



CIÊNCIAS EXATAS E DA TERRA

Nanotecnologia e polímeros: revisão dos temas visando a abordagem em aulas de Química*Nanotechnology and polymers: review of themes for chemistry classes*Denise Leal de Castro¹, Maxwell de Paula Cavalcante²,
Maria Clara Guimarães Pedrosa³**RESUMO**

Este trabalho é uma revisão sobre o tema nanotecnologia e polímeros, com o objetivo de fornecer informações atrativas e relevantes que servem como subsídios para aulas de ciências e, em especial de Química. A Nanotecnologia é uma ciência de caráter multidisciplinar, assim possibilita uma abordagem integrada na formação dos jovens alunos do Ensino Médio, porém a natureza e as características desse "mundo nano", não são comumente discutidas em sala de aula. Apesar de a Nanotecnologia possuir suas particularidades e conceitos, é possível a utilização desse tema para ensinar os conceitos de Química como, por exemplo, forças intermoleculares. Polímeros são macromoléculas constituídas por muitas unidades químicas repetidas ao longo da cadeia, que são ligadas covalentemente, chamadas meros, e estão presentes em muitas substâncias usadas no cotidiano, principalmente nos plásticos. Segundo relatos, é possível mostrar que o tema nanotecnologia, apesar de ter um apelo contemporâneo, é um conhecimento utilizado pela humanidade desde 4000 anos antes de Cristo. Este tema é bastante promissor em possibilidades para o ensino de temas relacionados à química orgânica entre outros. O presente trabalho apresenta uma breve sugestão de utilização do tópico forças intermoleculares, em aulas de Química, utilizando como tema gerador os nanocompósitos poliméricos, visto que, para o preparo desses materiais, é necessário que haja uma boa compatibilidade entre a nanopartícula e a matriz polimérica.

Palavras-chave: Polímeros; nanotecnologia; forças intermoleculares; ensino de Química.

ABSTRACT

This work is a review on the topic nanotechnology and polymers, with the aim of providing attractive and relevant information that serve as subsidies for science classes, and especially Chemistry. Nanotechnology is a science of multidisciplinary character, thus, it makes possible an integrated approach in the training of young high school students, but the nature and characteristics of this "nanoworld" are not usually discussed in the classroom. Although Nanotechnology has its particularities and concepts, it is possible to use this theme to teach the concepts of Chemistry, such as intermolecular forces. Polymers are macromolecules made up of many chemical units that are repeated along the chain and are covalently bound, called moles, and are present in many substances used in everyday life, especially plastics. According to reports, it is possible to show that the topic nanotechnology, despite having a contemporary appeal, is a knowledge used by humanity since 4000 years before Christ. This topic is very promising in possibilities for teaching topics related to organic chemistry, among others. The present work presents a brief suggestion of the use of the topic intermolecular forces in chemistry classes, using the topic of polymer nanocomposites as the generator

¹ Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia do Rio de Janeiro - IFRJ, Rio de Janeiro/RJ - Brasil. E-mail: denise.castro@ifrj.edu.br

² Universidade Federal do Rio de Janeiro - UFRJ, Rio de Janeiro/RJ - Brasil. E-mail: maxdpc@gmail.com

³ Universidade Federal do Rio de Janeiro - UFRJ, Rio de Janeiro/RJ - Brasil. E-mail: mccgpedrosa@yahoo.com.br



theme, since in the preparation of these materials it is necessary that there is a good compatibility between the nanoparticle and the polymer matrix.

Keywords: *Polymers; nanotechnology; intermolecular forces; chemistry teaching.*

1. INTRODUÇÃO

Embora a Nanotecnologia seja uma área interdisciplinar, e com grande potencial para ser trabalhada no ensino de Química, ainda é pouco utilizada pelos professores no Ensino Básico. O tema possui muitas particularidades e conceitos, sendo possível a utilização para ensinar conceitos de Química como, por exemplo, forças intermoleculares. Nesse sentido, o presente artigo aponta alguns conceitos básicos sobre Nanotecnologia e uma proposta de abordagem com o objetivo de fornecer subsídios em aulas de Química e Ciências, além de possibilitar debates de temas associados.

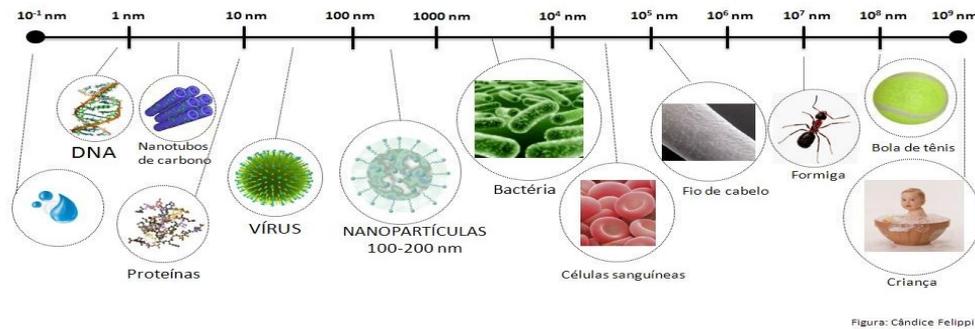
2. ALGUNS CONCEITOS SOBRE NANOTECNOLOGIA

A Nanociência é o ramo da ciência que estuda os materiais nanoparticulados e suas propriedades, enquanto a Nanotecnologia é a aplicação da Nanociência para a produção de tecnologias. (SILVA; VIANA; MOHALLEM, 2009). O prefixo nano tem origem grega e significa "anão". É um termo utilizado em qualquer unidade de medida, significando um bilionésimo dessa unidade. (BOOKER; BOYSEN, 2005). A evolução da Nanotecnologia tem possibilitado a produção de inúmeros produtos utilizados em nossa vida cotidiana, porém, muitas vezes, a população não possui essa informação. Ainda que a área esteja em contínuo desenvolvimento desde a sua descoberta, a maior parte da população desconhece essa ciência e como ela influencia nosso cotidiano. Nesse contexto, muitos produtos baseados em nanocompósitos poliméricos já são comercializados, visando a substituição de materiais convencionais, por apresentarem um melhor desempenho.

Nano é um termo utilizado em qualquer unidade de medida, significando um bilionésimo dessa unidade. (BOOKER; BOYSEN, 2005). A título de exemplo, um nanômetro equivale a um bilionésimo de um metro (10^{-9} m). Dessa forma, a Nanociência é a ciência que estuda os materiais estruturados em escala nanométrica onde pelo menos uma das suas dimensões encontra-se entre 0,1 e 100 nm, e suas respectivas propriedades cujos processos de manipulação, síntese e caracterização são partes fundamentais para esses estudos. A Nanotecnologia é a aplicação da Nanociência para fins de produção de artefatos tecnológicos. (BOOKER; BOYSEN, 2005; DURÁN; MATTOSO; MORAIS, 2006; SILVA; VIANA; MOHALLEM, 2009; MARCONE, 2015). Para que um material seja considerado nanotecnológico é necessário que apresente propriedades particulares associadas à escala nano (RÓZ *et al.*, 2015). Na Figura 1, pode-se observar a comparação entre diferentes estruturas e seus respectivos tamanhos analisados em nanômetros.



