

Uma proposta interdisciplinar para o ensino de Física, Química e Biologia através do estudo de biomateriais

Diego Rafael Nespeque Correa¹

¹IFSP - Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de São Paulo – Campus Sorocaba, Grupo de Pesquisa em Materiais Metálicos Avançados, Sorocaba (SP), Brasil

RESUMO

As atuais práticas educacionais procuram vencer as dificuldades de aprendizagem em sala de aula, principalmente nas disciplinas de Ciências. Diversas propostas pedagógicas têm sido propostas, mas sem uma visão contextualizada e integrada do ensino. A integração disciplinar é uma ferramenta importante para fornecer um ensino voltado para o cotidiano. Este estudo propõe analisar as possibilidades do ensino interdisciplinar utilizando como tema biomateriais. Os biomateriais são uma categoria de materiais, desenvolvidos para utilização no corpo humano. A partir da análise das propriedades requeridas nas variadas aplicações, foi possível obter possíveis pontos de conexão interdisciplinar nas áreas de Física, Química e Biologia.

Palavras chave: Ensino de Ciências, Interdisciplinaridade, Biomateriais.

ABSTRACT

The recent educational practices aim to overcome the lack of learning in Sciences courses. Several pedagogical procedures have been proposed, but they do not possess a contextualized and integrated vision of the learning process. The interdisciplinary methodology is an important tool to supply a learning based on the daily life. This study aims to analyze the possibilities of an interdisciplinary teaching by using Biomaterials as a main theme. Biomaterials are a special class of materials, which are implanted into the human body. From the required property analysis, it was possible to obtain interdisciplinary connection points in Physics, Chemistry and Biology.

Keywords: Sciences Teaching, Interdisciplinary, Biomaterials.

1. Introdução

Nos últimos anos, as pesquisas têm procurado o desenvolvimento de práticas educacionais diferenciadas no ensino de Ciências, como forma de superar a constante falta de interesse e desmotivação dos alunos, além da carência de conhecimentos básicos em Português e Matemática (Sousa, 2016). Dentre as práticas mais investigadas destaca-se o uso de História da Ciência (HC) (Neves, 1998), Ciência-Tecnologia-Sociedade-Ambiente (CTSA) (Araújo e Moraes, 2012), Tecnologia de Informação e Comunicação (TIC) (Rangel *et al.*, 2012), experimentação (Varnier *et al.*, 2004) e modelagem (Brandão *et al.*, 2008). Estas práticas têm sido aplicadas principalmente nas disciplinas de Física, Química e Biologia, onde os alunos ainda mantêm grande dificuldade no aprendizado dos conteúdos (Sousa, 2016).

Somado a isso, a grande fragmentação das disciplinas tem se consolidado como um dos grandes obstáculos do processo de ensino-aprendizagem, uma vez que não corresponde à realidade cotidiana do aluno. Uma vez que os fenômenos naturais e o arcabouço tecnológico da atualidade não se baseiam em conceitos isolados destas disciplinas, a integração de diferentes disciplinas pode se constituir em uma interessante prática de ensino ao aluno, pois pode fornecer uma visão contextualizada e interligada dos diferentes ramos de estudo (Mozena e Ostermann, 2014). Esta ação de integração de disciplinas tem sido denominada de interdisciplinaridade. Entretanto, no atual panorama de ensino brasileiro, o uso de práticas interdisciplinares em sala de aula ainda tem se tornado um desafio, uma vez que os próprios professores carecem de formação adequada, além de não serem estimulados a promover diálogos entre si (Fazenda, 1991; 2002). Portanto, novos estudos sobre a viabilidade de práticas educacionais interdisciplinares em sala de aula ainda se fazem necessários, de forma a auxiliar os professores em suas ações pedagógicas em sala de aula.

Dentre as diversas áreas do conhecimento, o campo da Ciência dos Materiais se desponta como uma das mais interdisciplinares, unindo a especialidade de diferentes profissionais em cada um de seus segmentos (Callister e Rethwisch, 2016). Em especial destaca-se a classe dos biomateriais, que exige a expertise de uma ampla gama de profissionais, como físicos, químicos, biólogos, matemáticos, engenheiros, farmacêuticos, dentistas, fisioterapeutas e médicos. Por seu caráter específico de aplicação no corpo humano, esta classe de materiais necessita do conhecimento integrado destas diferentes áreas do conhecimento para seu amplo desenvolvimento (Ratner *et al.*, 1996). Portanto, os biomateriais podem apresentar variados pontos de conexão entre as disciplinas de Física, Química e Biologia, podendo ser um interessante tema de apoio para práticas interdisciplinares no Ensino Médio.

