriedades que não se apresentavam interessantes para os resultados que eram buscados, a utilização do gesso como biocerâmica implantável foi descartada. A década de 1970 marcou o início do uso mais intenso de materiais cerâmicos que possuem propriedades que possibilitam classifica-los como biocerâmicas. Neste período a alumina tornou-se a primeira biocerâmica a ter o uso mais difundido, sendo até hoje utilizada com frequência em próteses ortopédicas que substituem ossos ou parte deles por possuir uma boa biocompatibilidade e alta resistência mecânica (KAWACHI *et al.*, 2000).

6.1 Aplicações

As biocerâmicas são dotadas de uma boa biocompatibilidade, sendo os materiais que melhor favorecem a osseointegração (interação entre o osso e o implante), são também os materiais mais parecidos com o componente mineral do osso, o que tornam mais amplas suas aplicações. Porém, por serem rígidas e quebradiças, seu emprego acaba sendo limitado a aplicações que não devem suportar cargas, como no caso de enchimento de defeitos ósseos, em cirurgia bucal e ortopédica (Figura 03), no recobrimento de implantes dentais e próteses metálicas, entre outros procedimentos (MARTÍN, 2004).

Figura 03 - Componente acetabular de prótese de quadril em cerâmica



Fonte: <<http://medicinadoquadril.com.br/site/próteses>> Acesso em: 07/10/2015

Os principais materiais cerâmicos disponíveis comercialmente e mais utilizados para reparação e substituição do tecido ósseo são a hidroxiapatita, o fosfato tricálcico, a alumina e a zircônia (NISHIKAWA & OHGUSHI, 2004).

A Hidroxiapatita (HA) é constituinte mineral natural do osso, representando de 30 a 70% da massa de ossos e dentes. Em sua forma sintética é uma das biocerâmicas mais versáteis para uso em implantes, pois possui grande semelhança com o osso e uma facilidade de adesão a esse tecido. Por possuir como característica uma certa solubilidade, a HA circunda rapidamente o osso ou tecido, formando uma adesão direta ao implante. A solubilidade permite que haja uma gradual degradação e absorção do material por parte do tecido que está envolvido, havendo assim um estímulo para o crescimento do osso por entre os poros do material, podendo posteriormente haver a gradativa substituição do material pelo tecido. A principal limitação ao uso da hidroxiapatita é a sua baixa resistência, o que faz com que sua aplicação seja admitida apenas em dispositivos que suportarão baixos carregamentos (MUDALI *et al.*, 2003). Outro fator limitante do uso clínico da hidroxiapatita é a sua lenta biodegradabilidade. Estudos feitos durante longos períodos de tempo mostram que a ela começa a ser absorvida gradualmente após 4 ou 5 anos de implante (KAWACHI *et al.*, 2000).

A utilização de fosfatos de cálcio, como o fosfato tricálcico (TCP) e também a hidroxiapatita que já foi citada, se deve ao fato de possuírem uma boa biocompatibilidade. Por serem livres de proteínas, quase não apresentam reação imunológica, de corpo estranho e também baixa toxicidade sistêmica. Possuem capacidades osteocondutoras, ou seja, permitem a formação de novo osso por proliferação e migração de células ósseas do leito receptor através

da superfície do enxerto (implante), além de possuírem também uma ótima capacidade de se ligar diretamente ao osso (SANTOS, 2011). O TCP apresenta capacidade de dissolução e adsorção pelo meio biológico de 3 a 12 vezes maior que a hidroxiapatita, o que torna esse material um candidato em potencial para processos de formação óssea (SILVA, 2006).

A alumina como já citado, foi a primeira biocerâmica a ter o seu uso difundido, sendo utilizada em próteses ortopédicas que substituem ossos total ou parcialmente, desde que não sejam submetidos a esforços elevados.

Muito utilizada na odontologia a zircônia tem sido aplicada também ultimamente em artroplastias de quadril (componente esférico), pois percebeu-se que ela apresenta baixo nível de desgaste quando utilizado com um componente acetabular de UHMWPE (Ultra High Molecular Weight Polyethylene – Polietileno de Ultra Alto Peso Molecular) (RODRIGUES, 2013).