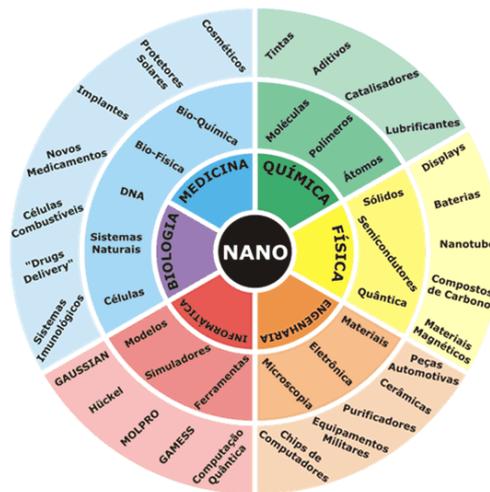
Figura 1 - Comparação entre o tamanho de diversas estruturas.



Fonte: Disponível em: <<http://entendendocosmetologia.blogspot.com.br/2012/11/esmaltes-e-Nanotecnologia-produtos.html>>. Acesso em: 18 nov. 2016.

A Nanotecnologia é uma ciência de caráter interdisciplinar que se utiliza de conhecimentos da Química, Física, Biologia, Matemática, Engenharias entre outros ramos da ciência, como pode ser verificado na Figura 2. Profissionais das mais diversas áreas têm trabalhado em conjunto para desenvolver materiais, determinar aplicações, viabilizar a produção, contribuindo assim para o desenvolvimento deste novo campo de pesquisa. Pode-se dizer que a Nanotecnologia tem construído seu alicerce para o desenvolvimento a partir de outras áreas do conhecimento. (BOOKER; BOYSEN, 2005; MARCONE, 2015).

Figura 2 - Representação da interdisciplinaridade entre a Nanotecnologia e muitas outras áreas do conhecimento.



Fonte: Disponível em: <http://nanotech.ica.ele.puc-rio.br/nano_introducao.asp>. Acesso em: 18 nov. 2016.

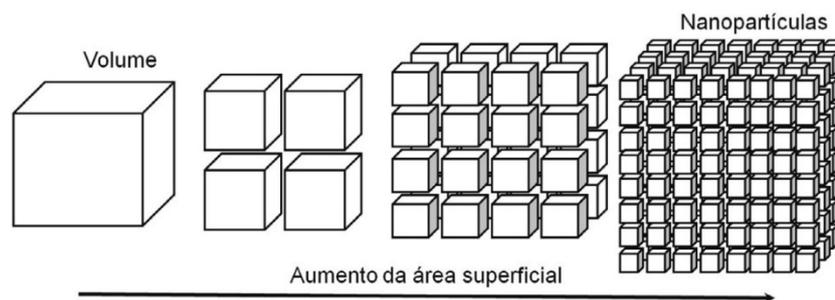
Existem duas formas de fabricação de nanomateriais: as técnicas *bottom-up* e *top-down*. No método *bottom-up* (de baixo para cima), a produção de um material baseia-se na manipulação de componentes mais básicos como átomos e moléculas, no qual, sob condições específicas, os átomos e as moléculas se organizam espontaneamente de modo a atingirem maior estabilidade. Esse processo é também conhecido como *self-assembly* (automontagem). Pode-se tecer uma analogia a uma criança que, utilizando simples peças de lego, obtém estruturas mais complexas ao final da montagem. Já com o método *top-down* (de cima para baixo) é possível a obtenção de nanoestruturas tendo como material de partida estruturas macroscópicas. Como, por exemplo, um



escultor cortando um bloco de mármore, primeiro trabalhando em grande escala até atingir escalas menores. (BOOKER; BOYSEN, 2005; DURÁN; MATTOSO; MORAIS, 2006; SILVA; VIANA; MOHALLEM, 2009; MARCONE, 2015; RÓZ *et al.*, 2015).

As nanopartículas exibem comportamentos diferenciados quando comparados a partículas de tamanhos maiores. Uma das mais importantes propriedades exibidas é a elevada área superficial, por isso esses materiais são mais reativos e de grande atividade catalítica, como pode ser observado na Figura 3. Isto é uma vantagem do ponto de vista tecnológico, pois esse aumento na reatividade pode permitir uma redução na temperatura de processamento, gerando economia nos gastos com energia. (DURÁN; MATTOSO; MORAIS, 2006; SILVA; VIANA; MOHALLEM, 2009). Conforme as dimensões das partículas diminuem, há alteração nos efeitos predominantes como, por exemplo, em nanopartículas onde há predominância da força eletrostática e van der Waals, movimento *browniano* e mecânica quântica. (DURÁN, MORAIS, MATTOSO, 2006; RÓZ *et al.*, 2015).

Figura 3 - Aumento da área superficial provocado pela redução de tamanho.



Fonte: (RÓZ *et al.*, 2015).

A morfologia e o tamanho das nanopartículas são capazes de alterar a cor, já que alteram as propriedades óticas associadas aos fenômenos de reflexão, refração, absorção e emissão. (DURÁN, MORAIS, MATTOSO, 2006; RÓZ *et al.*, 2015). Isto ocorre porque as configurações eletrônicas em nanopartículas são distintas em relação às partículas em escala macroscópica. Assim, nanopartículas em diferentes tamanhos são capazes de espalhar ondas de luz com comprimentos distintos, apresentando então diferentes cores. Outro aspecto importante a ser ressaltado é que a alteração nas configurações eletrônicas das nanopartículas também provocam mudanças no comportamento magnético desses materiais. (RÓZ *et al.*, 2015).

3. UM BREVE HISTÓRICO SOBRE O DESENVOLVIMENTO DA NANOTECNOLOGIA

Apesar de muitas pessoas pensarem que a manipulação de materiais em escala nanométrica é uma atividade recente, a Nanotecnologia está presente nas atividades humanas há milhares de anos. Os egípcios, em aproximadamente 4000 anos antes de Cristo, século V a.C., costumavam utilizar um elixir conhecido como "elixir da longa vida", pois acreditavam que este era capaz de estimular a mente e recuperar a juventude. Este elixir era composto de partículas de ouro em suspensão cujo tamanho se encontrava na faixa entre 1 e 100 nm. (FERREIRA; RANGEL, 2009; JUNQUEIRA; SILVA; GUERRA, 2012). Os chineses utilizavam nanopartículas de carvão para a produção de tinta nanquim. (FERREIRA; RANGEL, 2009; MARTINS; TRINDADE, 2012).