A partir do exposto, o objetivo deste trabalho é analisar possibilidades de abordagens interdisciplinares no ensino de conteúdos de Física, Química e Biologia para alunos do Ensino Médio, utilizando como tema os biomateriais. As possíveis práticas interdisciplinares serão analisadas em termos dos pontos de conexão entre estas disciplinas, com vistas às propriedades dos materiais e sua interação com o meio biológico do corpo humano.

2. Interdisciplinaridade, aspectos legais e o estudo de biomateriais

2.1 O ensino interdisciplinar

Muitas formas de articulação de disciplinas têm surgido nos últimos anos, com a proposta de criação de estratégias que permitam novas práticas pedagógicas. Dentre estas ações, destaca-se a multidisciplinaridade, pluridisciplinaridade, interdisciplinaridade e transdisciplinaridade (Fazenda, 2008). A multidisciplinaridade refere-se à união de uma ou mais disciplinas para a solução de um problema comum, contudo ocorre sem articulação entre si, mantendo as metodologias e teorias de cada uma inalteradas. No caso da pluridisciplinaridade, há uma cooperação entre as disciplinas, sendo permeada com a troca de conceitos e valores, ou seja, o problema é solucionado sob a ótica de diversas disciplinas ao mesmo tempo, ainda que de forma desorganizada. Na interdisciplinaridade, é promovida uma ação teórico-metodológica comum para todas as áreas envolvidas, ou seja, o problema é resolvido de forma articulada e integrada, mesmo mantendo os interesses de cada disciplina. Já a transdisciplinaridade envolve um nível acima de integração, tomando uma posição única entre todas as disciplinas. Neste caso, a solução é buscada por meio de relações entre os conhecimentos de forma democrática, sem predominância de determinada disciplina. São

conceitos de ensino inovadores, criados na tentativa de superar o tradicional método de ensino por disciplinas (FAZENDA, 2003).

A Fig. (1) ilustra esquematicamente a interação entre as diferentes disciplinas nestes conceitos de ensino. Na multidisciplinaridade, a solução é buscada entre as disciplinas A, B e C de forma separada, sem cooperação. Na pluridisciplinaridade, há uma relação de cooperação, contudo cada disciplina mantém sua base teórico-metodológica. Na interdisciplinaridade, há uma ação coordenada entre as disciplinas, com cooperação e diálogo. E por fim, a transdisciplinaridade é simbolizada como uma única estrutura de conhecimento utilizada para a solução do problema (Fazenda, 2008).

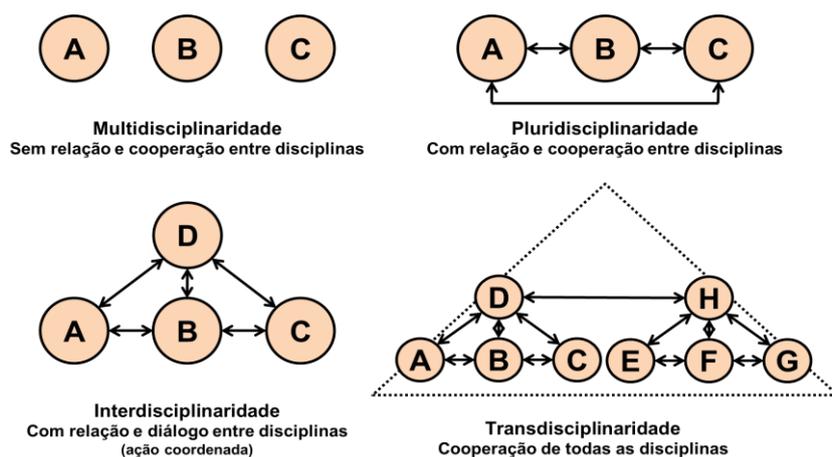


Figura 1 – Diagrama esquemático das diferentes formas de ensino para disciplinas genéricas (A, B, C, D, E, F, G e H) (adaptado de Hartmann (Hartmann, 2007)).