6.2 Vantagens

Segundo ABUKAWA *et al.* (2006), podemos citar como vantagens dos biomateriais cerâmicos:

- a) semelhança estrutural ao componente inorgânico do osso;
- b) boa biocompatibilidade;
- c) são osteocondutivas;
- d) não possuem proteínas em sua composição, o que proporciona ausência de resposta imunológica;
- e) possuem alto tempo de degradação *in vivo*, permitindo a remodelação óssea no sítio do implante;
- f) resistência a corrosão.

6.3 Desvantagens

Como desvantagens, podemos citar (KAWACHI *et al.*, 2000; SANTOS, 2011):

- a) baixa rigidez estrutural, não podendo ser utilizadas em regiões de elevado esforço mecânico;
- b) baixa tenacidade;
- c) baixa elasticidade;

- d) baixa resistência a tração;
- e) alta densidade;
- f) grande risco de fraturas, devido a sua natureza porosa.

7 BIOMATERIAIS POLIMÉRICOS

Os polímeros são materiais constituídos de macromoléculas orgânicas, sintéticas ou naturais. Essas moléculas geralmente se encontram na forma de cadeias longas e flexíveis, onde o principal elemento de formação consiste em uma série de átomos de carbono. Essas moléculas são formadas por estruturas denominadas *mero*, que se repetem sucessivamente ao longo da cadeia. Um único mero é chamado monômero, enquanto polímero significa vários meros. Esses materiais possuem tipicamente baixas densidades e podem ser extremamente flexíveis, além de serem isolantes elétricos e térmicos, possuírem boa resistência à corrosão e baixa resistência ao calor (CALLISTER JR, 2002).

A utilização dos polímeros como biomateriais, tem início quase que em conjunto com o início da ciência dos polímeros. A partir da descoberta dos polímeros sintéticos, novos caminhos para o estudo da aplicação desses materiais em experimentos cirúrgicos foram abertos. Em 1940 iniciou-se o uso de Nylon em suturas e materiais como poli(metilmacrilato) – PMMA, Dacron poliéster e polivinil também começaram a terem seus usos registrados a partir desta data. A seguir, materiais como Teflon, polipropilenos de alta densidade e poliuretanos foram adaptados e igualmente utilizados em cirurgias (RODRIGUES, 2013).

Ao contrário dos metais, vários polímeros são utilizados nas mais diversas aplicações como biomateriais. Isso acontece devido à disponibilidade de uma grande variedade de composições, propriedades e formas (sólida, fibra, tecido, filme e gel), podendo ser fabricadas com facilidade em diversas formas e estruturas. Porém esses materiais tendem a ser muito flexíveis e fracos, não suportando demandas mecânicas em certas aplicações, como implantes ortopédicos por exemplo (RODRIGUES, 2013).

7.1 Aplicações

A utilização de polímeros como biomateriais vai desde aplicações temporárias como suturas e balões aórticos, até aplicações de caráter mais permanentes como enxertos vasculares, cirurgia plástica e reconstrutiva, válvulas cardíacas, articulações, entre outras aplicações.

Podem ser utilizados também em dispositivos que desempenham funções fisiológicas – órgãos artificiais – como coração, pulmão, rim, pâncreas etc. (COSTA, 1986).

Na ortopedia destaca-se o uso do UHMWPE (Polietileno de Ultra Alto Peso Molecular), na substituição de articulações em conjunto com ligas de CrCoMo (Cromo-Cobalto-Molibdênio), principalmente nas artroplastias de quadril (componente acetabular) e de joelho. Esse material possui amortecimento de impacto eficaz e baixo coeficiente de atrito, porém, apresenta taxa de desgaste significativa. O PMMA (polimetilmetacrilato), também tem uso destacado na ortopedia como cimento ósseo para fixação de próteses de quadril e joelho, em reparos de defeitos de crânio e em cirurgias de coluna (RODRIGUES, 2013).