Um antigo artefato relatado que utiliza nanopartículas é o cálice de Lycurgus (Figura 4), sendo este constituído por nanopartículas metálicas de prata e ouro. Este famoso cálice é datado do século IV d.C, do período romano, e exibe propriedades óticas bastante interessantes, pois de acordo com o ângulo de incidência da luz o material exibe uma coloração diferenciada. A peça exibe uma coloração verde, como resultado da reflexão da luz pela superfície do cálice e uma coloração vermelha, quando a luz é transmitida através do vidro. Este efeito ocorre por conta da presença das nanopartículas de prata e ouro dispersas em uma matriz vítrea, dando origem a um vidro dicróico. (FERREIRA; RANGEL, 2009; MARTINS; TRINDADE, 2012). As misturas do tipo nanopartícula e vidro, também eram utilizadas na Europa para colorir os vitrais das igrejas medievais, sendo o ouro a nanopartícula comumente utilizada. (FERREIRA; RANGEL, 2009).

Figura 4 - Imagens do cálice de Lycurgus. À esquerda o cálice está em condições ambientais de iluminação (verde) e na imagem à direita foi iluminado por dentro (vermelho).



Fonte: Disponível em: <<http://g1.globo.com/ciencia-e-saude/noticia/2013/08/taca-de-1600-anos-que-muda-de-cor-ja-usava-principios-de-Nanotecnologia.html>>. Acesso em: 12 de nov. 2016.

Ainda que a manipulação em escala nanométrica não fosse de fato possível por motivos de falta de conhecimento e equipamentos, a Nanotecnologia era praticada há séculos, mesmo que de forma indireta. Os nanomateriais têm sido usados em atividades humanas desde quando argilas eram utilizadas para a produção de utensílios ou quando partículas finamente divididas eram adicionadas a vidros para a obtenção de variados utensílios coloridos. (DURÁN; MATTOSO; MORAIS, 2006). As argilas são constituídas por aluminossilicatos hidratados, provenientes da alteração dos silicatos presentes nas rochas. Esses materiais se estruturam em forma de lamelas agrupadas, onde cada uma destas apresenta espessura na ordem de 1 nm. (PAUL; ROBESON, 2008).

Em 29 de dezembro de 1959, Richard Feynman proferiu uma palestra intitulada *There's Plenty of Room at the Bottom* ("Há mais espaços lá embaixo"), na reunião anual da Sociedade Americana de Física que acontecia no Instituto de Tecnologia da Califórnia (Caltech) em que expôs que não havia motivos físicos que fossem empecilho para a fabricação de dispositivos utilizando a manipulação dos átomos individuais. (DURÁN; MATTOSO; MORAIS, 2006; JOACHIM; PLÉVERT, 2009; MARTINS; TRINDADE, 2012). Feynman revelou ser possível que as páginas dos 24 volumes da Enciclopédia Britânica fossem condensadas na cabeça de um alfinete. (VOGT, 2002). Além disso, fez prognósticos acerca do desenvolvimento de microscópios com resolução a nível atômico e da miniaturização de dispositivos de armazenamento de informações. (MARTINS; TRINDADE, 2012). Atualmente esse discurso é considerado um marco para o nascimento da Nanotecnologia, ainda que este termo não tenha sido utilizado na palestra. Richard Feynman é consagrado o pai da



Nanotecnologia, pois os físicos teriam iniciado suas explorações do mundo “lá em baixo” a partir de sua palestra. (JOACHIM; PLÉVERT, 2009).

Por que não podemos escrever os 24 volumes inteiros da Enciclopédia Britânica na cabeça de um alfinete? (...) Tudo o que se precisa fazer é reduzir 25.000 vezes em tamanho todo o texto da Enciclopédia. (...) Como escreveremos isso? Não temos nenhuma técnica padrão para fazê-lo agora. Mas deixem-me argumentar que não é tão difícil como pode parecer à primeira vista. (FEYNMAN, 1959, p.1)⁴.

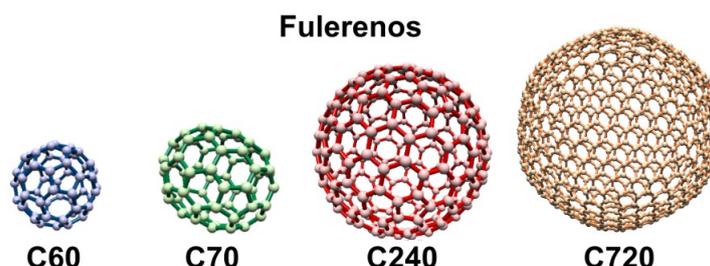
Entretanto, há uma vertente de pesquisadores que afirma que o discurso de Feynman não influenciou a comunidade científica que estava presente naquele evento. Joachim e Plévert (2009) asseguram que as afirmações feitas naquela noite não causaram impacto nos anos subsequentes e logo caíram no esquecimento. Os autores reiteram que, ao interrogar os criadores do microscópio de tunelamento e o primeiro pesquisador a escrever com átomos individuais, ambos responderam que não haviam sido influenciados de maneira alguma, pois não conheciam o discurso de Feynman. O discurso só ganhou repercussão por volta dos anos 90, quando Eric Drelex o teria utilizado para embasar suas ideias. (JOACHIM; PLÉVERT, 2009).

O termo Nanotecnologia surgiu no ano de 1974, quando Norio Taniguchi, um pesquisador da Universidade de Tóquio, utilizou o termo para fazer a diferenciação entre a manipulação em escala micrométrica e o desenvolvimento e manipulação de materiais em escala nanométrica. (DURÁN; MATTOSO; MORAIS, 2006; ABDI, 2010).

Os maiores avanços na área da Nanotecnologia aconteceram a partir da década de 80 com a criação do microscópio de varredura por tunelamento, *Scanning Tunelling Microscope* (STM), por Gerd Binnig e Henrich Röhrer, pesquisadores do IBM em Zurique. Este equipamento foi utilizado para estudar a superfície dos materiais a uma distância em escala atômica entre a sonda e a superfície do material. (ABDI, 2010; MARTINS; TRINDADE, 2012). Por vezes, a sonda também era capaz de alterar a posição dos átomos presentes na superfície das amostras estudadas, demonstrando a possibilidade do rearranjo de átomos. (FERNANDES, 2007).