2.2 Aspectos legais da interdisciplinaridade

A interdisciplinaridade ganhou a atenção no cenário educacional brasileiro durante a década de 60. Contudo, somente na década de 70 que passou a serem discutidas questões estruturais básicas, passando por uma definição epistemológica, teórica e prática ao longo da década de 80. Somente na década de 90 é que o conceito assume um lugar na legislação brasileira (Mozena e Ostermann, 2016). A Lei de Diretrizes e Bases da Educação Nacional (LDB) de 1996 (Brasil, 1996) e os Parâmetros Curriculares Nacionais (PCNs) de 1998 (Brasil, 1998) foram as primeiras a incluir o ensino interdisciplinar em seu conteúdo, sendo incentivado pela constante discussão e pesquisas sobre o tema nas mais diversas esferas de ensino. No caso da LDB, foi estabelecido que a educação devesse abranger os processos formativos que são desenvolvidos durante a vida do aluno, adequando suas necessidades locais com o mundo cultural e social. Nos PCNs, a interdisciplinaridade aparece nos denominados “temas transversais”, onde é incentivada a interação entre as disciplinas, de forma a transformar a realidade social dos alunos com a articulação de conteúdos e atividades entre disciplinas. Posteriormente, a interdisciplinaridade é novamente abordada nas novas Diretrizes Curriculares Nacionais (DCNs), em específico no Ensino Básico (DCNGEB) de 2010 (Brasil, 2010) e Ensino Médio (DCNEM) de 2012 (Brasil, 2012), juntamente com o PCN+ (Brasil, 2002). Agora o conceito toma destaque, em detrimento dos termos “competências” e “habilidades”, passando de princípio pedagógico para “base de organização”. É estabelecida também uma carga horária anual de 20% para o desenvolvimento de projetos interdisciplinares nas salas de aula. Como um resultado destas ações políticas, o Plano Nacional de Educação (PNE) (Brasil, 2014a), para o período 2014-2024, estabeleceu como meta o incentivo de práticas pedagógicas interdisciplinares pelos

gestores educacionais. A partir disso, houve a integração das disciplinas no ENEM (Ciências Humanas e suas Tecnologias, Ciências da Natureza e suas Tecnologias, Linguagens Códigos e suas Tecnologias, e Matemática e suas Tecnologias), incentivo de práticas interdisciplinares no Plano Nacional do Livro Didático para o Ensino Médio (PNLEM) e o Programa Ensino Médio Inovador (ProEMI) (Brasil, 2014b). Contudo, apesar de todo apoio político, a criação de práticas interdisciplinares ainda é um obstáculo no Ensino Médio, carecendo de infraestrutura e formação específica dos professores.

2.3 Biomateriais

Ciência dos Materiais é um campo do conhecimento destinado ao estudo da relação entre processamento, composição e propriedades de materiais, voltado especificamente para aplicação tecnológica e industrial. Dentre as diversas categorias de materiais, os biomateriais têm se destacado como um dos mais interdisciplinares (Callister e Rethwisch, 2016). Biomaterial é definido como qualquer material, de origem natural ou sintética, utilizado na substituição, aumento ou tratamento de determinada função do corpo humano (células, tecidos ou órgãos). O tempo de utilização pode variar de dias, meses e anos, dependendo da finalidade de aplicação (Ratner *et al.*, 1996). As aplicações dos biomateriais envolvem ortopedia (próteses de quadril, joelho e tornozelo), odontologia (*brackets*, amálgamas e fios ortodônticos), cardiologia (marca-passos, *stents* e válvulas cardíacas), dispositivos de fixação óssea (placas, pinos e parafusos), carregadores de fármacos (*drug deliveries*) e substituição de tecidos moles (pele artificial, vasos sanguíneos, elastina e colágeno) (Black, 2006).

As propriedades dos biomateriais variam de acordo com a região e finalidade de aplicação, uma vez que cada parte do corpo requer um conjunto de propriedades únicas. No caso de implantes, por exemplo, é necessário um conjunto de propriedades mecânicas similares ao osso humano, de forma a suportar os constantes esforços biomecânicos (tração, compressão e torção) sem ocorrência de fratura (Navarro *et al.*, 2008). Além disso, o material deve suportar a ação corrosiva dos fluidos corpóreos (com pH levemente ácido) juntamente com o desgaste provocado pelo atrito com os tecidos ósseos. Este quesito é ainda mais importante para o caso de implantes odontológicos, uma vez que a região bucal é sujeita a grandes variações de temperatura, carga mecânica (mastigação) e de pH (Ohkubo *et al.*, 2008). E por fim, é crucial ao implante apresentar uma boa interação biológica com os tecidos ósseos, não produzindo efeitos tóxicos, alergênicos ou carcinogênicos. Recentemente, o desenvolvimento de novos implantes tem buscado inclusive acelerar o processo de regeneração óssea e facilitar a adaptação com os tecidos, fenômenos denominados de bioatividade e osseointegração, respectivamente (Roach *et al.*, 2007).

3. Metodologia

Neste estudo, serão comparadas as diferentes classes de biomateriais utilizados comercialmente, juntamente com os diferentes tipos de propriedades requeridas para cada aplicação no corpo humano, especialmente do ponto de vista físico, químico e biológico. Em seguida, serão analisados os diferentes pontos de conexão interdisciplinares que podem ser trabalhados com alunos do Ensino Médio, elencando possíveis práticas pedagógicas para serem utilizadas por professores em sala de aula.