Como já citado anteriormente, a gama de utilização dos biomateriais poliméricos é muito extensa, sendo utilizados:

- a) em odontologia na confecção de dentaduras e dentes artificiais que recobrem “pivots” metálicos, utilizando-se compósitos de politetrafluoretileno e polimetilmetacrilato, entre outros polímeros;
- b) na realização de suturas, onde podem ser utilizados polímeros absorvíveis (nylon, ácido poliglicólico) e não absorvíveis (poliéster, polipropileno, poliacrilonitrilo);
- c) implante nos ouvidos, onde os polímeros são utilizados para substituir ossículos que por alguma razão impedem a audição, sendo muito utilizados PMMA, polietileno, Teflon, borracha de silicone, entre outros;
- d) implante nos olhos, onde a pretensão é a restituição da funcionalidade da córnea e da lente intraocular, havendo a necessidade de que o polímero seja transparente, sendo assim o PMMA o mais usado (Figura 04);
- e) cirurgias plásticas e reconstrutivas, como reconstrução de mandíbula, correção de queixos, narizes e cavidades orbitais, além é claro das próteses mamárias, faz-se uso nesses procedimentos de polímeros como o silicone, Teflon, borracha de silicone, entre outros.

Figura 04 - Lente ocular em PMMA.



Fonte: <<http://geniusintraoculartecnology.com.br/catalogo>> Acesso em: 07/10/2015

Além das aplicações listadas acima, existem várias outras que possuem também grande importância e demonstram a necessidade da utilização dos polímeros como biomateriais, como os órgãos artificiais, pele artificial, válvulas cardíacas, entre outros.

7.2 Vantagens

Os polímeros apresentam como vantagens (TURRER & FERREIRA, 2008; KAWACHI *et al.*, 2000):

- a) alta ductibilidade;
- b) flexibilidade;
- c) boa biocompatibilidade;
- d) fácil fabricação;
- e) baixa densidade;
- f) custo relativamente baixo;
- g) boa resistência a corrosão.

7.3 Desvantagens

Como desvantagens dos biomateriais poliméricos, podem ser citados (KAWACHI *et al.*, 2000; COSTA, 1986):

- a) baixa resistência mecânica;

- b) degradação dependente do tempo;
- c) a degradação em ambiente biológico pode levar a liberação de produtos tóxicos.

8 COMPÓSITOS

Os compósitos são materiais obtidos pela combinação de dois ou mais materiais, com o objetivo de aproveitar as características desejadas de cada material (RODRIGUES, 2013). Nessa combinação, os materiais constituintes retêm as suas identidades, ou seja, não são dissolvidos ou descaracterizados completamente e atuam em conjunto, fazendo com que as propriedades do compósito sejam superiores às dos constituintes individualmente (SILVESTRE FILHO, 2001).

Os materiais compósitos são em maioria formados por uma ou mais fases descontínuas fixadas dentro de uma fase contínua. A fase descontínua é denominada material de reforço, e é geralmente mais rígida e resistente que a fase contínua (aglomerante), denominada matriz (RODRIGUES, 2013).

Como biomaterial, os compósitos são criados para suprir as deficiências encontradas na utilização dos outros biomateriais, juntando assim as propriedades positivas de cada um e criando um material que atenda às necessidades que individualmente os determinados biomateriais não foram capazes de atender.

É importante lembrar, que para ser utilizado como biomaterial cada componente do material compósito deve ser biocompatível, evitando assim degradação entre a interface dos componentes (RODRIGUES, 2013).

8.1 Aplicações

Em ortopedia, os compósitos encontram aplicação em dois grupos. O primeiro grupo refere-se à fabricação de dispositivos diversos, como cadeira de rodas por exemplo, o segundo está ligado à confecção de próteses internas e externas (SILVESTRE FILHO, 2001).

Em próteses internas, exemplos da utilização de biomateriais compósitos incluem componentes femurais de baixa dureza para artroplastias de quadril (Figura 05), dispositivos biodegradáveis para fixação de fraturas, cimentos ósseos resistentes a fratura e componentes de articulação resistentes a fratura e ao desgaste (RODRIGUES, 2013).

Figura 05: Componente acetabular para prótese de quadril, composto entre alumina, zircônia e óxido de alumínio.