No ano de 1986, uma forma alotrópica do carbono foi descoberta, sendo chamada de fulereno (Figura 5), em que os átomos estão dispostos em formato semelhante a uma bola de futebol, por Harold Kroto, Richard Smalley e Robert Curl da Universidade de Rice. Essa descoberta propiciou a descoberta de outra forma alotrópica, os nanotubos de carbono, estruturas cilíndricas de alta resistência, por Sumio Iijima em 1991. (FERNANDES, 2007; ABDI, 2010).

Figura 5 - Tipos de fulerenos já descobertos, sendo o C60 e C70 os mais abundantes.



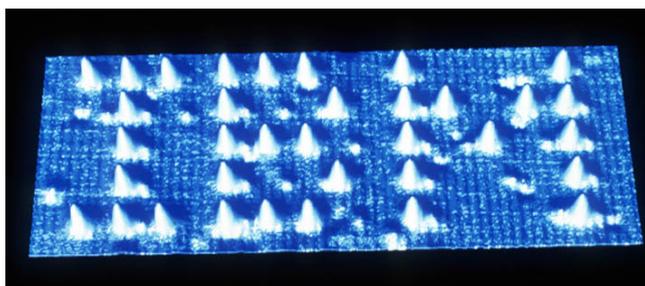
Fonte: (PEDROSA, 2016).

⁴ Citação de um trecho do discurso de Richard Feynman, cuja tradução encontra-se disponível em: <<http://www.comciencia.br/dossies-1-72/reportagens/nanotecnologia/nano19.htm>>. Acesso em: 01 out. 2018.



No fim do ano de 1989, o pesquisador Donald Eigler do IBM conseguiu manipular 35 átomos de xenônio para escrever a sigla "IBM" (Figura 6) utilizando o microscópio de varredura por tunelamento. Essa imagem foi capaz de impactar a sociedade científica e marcou o início da Nanotecnologia. Eigler, já com a técnica aprimorada, conseguiu fazer diversos desenhos com átomos metálicos ou até mesmo com algumas moléculas pequenas. Até meados de 1990, nenhum laboratório era capaz de reproduzir o experimento, pois não possuíam um microscópio tão estável quanto o de Donald Eigler. (JOACHIM; PLÉVERT, 2009; MARTINS; TRINDADE, 2012).

Figura 6 - Logo do IBM escrito com 35 átomos de xenônio em substrato de cobre utilizando o microscópio de varredura por sonda.



Fonte: Disponível em: <http://www-03.ibm.com/ibm/history/exhibits/vintage/vintage_4506VV1003.html>.
Acesso em: 15 de nov. 2016.

A partir desses acontecimentos, a Nanotecnologia atraiu o interesse de diversos pesquisadores e setores produtivos de diferentes áreas contribuindo para o seu rápido desenvolvimento. Apesar do seu desenvolvimento, muito pouco se conhece sobre os reais riscos e danos que a Nanotecnologia possa causar aos seres humanos e ao meio ambiente.

4. NANOCOMPÓSITOS, OS MATERIAIS DO PRESENTE E FUTURO

Um material compósito é formado por dois ou mais materiais distintos, sendo eles de origem polimérica, cerâmica ou metálica que, quando misturados, formam um material híbrido que apresenta propriedades físicas, químicas e mecânicas diferentes dos materiais de partida. O objetivo da produção de um compósito é agregar as melhores propriedades dos materiais individuais para a formação de um material mais complexo. (CUPERTINO, 2009; RIBEIRO; MALHEIRO, 2011).

Os compósitos são constituídos por duas partes principais, a matriz e a carga. A matriz é o componente que geralmente está presente em maior quantidade, fase contínua, e confere a estrutura do material. As cargas são os materiais que são inseridos na matriz, podendo conferir a melhoria nas propriedades físico-químicas e mecânicas dos compósitos quando há uma boa interação química com a matriz. Além de possuir uma boa interação com a matriz, é importante que a carga esteja bem dispersa e bem distribuída para que haja uma melhoria significativa nas propriedades da matriz. (CUPERTINO, 2009; RIBEIRO; MALHEIRO, 2011). As cargas utilizadas para a produção de compósitos geralmente são da ordem de micrômetros.

Existem compósitos de origem natural como a madeira, que é o resultado da combinação de fibras de celulose e hemicelulose unidas por lignina. Os ossos também são compósitos naturais de estruturas de hidroxiapatita e colágeno. (RIBEIRO; MALHEIRO, 2011). Do ponto de vista histórico, há relatos de uso de compósitos na Bíblia, para a produção de tijolos mais primitivos que deram

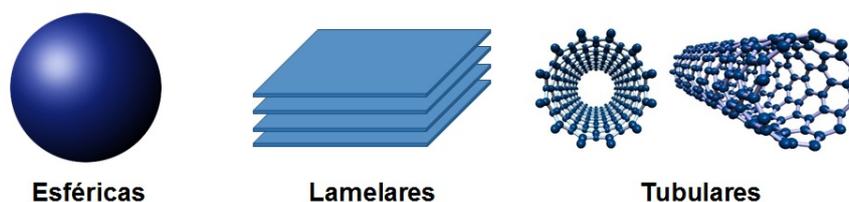


origem aos tijolos de barro utilizados atualmente. Esta referência se encontra no livro de Êxodo onde narra: “Não deveis ajuntar palha para dar ao povo para fazerem tijolos, como anteriormente. Que eles mesmos vão e ajuntem palha para si. Ademais, tereis de impor-lhes, além disso, a quantidade exigida de tijolos que faziam anteriormente” (Êxodo 5:7,8). (RIBEIRO; MALHEIRO, 2011).

Novos materiais híbridos têm sido produzidos com a adição de cargas em escala nanométrica em diferentes matrizes, sendo conhecidos como nanocompósitos. Os nanocompósitos são materiais formados por matriz e carga, assim como nos compósitos, porém as cargas são nanopartículas onde ao menos uma das dimensões está na ordem de grandeza entre 1 e 100 nanômetros. (ESTEVES; BARROS-TIMMONS; TRINDADE, 2004; PAUL; ROBESON, 2008; CUPERTINO, 2009). O fato das nanopartículas possuírem uma elevada área superficial faz com que haja uma maior interação e dispersão entre a matriz e a carga. Desta forma, uma pequena quantidade de carga é suficiente para alterar de forma significativa as propriedades das matrizes utilizadas. (ESTEVES; BARROS-TIMMONS; TRINDADE, 2004; CUPERTINO, 2009).

As partículas utilizadas na produção de compósitos ou nanocompósitos possuem três formas básicas: esféricas, lamelares e tubulares. (CUPERTINO, 2009). Exemplos práticos desses formatos são respectivamente sílica, argilas e nanotubos de carbono que podem ser observados na Figura 7. Cada tipo de nanopartícula possui propriedades particulares e que são de interesse para diferentes aplicações. Por exemplo, as partículas esféricas de dióxido de titânio têm despertado bastante interesse na sua utilização em protetores solares. (SMIJS; PAVEL, 2011), os nanotubos de carbono tem sido estudados visando melhorias em propriedades mecânicas e condutoras. (SPITALSKY *et al.*, 2010), ao passo que argilas têm sido utilizadas para o desenvolvimento de sistemas de liberação controlada de fármacos. (RIELA; FAKHRULLIN, 2017).