4. Discussão

Dada à ampla variedade de propriedades requeridas para as distintas aplicações no corpo humano, os biomateriais abrangem atualmente todos os tipos de materiais utilizados em Engenharia (Quadro 1) (Ratner *et al.*, 1996). Suas propriedades são definidas basicamente pelo tipo de ligação química (metálica, iônica, covalente, Van der Waals, pontes de hidrogênio e etc.) e pela microestrutura (estrutura cristalina, tamanho de grão, precipitados de fases secundárias, defeitos pontuais, discordâncias e etc.). Os biomateriais metálicos são utilizados principalmente na substituição de tecidos duros (ossos), uma vez que apresentam elevada resistência mecânica e ductilidade. Contudo, em geral apresentam menor resistência à corrosão e biocompatibilidade que as cerâmicas, e menor flexibilidade que os polímeros. São empregados basicamente como implantes e dispositivos de fixação, principalmente para os casos de traumas (quebra de ossos) e doenças degenerativas (artrite e osteoporose) (Chen e Thouas, 2015). Os biomateriais cerâmicos são reconhecidos pela sua elevada biocompatibilidade com o corpo humano, uma vez que geralmente apresentam os mesmos elementos constituintes do osso (Ca, P e Mg). A ligação iônica promove uma forte união entre os átomos, o que resulta em elevada resistência à corrosão, apesar da baixa resistência à fratura e ductilidade. São utilizados na imobilização ou fixação de implantes, basicamente em recobrimentos de superfícies metálicas, enxertos e cimentos ósseos (Chevalier e Gremillard, 2008). Os biomateriais poliméricos apresentam elevada flexibilidade, o que facilita na substituição de vasos sanguíneos e tecidos moles. Além disso, sua menor resistência à corrosão geralmente é utilizada na confecção de carregadores de fármacos (*drug deliveries*), com taxas controladas de degradação (Teo *et al.*, 2016). Ainda assim, algumas propriedades específicas do corpo humano não são possíveis de serem obtidas por estes tipos de materiais, sendo requerida a confecção de biomateriais compósitos. Compósitos são desenvolvidos pela união de mais de uma categoria de materiais, podendo apresentar propriedades intermediárias de seus constituintes. Os biomateriais compósitos são empregados em funções de alto desempenho, como próteses artificiais e implantes de joelho para atletas com deficiência física (Salernitano e Migliaresi, 2003).

Quadro 1 – Tipos de biomateriais comerciais (Ratner *et al.*, 1996).

Metais	Aços inoxidáveis (316L e 304) Ligas de Co-Cr e Co-Cr-Mo Ti e suas ligas (Ti-6Al-4V, Ti-6Al-7Nb, Ti-13Nb-13Zr e NiTi) Mg e suas ligas (Mg-Zn, Mg-Ca e Mg-Zn-Ca) Zr e suas ligas (Zr-Nb, Zr-Mo e Zr-Ti) Ta-cp (comercialmente puro) Metais preciosos (Ag, Au, Pt e Pd)
Polímeros	Polietileno (UHMWPE, <i>Ultra-High Molecular Weight polyethylene</i>) PMMA (Polimetilmetacrilato) PTFE (Politetrafluoretileno) PLA (Poli(ácido láctico)) e PGA (Poli(ácido glicólico)) PU (Poliuretano) PCL (Policaprolactona) Nylon Silicone
Cerâmicas	Alumina (Al ₂ O ₃) Zircônia (ZrO ₂) Óxido de Ti (TiO ₂) Fosfato de Cálcio

	Hidroxiapatita Cimentos ósseos Biovidros e vitro-cerâmicas
Compósitos	Cimentos ósseos reforçados com fibra de carbono Fosfato de cálcio reforçado com colágeno Polietileno reforçado com fibra de carbono Metais porosos e celulares Hidroxiapatita porosa e <i>scaffolds</i>

Apesar da variedade de propriedades volumétricas que podem ser obtidas no processamento de biomateriais, em muitos casos se faz necessário adicionar propriedades específicas diferentes na superfície (Chu, 2013). A superfície do implante é a região de primeiro contato com o meio biológico, sendo um dos limitantes para um bom desempenho do biomaterial (Cordeiro e Barão, 2016). Modificações de superfície ou recobrimentos são constantemente aplicados aos biomateriais, de forma a melhorar a ligação com os tecidos ósseos (osseointegração), acelerar a regeneração óssea (bioatividade), evitar a proliferação de bactérias (bactericidade), controlar a adesão celular e adsorção de proteínas (biocompatibilidade) ou ainda melhorar a resistência à corrosão e ao desgaste (Hanawa, 2011). As técnicas de modificação e recobrimento de superfície aplicada aos biomateriais envolvem diversos tipos de processos (mecânicos, físicos ou químicos) (Kirmanidou *et al.*, 2016). O Quadro 2 apresenta algumas técnicas de modificação e recobrimento de superfície aplicado em biomateriais.