Fonte: <<http://www.novumhospitalar.com.br/portifolio/biolox/>> Acesso em: 07/10/2015

Os compósitos também são bastante utilizados na odontologia (compósitos metal-cerâmico e metal-polímero) e nas cirurgias craniomaxilofaciais (compósitos cerâmico-polímero).

8.2 Vantagens

As principais vantagens encontradas na utilização de compósitos como biomateriais são (KAWACHI *et al.*, 2000):

- a) boa biocompatibilidade;
- b) inércia;
- c) resistência à corrosão;
- d) alta força de tensão.

8.3 Desvantagens

Entre as desvantagens que podem ser citadas na utilização de compósitos como biomateriais estão (KAWACHI *et al.*, 2000; RODRIGUES, 2013):

- a) material de fabricação incompatível;
- b) incertezas quanto ao tempo útil de duração e possível degradação.

9 TENDÊNCIAS NA UTILIZAÇÃO DE BIOMATERIAIS

Com os avanços da Engenharia nas pesquisas de novos materiais, a área de biomateriais tem tido um grande avanço nos últimos anos. Além disso, fatores como o envelhecimento da população, o aumento do número de acidentes com lesões graves, o crescimento da espera por doações de órgãos e a diminuição de doadores, tem feito crescer a necessidade da utilização dos biomateriais.

Com o início dos estudos e pesquisas na área de Engenharia de Tecidos, os biomateriais começaram a ser utilizados na confecção de scaffolds porosos, que são como que “andaimes” em 3D que fornecem o ambiente adequado para a regeneração dos tecidos. Os scaffolds agem como modelos para a formação de tecidos, sendo geralmente semeados células, fatores de crescimento ou submetidos à estímulos biofísicos (biorreatores) (MARTINS, 2011).

Os biomateriais utilizados na formação de scaffolds possuem um arcabouço tridimensional poroso, propriedades bioativas e biodegradáveis e exercem a função de molde para a formação de um novo tecido. Eles mimetizam os meios físicos e químicos do tecido saudável para guiar a migração, diferenciação e proliferação tecidual (SANTOS, 2011). Os biomateriais mais utilizados para essa função são os cerâmicos e os polímeros sintéticos ou naturais (MARTINS, 2011).

Outra tendência que tem surgido é a utilização dos biomateriais como sistemas de liberação de fármacos, que ocorrem através de um mecanismo funcional de sensibilidade a mínimos estímulos do meio, como alteração de temperatura, força iônica e no pH local. Esses tipos de alterações levam a alterações conformacionais, induzindo o biomaterial a sair de um estado estável e passar para um estado ativo, permitindo a liberação de fármacos para o meio (SANTOS, 2011). A maior parte dos dispositivos para liberação controlada de fármacos são fabricados com biopolímeros.

Na resolução de alguns problemas como a falta de biocompatibilidade, de resistência à corrosão e resistência ao desgaste por fricção, estudos vêm sendo feitos e apontam que o recobrimento das próteses por um filme de carbono tipo diamante (DLC) pode solucionar essas questões. O DLC possui biocompatibilidade devido a sua composição de apenas carbono e hidrogênio que são biologicamente compatíveis às células humanas. Por isso o revestimento de biomateriais com o DLC não provoca reações no tecido e pode diminuir significativamente a corrosão de implantes. Suas características como alta dureza, inércia química, baixo coeficiente de atrito e desgaste, além da propriedade de bactericida do filme de DLC tornam a sua

utilização extremamente interessante nos biomateriais, principalmente nos metálicos que tendem a apresentar mais problemas relacionados a corrosão e biocompatibilidade (NUNES *et al.*, 2011).

Como é possível perceber muitas são as novidades que vem surgindo na intenção de aprimorar ainda mais a área de biomateriais, e muito mais pesquisas ainda estão sendo realizadas pois, investir no desenvolvimento dos biomateriais é investir no desenvolvimento humano e na promoção de sua saúde.