Figura 7 - Formatos das nanopartículas.



Fonte: Autor/as.

No que tange às matrizes, as poliméricas são bastante utilizadas devido a uma maior versatilidade nos processos de fabricação de bens de consumo, uma maior durabilidade e aos baixos custos envolvidos. (CUPERTINO, 2009; FECHINE, 2013). A produção de nanocompósitos, utilizando como matriz polímeros, tem como objetivo melhorar as propriedades dos materiais já comercializados ou o desenvolvimento de novos produtos utilizando polímeros que sejam ambientalmente amigáveis.

Os nanocompósitos poliméricos têm exibido crescente aplicação na indústria de automóvel pelo fato de proporcionarem maior resistência mecânica e dureza, com a vantagem adicional de serem moldáveis e leves e de terem características retardantes a chamas, sendo excelentes substitutos a componentes mais pesados de origem metálica. (TOMA, 2005; PEREIRA, HONÓRIO; SANNOMIYA, 2010).



A adição de nanopartículas de argila em matrizes poliméricas também têm se mostrado promissora na indústria de embalagens alimentícias, pois apresenta elevada propriedade de barreira a gases, podendo conservar os alimentos por mais tempo. (TOMA, 2005).

4.1. O QUE SÃO POLÍMEROS?

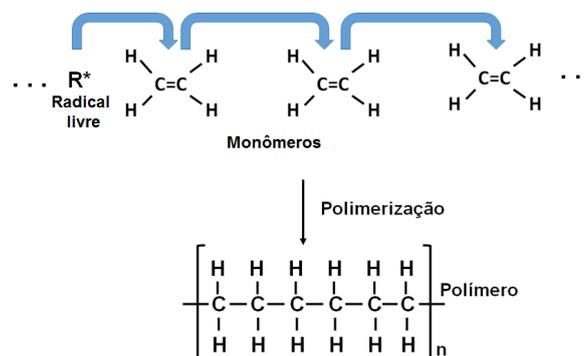
Em âmbito industrial, pode-se considerar que a sociedade vive na era dos plásticos. O alto consumo está relacionado a uma grande versatilidade nos processos de fabricação de bens de consumo, uma maior durabilidade e baixos custos envolvidos. O principal problema no seu uso é a geração de resíduos sólidos urbanos, muitos desses descartados inadequadamente no meio ambiente. (FRANCHETTI; MARCONATO, 2006; FECHINE, 2013).

Os polímeros já estão presentes no cotidiano humano há bastante tempo, mesmo antes de serem "descobertos". Proteínas, polissacarídeos e até mesmo o próprio ácido desoxirribonucleico (DNA), são polímeros naturais presentes em nossos corpos, sendo estes indispensáveis para o funcionamento do nosso organismo. (WAN; GALEMBECK; GALEMBECK, 2001). Outro material antigo bastante utilizado é a borracha natural empregada na fabricação de bolas utilizadas para o lazer de índios americanos. Este polímero já era utilizado antes da chegada de Cristóvão Colombo à América. (PAOLI, 2001).

Polímeros são macromoléculas constituídas por muitas unidades químicas repetidas ao longo da cadeia ligadas covalentemente, chamadas meros. O monômero é a matéria prima para a produção de um polímero. Essas macromoléculas são caracterizadas por seu tamanho, estrutura química e interações intramoleculares e intermoleculares. (MANO; MENDES, 2004; CANEVAROLO JÚNIOR, 2006). Na figura 8 está representado o esquema da reação de polimerização por adição do polietileno.

Os polímeros podem ser de origem natural ou sintética. Os polímeros naturais são aqueles que são encontrados na natureza como, por exemplo, proteínas, polissacarídeos, ácidos nucleicos, amido, látex e algodão. Já os polímeros sintéticos são derivados de combustíveis fósseis, como o petróleo. São exemplos o poliestireno, o náilon, o polietileno, o polipropileno e o poli(tereftalato de etileno). (MANO; MENDES, 2004).

Figura 8 - Reação de polimerização para formação do polietileno.



Fonte: Autor/as.

Os polímeros utilizados industrialmente são majoritariamente de origem sintética, estes são bastante resistentes e após seu descarte, permanecem por muitos anos quimicamente e



fisicamente inalterados, por serem estáveis frente à absorção de radiação ultravioleta e à degradação enzimática causada por microorganismos (FECHINE, 2013). Os polímeros mais utilizados no cotidiano são: polietileno (PE), polipropileno (PP), poliestireno (PS), poli(tereftalato de etileno) (PET) e poli(cloreto de vinila) (PVC) (LANDIM et al., 2016). Apesar dos inúmeros benefícios da utilização desses materiais, há alguns problemas associados à relação de produção e consumo, pois as matérias-primas para a produção desses materiais são de fonte não renovável (petróleo) gerando problemas para o seu descarte.

Diante desses problemas, há um número elevado de pesquisas no sentido de tentar minimizar os malefícios provocados pelo descarte inadequado desses materiais. Nesse sentido, tem-se estudado a possibilidade de substituição desses polímeros por polímeros biodegradáveis. Estes polímeros, de origem natural ou sintética, sofrem degradação por meio de ação enzimática produzida por microorganismos, bem como podem ser degradados por processos não enzimáticos, como a hidrólise e a fotólise. (FECHINE, 2013). A utilização dos polímeros biodegradáveis, apesar de ser uma melhor alternativa ambiental, apresentam algumas limitações técnicas, além de não serem economicamente viáveis. (FRANCHETTI; MARCONATO, 2006; FECHINE, 2013).

Nesse sentido, os polímeros biodegradáveis têm sido escopo de diversas pesquisas, visando melhorar suas limitações técnicas como, por exemplo, suas propriedades mecânicas e térmicas. Diversos estudos propõem a utilização de blendas, compósitos, nanocompósitos poliméricos, visando à melhoria de propriedades como a resistência térmica, a processabilidade, a permeabilidade a gases, a taxa de degradação e propriedades mecânicas e reológicas (BRITO *et al.*, 2011). Dentre as alternativas citadas, os nanocompósitos poliméricos vêm alcançando maior destaque na produção de patentes, pois a crescente evolução da Nanotecnologia vem revolucionando a ciência. Borschiver e colaboradores (2005) relatam a produção de novos materiais poliméricos nanoestruturados que exibem propriedades muito superiores aos materiais convencionais já existentes.