Quadro 2 – Tipos de modificação e recobrimento de superfície (Chu, 2013).

Mecânico	Desbaste (acabamento superficial) Lixamento (alteração da rugosidade) Polimento (alteração da rugosidade) Jateamento (endurecimento da superfície)
Químico	Tratamento químico (solução ácida, alcalina ou H ₂ O ₂) Tratamento hidrotermal (ação química + térmica) Sol-gel (síntese de compostos naturais) Anodização (formação de nanotubos) Oxidação por micro-arco (formação de microporos) Métodos bioquímicos (bactérias ou algas) Deposição de vapor químico (filmes finos)
Físico	Oxidação térmica (formação de filme óxido passivo) <i>Plasma spray</i> (recobrimento com hidroxiapatita) <i>Flame spray</i> (recobrimento com hidroxiapatita) Deposição de vapor físico (filmes finos) Evaporação (filmes finos) <i>Sputtering</i> (filmes finos) Implantação iônica (Ca, N, O ou He) PIII (<i>Plasma immersion ion implantation</i>) <i>Glow plasma discharge</i>

No que concerne às práticas pedagógicas, muitos conteúdos dos biomateriais podem ser trabalhados em sala de aula, com o objetivo de relacioná-las com a necessidade de aplicação no corpo humano. Sob uma visão multidisciplinar, as diferentes propriedades dos materiais podem ser agrupadas em conteúdos das áreas de Física, Química e Biologia (Quadro 3). Na área de Física, os temas podem ser agrupados nas áreas correspondendo às propriedades

físicas e mecânicas de materiais, enquanto na Química envolverá basicamente propriedades químicas, eletroquímica, síntese e ligações orgânicas e inorgânicas. E por fim, a Biologia pode agregar conceitos relacionados com células, tecidos e órgãos, além da interação tecido-material.

Quadro 3 – Conceitos multidisciplinares envolvendo biomateriais.

Física	Química	Biologia
Limite de escoamento	Taxa de degradação	Biocompatibilidade
Limite de resistência à tração	Potencial de corrosão	Osseointegração
Alongamento até a fratura	Corrente de corrosão	Bioatividade
Módulo de elasticidade	Absorção e adsorção	Bactericidade
Tenacidade	Atividade química	Citotoxicidade
Ductilidade	Ligação química	Genotoxicidade
Dureza	Síntese	Carcinogenicidade
Dilatação térmica	Processamento	Mutagenicidade
Ponto de fusão	Nanomateriais	Biologia celular
Rugosidade	Química orgânica	Histologia
Ângulo de contato	Química inorgânica	Sistema esquelético
Energia de superfície	Adesão	Sistema sanguíneo
Atrito	Massa atômica	Tecidos e órgãos
Desgaste	Eletronegatividade	Doenças degenerativas

Contudo, para a geração de práticas pedagógicas interdisciplinares é vital a integração e articulação entre estas disciplinas. Portanto, no Quadro 4 são apresentados os diferentes tipos de articulações que podem ser trabalhadas em sala de aula envolvendo os biomateriais. Os conceitos interdisciplinares envolvendo a Física, Química e Biologia envolvem aspectos relacionados com a síntese e processamento de biomateriais, além da combinação de propriedades de volume e superfície dos materiais para uma melhor interação com células e tecidos do corpo humano.

Quadro 4 – Conceitos interdisciplinares envolvendo biomateriais.

Física - Química	Relação ligações químicas e propriedades físicas Diagramas de fase e composição química Tribocorrosão (corrosão + desgaste) Adsorção e absorção de íons e moléculas pela superfície
Física - Biologia	Análise seletiva de materiais <i>Stress shielding</i> Cirurgia de revisão (falha do implante) Adesão, diferenciação e proliferação celular na superfície
Química - Biologia	Degradação e biocompatibilidade Liberação de íons na corrente sanguínea Interação celular com proteínas aderidas na superfície Interação celular com nanomateriais

No caso da relação Física/Química, é possível de ser estudado como os diferentes tipos de ligação química interferem nas propriedades físicas dos biomateriais, como resistência mecânica e à corrosão, ponto de fusão e etc. No caso de metais e cerâmicas, é possível analisar como a composição química interfere nas propriedades dos materiais, alterando seu diagrama de fases. É o caso, por exemplo, da zircônia (ZrO_2), onde uma determinada

concentração de ítria (Y_2O_3) é adicionada para promover a estabilização da fase tetragonal, que apresenta melhores propriedades que a monoclinica (Piconi e Maccauro, 1999). No caso da superfície, é possível estudar o sinergismo entre os processos de corrosão e desgaste (tribocorrosão) em implantes ortopédicos e odontológicos. Este fenômeno é mais evidente nos biomateriais metálicos, que possuem uma camada de óxido passiva que protege a superfície contra o ataque dos fluidos corpóreos. Contudo, o constante atrito entre os tecidos ósseos faz com que haja o desgaste desta camada de óxido, deixando a superfície exposta, sendo facilmente corroída (Souza *et al.*, 2015). Além disso, é possível de se estudar a interação da superfície com íons e moléculas, por meio de mecanismos de adsorção e absorção. Após a implantação, diversos tipos de proteínas e biomoléculas são aderidos à superfície do material, formando uma fina camada fibrosa, que será a responsável pela posterior interação celular (Cai *et al.*, 2006). Para a compreensão deste processo, é vital o conhecimento de ligações secundárias entre as cadeias de carbono e os radicais livres da superfície.