10 CONCLUSÃO

A necessidade de utilização dos biomateriais vem se tornando cada vez maior, o que torna as pesquisas nessa área de extrema importância pois ainda há muitos desafios a serem vencidos. Melhorar cada vez mais as propriedades dos materiais já existentes, encontrar novos materiais com novas e benéficas propriedades e com custos mais baixos é preciso para suprir a crescente demanda do mercado.

Com o aumento da expectativa de vida da população e conseqüentemente aumento das doenças degenerativas do tecido ósseo como osteoporose, artrite, artrose, além também do crescimento nos índices de acidentes graves, cada vez mais são necessários o uso de implantes. Além das várias outras aplicações nas quais os biomateriais já são empregados como odontologia, cirurgias de restauração, liberação controlada de fármacos, entre outras, lembrando também das novas utilizações que vem surgindo com os avanços da Engenharia de Tecidos e das Impressoras 3D.

Como já foi dito, avançar nas pesquisas sobre os biomateriais é preciso e com as novas tecnologias que surgem a cada dia na Engenharia esses avanços são mais do que possíveis. Avanços esses que levarão os biomateriais a ter cada vez mais importância, beneficiando e aprimorando a vida humana.

REFERÊNCIAS

- ABUKAWA, H. The engineering of craniofacial tissues in laboratory: A review of scaffolds and implants coating. **Dental Clinics of North American**, Philadelphia, v.50, n.2, p.205-216, 2006.
- BAUER, T.W.; SCHILS, J. The patology of total joint arthroplasty. Mechanisms of implant failure. **Skeletal Radiology**, New York, v.28, p.483-497, 1999.
- CALLISTER JR, W.D. **Ciência e Engenharia de Materiais: Uma Introdução**. 5ª ed. Rio de Janeiro, LTC, 2002.
- CARVALHO, A.C.C. **Bioengenharia Tecidual: Uso de Células-Tronco na Prática Médica**. Disponível em: <http://www.cgee.org.br/atividades/redirect.php?idProduto2162>. Acesso em: 31/08/2015.
- CASTRO, R.A.; VASCONCELLOS, W.A. Soluções para dentes polpados. **Revista Informe Capital**, Belo Horizonte, v.IV, p.12-13, 2000.
- CHARNLEY, J. Anchorage of the Femoral Head Prosthesis to the Shaft of the Femur. **The Journal of Bone & Joint Surgery**. British Volume, London, v.42, p.28-30, 1960.
- CHRISTIE, M.J. Treatment of Pre-Collapse Osteonecrosis of the Femoral Head with a Tantalum rod. **Saint Thomas Journal**, v.1, p.11-14, 2003.
- COSTA, V.S. Polímeros: Aplicações Actuais e Futuras. **Sociedade Portuguesa de Química**, Lisboa, v.II, n.24, p.48-53, 1986.
- GONÇALVES, S.I.S. **Resistência à Fadiga de Ligações Metal-Cerâmico em Restaurações Dentárias com Recursos a Interfaces Compósitas**. 2011. Dissertação (Mestrado em Engenharia Biomédica) – Escola de Engenharia, Universidade do Minho, Azurém, Portugal, 2011.
- HENCH, L.L.; POLAK, J. Third Generation Biomedical Materials. **Science**, Washington, v.295, p.1014-1017, 2002.
- KAWACHI, E.Y.; BERTRAN, C.A.; REIS, R.R.; ALVES, O.L. Biocerâmicas: Tendências e Perspectivas de uma Área Interdisciplinar. **Química Nova**. Campinas. v.23(4), p.518-522, 2000.
- MARINHEIRO, C.A. **Desenvolvimento de Máquina de Movimentos Cíclicos para Testes Biomecânicos**. 2002. 50f. Dissertação (Mestrado) – Universidade de São Paulo, Ribeirão Preto, 2002.

MARTÍN, E.C. Biomateriales de Naturaleza Inorgánica: Metales, Aleaciones y Cerámicas. **Discurso de Toma de Posesión em La Real Academia Nacional de Farmacia**. Real Academia Nacional de Farmacia, Espanha. 2004. Disponível em: <http://www.analesranf.com/index.php/discurso/issue/view/303>. Acesso em: 27/04/2015.