5. NANOTECNOLOGIA E SOCIEDADE: EM BUSCA DE AVANÇOS NO BEM-ESTAR SOCIAL

A Nanotecnologia tem sido colocada como a tecnologia que tem capacidade para a resolução de todos os problemas sociais atuais. De fato, a Nanotecnologia tem apresentado muitas potencialidades em diversas áreas que podem melhorar a qualidade de vida da sociedade. Acompanhado dos benefícios, a Nanotecnologia traz alguns riscos que ainda não são tão bem compreendidos a curto, médio e longo prazo. É inegável que a Nanotecnologia tem propiciado uma importante revolução tecnológica e que pode resolver muitos problemas, mas também se fazem necessários muitos estudos visando à minimização dos riscos ao ser humano e ao meio ambiente.

A área da saúde tem sido revolucionada pelo advento da Nanotecnologia. Existem muitos estudos voltados para a produção de sistemas controlados de fármacos, diagnósticos, tratamentos in vivo, desenvolvimento de protetores solares e materiais que promovam regeneração tecidual. (FIGUEIRAS; COIMBRA; VEIGA, 2016; CANCINO; MARANGONI; ZUCOLOTTI, 2014). Estes sistemas são bastante promissores pelo fato de apresentarem uma maior eficiência utilizando menores quantidades do que os materiais convencionais como, por exemplo, no caso de sistema de liberação controlada de fármacos, onde o medicamento é liberado no organismo de maneira



mais lenta reduzindo assim a quantidade de vezes em que o paciente precisa ingerir o medicamento.

No ramo da indústria têxtil, o desenvolvimento de tecidos inteligentes, onde muitos possuem nanopartículas. Essa nova classe de tecidos apresenta funções e propriedades bastante úteis para o bem-estar social, tais como: tecidos capazes de liberar perfumes, cremes na pele e/ou medicamentos, repelir sujeira e insetos, ação antimicrobiana, proteção da radiação UV, propriedade retardante da chama, mudança de cor com a variação da temperatura e minimizar ou acabar com o mau odor. (GOMES; COSTA; MOHALLEM, 2016).

A Nanotecnologia também apresenta grandes potencialidades na área ambiental, na descontaminação, tratamento ou remediação da poluição e catálise, aumentando a eficiência produtiva, reduzindo os gastos com energia e a produção de resíduos indesejáveis. As nanopartículas têm sido utilizadas para o tratamento de efluentes industriais, águas e solos contaminados, na fabricação de nanossensores e catalisadores sensíveis à poluição gasosa. A coleta dessas nanopartículas e a subsequente remoção dos poluentes podem ser auxiliados pelo uso de nanopartículas magnéticas e superparamagnéticas. (FARIA *et al.*, 2013).

Apesar de todos os benefícios supracitados, pouco se tem estudado acerca das consequências causadas pela utilização dessas nanopartículas na saúde do ser humano, animais e no meio ambiente. A quantia escassa de estudos sobre a toxicologia desses nanomateriais se dá por ainda não haver metodologias confiáveis para estes tipos de estudos, já que o comportamento em nanoescala é bastante diferente dos observados em micro e macroescala. Vale ressaltar que no Brasil ainda não existem leis ou dispositivos que regulem a produção e utilização dos nanossistemas. (FARIA *et al.*, 2013). Muitos produtos estão chegando à comercialização sem que haja estudos profundos e de longo prazo.

Uma das grandes preocupações envolvendo a utilização de nanopartículas é o tamanho reduzido destas partículas que podem transpor várias regiões do organismo, humano e animal, e se acumularem, causando diversos efeitos tóxicos. (FARIA *et al.*, 2013; CANCINO; MARANGONI; ZUCOLOTTI, 2014). É importante salientar que os nanomateriais podem se tornar contaminantes ambientais em um futuro bem próximo, já que há um elevado interesse pela produção desses tipos de material. Diante disso, muitas perguntas ainda precisam ser respondidas e discutidas como, por exemplo: quais os possíveis modos de dispersão e acúmulo dos nanomateriais no ambiente? Estes materiais podem ser transformados em fatores bióticos e/ou abióticos? Eles interagem com outros contaminantes já presentes no ambiente? Qual é a toxicidade desses materiais frente aos biosistemas? Quais os mecanismos de interação estão envolvidos? (MARTINEZ; ALVES, 2013).

6. NANOTECNOLOGIA NO ENSINO DE CIÊNCIAS: DESAFIOS E PERSPECTIVAS

A Nanociência e Nanotecnologia são áreas de caráter interdisciplinar, o que possibilitam um trabalho integrado no ensino e formação dos jovens alunos do ensino médio. Contudo a natureza e as características desse "mundo nano" geralmente não são discutidas durante as aulas do ensino médio, realidade esta também reportada no trabalho dos russos Markina, Pozharov e Markin (2016). Isso confirma que o avanço tecnológico referente a esta área do conhecimento tem se



desenvolvido de forma exponencial, enquanto a sua contextualização no ensino de Química não tem acompanhado tal desenvolvimento.

Santos e Rosa (2016) afirmam que esse tema é considerado relativamente novo e muito pouco tem se debatido a respeito nas salas de aula. Assim muitos estudantes desconhecem o tema. Por ser uma área de caráter interdisciplinar, a Nanotecnologia possui muitas relações com as áreas das ciências da natureza, principalmente a Química e a Física.

Os Parâmetros Curriculares Nacionais do Ensino Médio, PCNs, trazem orientações acerca das competências e habilidades a serem desenvolvidas em Química, em cujo tópico de contextualização sociocultural, os alunos deverão ser capazes de:

Reconhecer aspectos químicos relevantes na interação individual e coletiva do ser humano com o ambiente; reconhecer o papel da Química no sistema produtivo, industrial e rural; reconhecer as relações entre o desenvolvimento científico e tecnológico da Química e aspectos sócio-político-culturais; reconhecer os limites éticos e morais que podem estar envolvidos no desenvolvimento da Química e da tecnologia. (BRASIL, 2000, p.39).

A Nanotecnologia pode ser inserida para contextualização nas aulas de Química e, dessa forma, atender às orientações supracitadas expressas no PCN, pois o conhecimento científico e as novas tecnologias constituem-se, cada vez mais, em condição para que a pessoa saiba se posicionar frente a processos e inovações que a afetam. (BRASIL, 2013, p.26).

Apesar de a Nanotecnologia possuir suas particularidades e conceitos, é possível que seja utilizado este tema para ensinar os conceitos de Química e Física, por exemplo. Na Química, há uma gama de conceitos que podem ser trabalhados utilizando este tema, desde forças intermoleculares até a influência da superfície de contato nas reações químicas.