A relação Física-Biologia também apresenta interessantes pontos de conexão para a promoção de práticas pedagógicas interdisciplinares. Na parte de processamento, pode-se realizar uma análise seletiva dos elementos químicos com base em sua resposta biológica. Para este fim, devem-se considerar tanto as propriedades físicas quanto os efeitos tóxicos no corpo humano. É o caso do desenvolvimento de ligas de Ti, onde os elementos de liga são selecionados com o objetivo de melhorar suas propriedades mecânicas sem prejudicar sua biocompatibilidade (Banerjee e Williams, 2013). Une-se a esta questão o efeito *stress shielding*, onde um implante com elevado módulo de elasticidade acaba por absorver toda a carga mecânica imposta na região, fazendo com que os tecidos ósseos adjacentes se tornem fracos e quebradiços (Niinomi *et al.*, 2016). A falha do implante por fadiga também pode ser abordada, uma vez que a substituição do implante requererá cirurgias de revisão. Do ponto de vista clínico, estas cirurgias são reconhecidas por ter menor taxa de sucesso, além de proporcionar mais incômodo e gastos ao paciente (Long e Rack, 1998). E por fim, pode-se abordar a questão de superfície por intermédio da análise de como a topografia (rugosa ou lisa) interfere nos mecanismos celulares (adesão, diferenciação e proliferação). Estudos têm indicado que superfícies metálicas lisas dificultam a adesão celular de células osteoblásticas, enquanto as rugosas interferem na correta proliferação e diferenciação (Cordeiro e Barão, 2016). Portanto, podem-se estudar quais poderiam ser as melhores características destas superfícies para promover um melhor condicionamento celular.

No que concerne à relação Química-Biologia, podem ser abordados temas igualmente interdisciplinares. A degradação do implante, com a consecutiva liberação de íons e partículas na corrente sanguínea por ser estudada do ponto de vista da biocompatibilidade. Esta questão ficou em evidência com o uso das ligas biomédicas Ti-6Al-4V e NiTi, onde a possível liberação de íons tóxicos de Al, V e Ni tem requerido a utilização de recobrimentos ou na substituição destes elementos (Niinomi *et al.*, 2012). No caso de adesão de proteínas citado anteriormente, pode-se analisar agora os processos de interação celular com estas biomoléculas. Para a sobrevivência da célula, é vital que ela incorpore moléculas compostas por cadeias de carbono, para que haja o fornecimento de energia, em um processo conhecido como endocitose (Williams, 2008). Similarmente, são possíveis de se abordar as distinções na interação celular de biomateriais na escala volumétrica e nano. Estudos mostram que a biocompatibilidade de um determinado material pode ser alterada drasticamente quando se passa para a escala nanométrica (10^{-9} m), visto que facilita a incorporação de metais pesados pelas células, prejudicando o seu ciclo biológico (Ai *et al.*, 2011). Este é o caso do óxido de titânio (TiO_2), que é reconhecido pela sua biocompatibilidade e osseointegração, contudo possuindo significativa citotoxicidade quando permanece em sua forma manométrica (Heringa *et al.*, 2016).

5. Considerações finais

A interdisciplinaridade configura-se como uma poderosa ferramenta motivadora para os alunos, garantindo melhora do ensino-aprendizado, uma visão contextualizada, desfragmentada e fiel aos fenômenos e tecnologias do cotidiano. Portanto, o constante aperfeiçoamento e adaptação dos professores e da escola são necessários para a promoção de práticas verdadeiramente interdisciplinares. É necessário que os professores saiam da zona de conforto de sua disciplina e dialoguem entre si, para que as práticas pedagógicas interdisciplinares ocorram de forma natural e dinâmica. Além disso, cabe à escola criar um ambiente que favoreça estas conexões e permitam a promoção destas práticas com os alunos.