MARTINS, T. **Biomateriais: Estado da Arte**. 2011. Dissertação (Doutorado em Engenharia de Metalúrgica, Materiais e de Minas) – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2011.

MORAIS, L.S.; GUIMARÃES, G.S.; ELIAS, C.N. Liberação de íons por biomateriais metálicos. **Revista Dental Press Ortodon Ortop Facial**, Maringá, v.12, n.6, p.48-53. nov./dez. 2007.

MUDALI, U.K.; SRIDHAR, T.M.; RAJ, B. Corrosion of bio implants. **Sādhanā**, v.28, p.601-637, 2003.

NAVARRO, M.; MICHIARDI, A.; CASTANÕ, O; PLANELL, J.A. Biomaterials in Orthopaedics. **Journal of the Royal Society Interface**. London. v.15. p.1137-1158. 2008.

NISHIKAWA, M.; OHGUSHI, H. Calcium Phosphate Ceramics in Japan. In: YASZEMSKI, M.J. et al. **Biomaterials in Orthopaedic**. New York, Marcel Dekker. p.425-436. 2004.

NUNES, C.A. et.al. Biocompatibilidade e biofuncionalidade do carbono tipo-diamante no revestimento de biomateriais e novas tendências. In: **XV Encontro Latino Americano de Iniciação Científica e XI Encontro Latino Americano de Pós-Graduação – Universidade do Vale do Paraíba**. 2011.

ORÉFICE, R.L. Biomateriais e Biocompatibilidade. In: ORÉFICE, F. (org.), **Uveíte: Clínica e Cirúrgica**. Texto & Atlas. 2ª ed. Rio de Janeiro. v.2. p.1317-1351. 2005.

PEREIRA, A.P.V; VASCONCELOS, W.L.; ORÉFICE, R.L. Novos biomateriais: híbridos orgânicos-inorgânicos bioativos. **Polímeros: Ciência e Tecnologia**, v.9(4), p.104-109, 1999.

PUNT, I.M. et.al. Complications and reoperations of the SB Charite lumbar disc prosthesis: Experience in 75 patients. **European Spinal Journal**, Heidelberg, v.17, p.36-43, 2008.

RODRIGUES, L.B. Aplicações de biomateriais em ortopedia. **Estudos Tecnológicos em Engenharia**. São Leopoldo, RS, v.9(2), p.63-76, jul./dez. 2013.

SANTOS, K.S. **Biomateriais na Regeneração Óssea**. 2011. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Goiás, Goiás, 2011.

SILVA, M.H.P. **Apostila de Biomateriais**. 2006. Disponível em: <http://www.ebah.com.br/content/ABAAAF0o4AF/apostila-biomateriais>. Acesso em: 31/08/2015.

SILVESTRE FILHO, G.D. **Comportamento Mecânico do Poliuretano Derivado de Óleo de Mamona Reforçado por Fibra de Carbono: Contribuição para o Projeto de Hastes de Implante de Quadril**. 2011. Dissertação (Mestrado) – Universidade de São Paulo, São Carlos, 2001.

SIMONI, G.M.; SILVA, A.W. As características físico-químico-biológicas dos biomateriais e suas consequências na saúde humana em aplicações em próteses dentárias. In: **2º Simpósio de Integração Científica e Tecnológica do Sul Catarinense – SICT-Sul**. 2013. p.231-240. ISSN 2175-5302.

TABATA, Y. Biomaterial technology for tissue engineering applications. **Journal of the Royal Society Interface**, London, v.6, n.3, p.311-324, 2009.

TURRER, C.L.; FERREIRA, F.P.M. Biomateriais em Cirurgia Craniomaxilofacial: princípios básicos e aplicações – revisão de literatura. **Revista Brasileira de Cirurgia Plástica**, São Paulo, v.23(3), p. 234-239, 2008.

VON RECUM, A.F.; LABERGE, M. Educational goals for biomaterials science and engineering: perspective view. **Journal of Applied Biomaterials**, New York, v.6, p.137-144, 1995.

WILLIAMS, D. et.al. **2ª Conferência de Consenso sobre Definições de Biomateriais**. Chester, Reino Unido, 1991.