Além disso, a Nanotecnologia pode ser utilizada como tema para discussão sobre os aspectos socioculturais, o consumo, aspectos éticos da produção dessas tecnologias, contradições entre o bem-estar científico-tecnológico e os malefícios para a saúde humana e o meio ambiente. (SANTOS; ROSA, 2016). Esse tipo de abordagem possibilita a aprendizagem não só do conhecimento científico puramente, mas que essa construção ocorra de maneira crítica. De acordo com o Currículo Mínimo do Estado do Rio de Janeiro, proposto em 2012, para a disciplina Química é sugerido que sejam trabalhados os conteúdos relacionados à Nanotecnologia, salientando a importância do desenvolvimento da química para o desenvolvimento neste segmento. (RIO DE JANEIRO, 2012, p.10).

As Diretrizes Curriculares Nacionais para Educação Básica também ressaltam a importância do conhecimento das tecnologias, como a Nanotecnologia, para que as pessoas possam emitir opiniões de forma crítica a respeito das mudanças que as englobam e a escola tem papel fundamental em propiciar acesso a tais assuntos:

O conhecimento científico e as novas tecnologias constituem-se, cada vez mais, a condição para que a pessoa saiba se posicionar frente a processos e inovações que a afetam. Não se pode, pois, ignorar que se vive: o avanço do uso da energia nuclear; da Nanotecnologia; a conquista da produção de alimentos geneticamente modificados; a clonagem biológica. Nesse contexto, tanto o docente quanto o estudante e o gestor requerem uma escola em que a cultura, a arte, a ciência e a



tecnologia estejam presentes no cotidiano escolar, desde o início da Educação Básica. (BRASIL, 2013, p.26).

Pereira, Honório e Sannomiya (2010) em pesquisa voltada para o desenvolvimento de materiais didáticos para a abordagem da Nanotecnologia em aulas de ciências, também destacam a falta do conhecimento dos materiais que se estão fazendo uso:

Faz-se necessária a divulgação dessa nova "velha" tecnologia que se faz uso. Dentro desse contexto, educação de jovens e/ou crianças abordando o tema Nanotecnologia pode contribuir para a difusão do conhecimento científico, bem como despertar o interesse deles na área da ciência e da tecnologia. É importante o desenvolvimento de novos programas ou métodos em "nanoeducação", na tentativa de descrever ou incluir as crianças no "nanomundo" de forma a despertar o interesse por temas científicos relacionados a diversos fenômenos do cotidiano. (CHANG, 2006 *apud* PEREIRA, HONÓRIO; SANNOMIYA, 2010, p.74).

Segundo Lima e Almeida (2012), no que tange à formação docente, é importante que possuam os conhecimentos relacionados à ciência e tecnologia, pois tem ocupado um papel fundamental em vários setores da atividade humana. O professor possui a função de garantir uma melhor orientação sobre o uso dessas tecnologias, o que "exige dos educadores, especialmente do professor da Educação Básica das áreas relacionadas com esses saberes, a exemplo da Física, o desenvolvimento de um trabalho direcionado e imprescindível para a sociedade". Os autores destacam:

Faz-se necessário que, durante a formação desse professor, seja ressaltado o entendimento de que a ciência é um produto humano e, visto dessa forma, poderá contribuir significativamente para uma melhor compreensão das tecnologias pelo cidadão comum, preparando-o para fazer escolhas em sua visão privada e no contexto social. (LIMA; ALMEIDA, 2012, p.2).

Nesse contexto, é importante que a sociedade, de um modo geral, conheça sobre essa tecnologia e seus respectivos benefícios e malefícios para que possam opinar com propriedade sobre importantes decisões que venham a ser tomadas a respeito dessa área.

7. INTERAÇÕES INTERMOLECULARES E NANOCOMPÓSITOS POLIMÉRICOS: UMA PROPOSTA PARA AULAS DE QUÍMICA

As interações intermoleculares, também conhecidas como interações não covalentes ou forças de van der Waals, são as que ocorrem pela atração ou repulsão das moléculas sem que haja o rompimento ou a formação de novas ligações químicas. A intensidade dessas interações pode apresentar uma grande variação entre diferentes substâncias químicas, porém são mais fracas que as ligações covalentes e iônicas, estas podem variar de 0,5 a 10 kcal mol⁻¹. (ROCHA, 2001; BROWN; LEMAY; BURSTEN, 2005). Essas interações podem ser de diversos tipos, a saber: interações dipolo-dipolo, interações dipolo permanente-dipolo induzido, interações de dispersão e ligações de Hidrogênio.

O tipo dipolo-dipolo são eficientes quando moléculas polares estão próximas. Quando uma molécula é constituída por pelo menos dois átomos com eletronegatividades diferentes, os átomos com maior eletronegatividade tendem a atrair com mais força a nuvem eletrônica e então adquirem cargas parciais negativas e, dessa maneira, os átomos menos eletronegativos adquirem



cargas parciais positivas. Assim, ocorre uma polarização das ligações e esta influência no modo com que as moléculas vão interagir. (ROCHA, 2001). As interações dipolo-dipolo podem ser tanto atrativas quanto repulsivas e são influenciadas pela orientação das moléculas, sendo a interação atrativa predominante, pois despende menor gasto energético. (BROWN; LEMAY; BURSTEN, 2005; MCMURRY, 2011).

As interações do tipo dipolo permanente-dipolo induzido ocorrem quando uma molécula, que possua um dipolo permanente, induz um dipolo em uma outra molécula que esteja situada próxima, sendo a força desta interação correlacionada com o momento de dipolo da primeira molécula e da capacidade de se polarizar da segunda molécula. (ROCHA, 2001).

As interações de dispersão, também conhecidas como dispersão de London, ocorrem entre todas as moléculas vizinhas porque a distribuição dos elétrons nas moléculas se altera frequentemente. (MCMURRY, 2011). Este tipo de interação é predominante em moléculas apolares, pois, quando estas interagem, uma molécula altera a densidade eletrônica da outra e dessa maneira surgem dipolos momentâneos. (ROCHA, 2001). Em outras palavras, quando as moléculas se aproximam, um lado de uma molécula pode ter um excesso de elétrons em relação ao lado oposto, conferindo à molécula um dipolo momentâneo e este dipolo faz com que uma molécula próxima adquira momentaneamente um dipolo oposto e por isso ocorre essa fraca interação. (BROWN; LEMAY; BURSTEN, 2005; MCMURRY, 2011). Vale ressaltar que este tipo de interação ocorre entre todos os tipos de moléculas independentemente da polaridade das mesmas.