Apesar das leis educacionais estarem cada vez mais propensas para uma visão interdisciplinar do ensino, focado em uma visão contextualizada e realística da Ciência, muitas vezes os professores se deparam com obstáculos de infraestrutura da escola ou se acomodam em práticas multidisciplinares. Portanto, estudos sobre possibilidades de práticas interdisciplinares em ensino de Ciências são de crucial importância para auxiliar o professor nesta questão. Soma-se a isso, a constante dificuldade de aprendizado e desinteresse dos estudantes do Ensino Médio especificamente com as disciplinas de Física, Química e Biologia.

Neste estudo, foi utilizado o tema de biomateriais como forma de promoção de práticas pedagógicas interdisciplinares nas aulas de Física, Química e Biologia. O tema engloba questões e problemas de características médicas, envolvendo conceitos básicos das três disciplinas. As práticas interdisciplinares podem ser trabalhadas ao se analisar os problemas específicos de forma integrada e articulada, como é o caso da tribo corrosão (corrosão + desgaste), do efeito *stress shielding* (blindagem óssea) e da adsorção de proteínas (interação celular). O professor pode utilizar de visitas técnicas, promover debates ou pesquisas de campo (em hospitais, clínicas particulares e postos de saúde), de forma a fixar os conhecimentos e elaborar projetos integradores. Portanto, o tema de biomateriais pode ser agradável aos alunos, recorrendo a um assunto presente no cotidiano, como o uso de aparelhos ortodônticos e ortopédicos, *piercings* e tatuagens, além de próteses de silicone, por exemplo.

Agradecimentos

O autor agradece ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de São Paulo (IFSP) pelo apoio dado na escrita do artigo.

Referências

- AI, J. et al. Nanotoxicology and nanoparticle safety in biomedical designs. **International Journal of Nanomedicine**, v. 6, p. 1117-1127, 2011.
- ARAÚJO, M. S. T.; MORAES, J. U. P. **O ensino de Física e o enfoque CTSA**. São Paulo (SP): Livraria da Física, 2012. 168.
- BANERJEE, D.; WILLIAMS, J. C. Perspectives on Titanium Science and Technology. **Acta Materialia**, v. 61, n. 3, p. 844-879, 2013.
- BLACK, J. **Biological Performance of Materials**. 4th. Boca Raton: CRC Press, 2006. 520.
- BRANDÃO, R. V.; ARAÚJO, I. S.; VEIT, E. A. A modelagem científica de fenômenos físicos e o ensino de Física. **Física na Escola**, v. 9, n. 1, p. 10-14, 2008.
- BRASIL. **Lei n. 9394, 20 de dezembro de 1996 - Estabelece as diretrizes e bases da educação nacional 1996**.

- _____. **Parâmetros Curriculares Nacionais**. Brasília (DF): Ministério da Educação 1998.
- _____. **PCN+ Ensino Médio: Orientações educacionais complementares aos Parâmetros Curriculares Nacionais - ciências da natureza, matemática e suas tecnologias**. Brasília (DF): Ministério da Educação 2002.
- _____. **Resolução CEB n. 4, de 13 de julho de 2010 - Define as Diretrizes Curriculares Nacionais Gerais para a Educação Básica**. Brasília (DF): D.O.U. de 14/07/2010: 824-824 p. 2010.
- _____. **Parecer CNE/CEB n. 2, de 30 de janeiro de 2012 - Define as Diretrizes Curriculares Nacionais para o Ensino Médio**. Brasília (DF) 2012.
- _____. **Lei n. 13005, de 25 de junho de 2014 - Aprova o Plano Nacional de Educação (PNE) e dá outras providências**. Brasília (DF): D.O.U. de 26/06/2014: 1-1 p. 2014a.
- _____. **Programa Ensino Médio Inovador: Documento orientador**. BÁSICA, S. D. E.: Ministério da Educação 2014b.
- CAI, K. et al. Surface functionalized titanium thin films: zeta-potential, protein adsorption and cell proliferation. **Colloids and Surfaces B: Biointerfaces**, v. 50, n. 1, p. 1-8, Jun 1 2006.
- CALLISTER, W. D.; RETHWISCH, D. G. **Ciência e Engenharia de Materiais: uma introdução**. 9ª. São Paulo (SP): LTC, 2016.
- CHEN, Q.; THOUAS, G. A. Metallic implant biomaterials. **Materials Science and Engineering R**, v. 87, p. 1-57, 2015.
- CHEVALIER, J.; GREMILLARD, L. Ceramics for medical applications: a picture of the next 20 years. **Journal European of Ceramic Society**, v. 29, p. 1245-1255, 2008.
- CHU, P. K. Surface engineering and modification of biomaterials. **Thin Solid Films**, v. 528, p. 93-105, 2013.
- CORDEIRO, J. M.; BARÃO, V. A. R. Is there scientific evidence favoring the substitution of commercially pure titanium with titanium alloys for the manufacture of dental implants? **Materials Science and Engineering: C**, 2016.
- FAZENDA, I. C. A. **Interdisciplinaridade: um projeto em parceria**. São Paulo: Loyola, 1991.
- _____. **Integração e interdisciplinaridade no ensino brasileiro: efetividade ou ideologia?** 5. São Paulo: Loyola, 2002.
- _____. **Interdisciplinaridade: História, teoria e pesquisa**. 11. São Paulo: Papirus, 2003.
- _____. **O que é interdisciplinaridade?** São Paulo: Cortez, 2008.
- HANAWA, T. A comprehensive review of techniques for biofunctionalization of titanium. **Journal of Periodontal & Implant Science**, v. 41, p. 263-272, 2011.
- HARTMANN, A. M. **Desafios e possibilidades da interdisciplinaridade no Ensino Médio**. 2007. 229 (Mestre em Educação). Faculdade de Educação, Universidade de Brasília, Brasília.
- HERINGA, M. B. et al. Risk assessment of titanium dioxide nanoparticles via oral exposure, including toxicokinetic considerations. **Nanotoxicology**, v. 10, n. 10, p. 1515-1525, 2016.
- KIRMANIDOU, Y. et al. New Ti-Alloys and Surface Modifications to Improve the Mechanical Properties and the Biological Response to Orthopedic and Dental Implants: A Review. **Biomedical Research International**, v. 2016, p. 2908570, 2016.
- LONG, M.; RACK, H. J. Titanium alloys in total joint replacement - a materials science perspective. **Biomaterials**, v. 19, p. 1621-1639, 1998.
- MOZENA, E. R.; OSTERMANN, F. Uma revisão bibliográfica sobre a interdisciplinaridade no ensino das Ciências da natureza. **Revista Ensaio**, v. 16, n. 2, p. 185-206, 2014.
- _____. A interdisciplinaridade na legislação educacional, no discurso acadêmico e na prática escolar do Ensino Médio: panaceia ou falácia educacional? **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 33, n. 1, p. 92-110, 2016.
- NAVARRO, M. et al. Biomaterials in orthopaedics. **Journal of Research Society: Interface**, v. 5, n. 27, p. 1137-58, Oct 6 2008.

- NEVES, M. C. D. A história da ciência no ensino de Física. **Ciência e Educação**, v. 5, n. 1, p. 73-81, 1998.
- NIINOMI, M. et al. Biomedical titanium alloys with Young's moduli close to that of cortical bone. **Regenerative Biomaterials**, p. rbw016, 2016.
- NIINOMI, M.; NAKAI, M.; HIEDA, J. Development of new metallic alloys for biomedical applications. **Acta Biomaterialia**, v. 8, n. 11, p. 3888-903, Nov 2012.
- OHKUBO, C.; HANATANI, S.; HOSOI, T. Present status of titanium removable dentures--a review of the literature. **Journal of Oral Rehabilitation**, v. 35, n. 9, p. 706-14, Sep 2008.
- PICONI, C.; MACCAURO, G. Zirconia as a ceramic biomaterial. **Biomaterials**, v. 20, n. 1, p. 1-25, 1999.
- RANGEL, F. D. O.; SANTOS, L. S. F.; RIBEIRO, C. E. Ensino de Física mediado por tecnologias digitais de informação e comunicação e a literacia científica. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 29, n. 1, p. 651-677, 2012.
- RATNER, B. D. et al. **Biomaterials Science: an introduction to materials in medicine**. San Diego (CA), USA: Academic Press, 1996. 497.
- ROACH, P. et al. Modern biomaterials: a review - bulk properties and implications of surface modifications. **Journal of Materials Science: Materials in Medicine**, v. 18, n. 7, p. 1263-77, Jul 2007. I
- SALERNITANO, E.; MIGLIARESI, C. Composite materials for biomedical applications: a review. **Journal of Applied Biomaterials & Biomechanics**, v. 1, n. 1, p. 3-18, 2003.
- SOUSA, R. S. A Física no dia a dia: materialização da interdisciplinaridade no ensino médio. **Compartilhando Saberes**, n. Dez-Jul, p. 76-91, 2016.
- SOUZA, J. C. M. et al. Wear and Corrosion Interactions on Titanium in Oral Environment: Literature Review. **Journal of Bio- and Tribo-Corrosion**, v. 1, n. 2, 2015.
- TEO, A. J. T. et al. Polymeric biomaterials for medical implants and devices. **ACS Biomaterials Science & Engineering**, v. 2, n. 4, p. 454-472, 2016.
- VARNIER, T.; ALMEIDA, F. Q.; GOMES, I. O papel da experimentação no ensino da Física. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 21, n. Especial, p. 31-43, 2004.
- WILLIAMS, D. F. On the mechanisms of biocompatibility. **Biomaterials**, v. 29, n. 20, p. 2941-53, Jul 2008.