A ligação de hidrogênio é uma forte interação intermolecular que ocorre entre um átomo de hidrogênio em uma ligação polar, singularmente uma ligação com flúor, oxigênio ou nitrogênio, e um par de elétrons que não esteja compartilhado, usualmente um desses átomos já supramencionados. (BROWN; LEMAY; BURSTEN, 2005). Esta interação apresenta este caráter porque quando o átomo de hidrogênio está ligado a um átomo muito eletronegativo, há um maior deslocamento da nuvem eletrônica do hidrogênio e então ele adquire uma carga parcial bastante positiva. A ligação de hidrogênio é a interação mais forte pelo fato de o hidrogênio ser um átomo pequeno, o que possibilita uma maior aproximação entre as moléculas, conciliado a uma alta polaridade das ligações. (ROCHA, 2001; REIS; SANTOS FILHO, 2010).

As interações intermoleculares são responsáveis por inúmeras propriedades físicas e químicas dos compostos. Consequentemente, as substâncias podem ser classificadas quanto a sua capacidade de interagir com a água, podendo ser de caráter hidrofílico ou hidrofóbico. Substâncias hidrofílicas são aquelas que possuem afinidade por água e por isso são solúveis neste meio. Isto pode ser explicado pelo fato de as moléculas hidrofílicas serem polarizadas e sendo a água também polar, há uma facilidade de interação entre as moléculas. Substâncias hidrofóbicas, por sua vez, são aquelas que não possuem afinidade por água. As moléculas hidrofóbicas comumente não são polarizadas, por isso não há interação entre essas moléculas e a água. (ATKINS; JONES, 2006).

As interações intermoleculares também se aplicam aos polímeros e são denominadas como forças moleculares fracas. Essas forças ocorrem entre fragmentos das cadeias poliméricas e aumentam com a presença de grupos polares e diminuem com o aumento da distância entre as moléculas. (CANEVAROLO JÚNIOR, 2006). Assim, como em moléculas menores, os polímeros também podem ser de caráter hidrofílico e hidrofóbico.



No preparo de um nanocompósito polimérico é impreterível que haja uma boa compatibilidade entre a nanocarga e a matriz polimérica para propiciar uma boa dispersão e distribuição da nanocarga na matriz e, por conseguinte, melhorias em propriedades como, por exemplo, propriedades térmicas, mecânicas, de barreira a gases, catalíticas e óticas. A maioria dos polímeros utilizados industrialmente são de caráter hidrofóbico, já as nanopartículas majoritariamente de caráter hidrofílico. Logo, uma das maiores barreiras a ser transposta é a incompatibilidade entre os componentes do nanocompósito polimérico, devido à diferença nos tipos de interações predominantes nas moléculas.

Visando à melhoria da interação entre o polímero e a nanopartícula, na maioria das vezes, são realizadas modificações químicas nas superfícies das nanopartículas. (ESTEVES; BARROS-TIMMONS; TRINDADE, 2004). As reações de modificação mais comuns envolvem a inserção de grupamentos hidrofóbicos nessas superfícies. As partículas modificadas, quando inseridas em polímeros hidrofóbicos, apresentam uma boa interação, devido a uma predominância de forças atrativas, e conseqüentemente uma boa distribuição e dispersão na matriz polimérica. (KOTAL; BHOWMICK, 2015). O mesmo tipo de modificação pode ser realizado com objetivo de melhorar a interação com polímeros hidrofílicos.

O tópico de forças intermoleculares pode ser abordado em aulas de Química utilizando como tema gerador os nanocompósitos poliméricos. Para que se alcance o objetivo, é necessário que os alunos possuam conhecimentos básicos relacionados a polímeros e à Nanotecnologia. A construção dos conhecimentos pode-se iniciar apresentando uma problemática de cunho ambiental, para instigar uma reflexão por parte dos alunos, relacionada ao descarte inadequado de materiais plásticos, correlacionando ao aumento do consumo e da produção. Para tal, é possível a utilização de reportagens e vídeos disponíveis na internet. Como seqüência, a introdução do tema Nanotecnologia e suas perspectivas em diversas áreas de aplicação, como demonstrado brevemente nesse artigo. Posteriormente, explorar o tema polímeros com um maior enfoque aos polímeros biodegradáveis para servir como norteador na abordagem dos nanocompósitos polímeros. Na abordagem dos polímeros biodegradáveis, é possível utilizar reportagens como, por exemplo, a reportagem intitulada "Plásticos biodegradáveis têm contribuição da Nanotecnologia", apresentando esses materiais como solução para a problemática apresentada inicialmente. Essa reportagem fornece subsídios para a introdução do assunto nanocompósitos poliméricos.

Ainda sobre a última reportagem citada, é necessário que o professor mediador explore a estrutura química dos polímeros e das nanopartículas à luz das forças intermoleculares. A partir disso, é possível introduzir a discussão sobre a importância da estrutura química desses materiais para o sucesso na obtenção do nanocompósito.

8. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste trabalho, explorou-se, a possibilidade da inserção do assunto Nanotecnologia em aulas de Química, por meio do tema nanocompósitos poliméricos, e foram fornecidas informações teóricas com o intuito de despertar o interesse pelo tema nanotecnologia e polímeros em professores e alunos da educação básica. Através desta revisão, foi possível mostrar que o tema nanotecnologia, apesar de ter um apelo contemporâneo, é um conhecimento que já é utilizado pela humanidade desde 4000 anos antes de Cristo. O artigo apresentou uma possibilidade de abordagem do tema



sob a perspectiva das forças intermoleculares. Mas devido ao caráter multidisciplinar do tema, com criatividade é possível a abordagem de outros diversos tópicos do ensino de Química.

9. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABDI, AGÊNCIA BRASILEIRA DE DESENVOLVIMENTO INDUSTRIAL. **Cartilha sobre Nanotecnologia**. 1. ed. Brasília, 2010. Disponível em: <<http://www.abdi.com.br/Estudo/Cartilha%20Nanotecnologia.pdf>>. Acesso em: 15 nov. 2016.

ATKINS, P. W.; JONES, L. **Princípios de química**: questionando a vida moderna e o meio ambiente. 3. ed. Porto Alegre: Bookman, 2006.

BRASIL. **PCN Ensino médio**: Parâmetros Curriculares Nacionais – parte III. 2000. Disponível em: <<http://portal.mec.gov.br/seb/arquivos/pdf/ciencian.pdf>> Acesso em: 28 out. 2016.

BRASIL. **Diretrizes Curriculares Nacionais para Educação Básica**. 2013. Disponível em: <http://portal.mec.gov.br/index.php?option=com_docman&view=download&alias=15548-d-c-n-educacao-basica-nova-pdf&category_slug=abril-2014-pdf&Itemid=30192> Acesso em: 21 out. 2016.

BOOKER, R. BOYSEN, E. **Nanotechnology for dummies**. Indianapolis: Wiley Publishing Inc., 2005.

BRITO, G. F.; AGRAWAL, P.; ARAÚJO, E. M.; MÉLO, T. J. A. Biopolímeros, polímeros biodegradáveis e polímeros verdes. **Revista Eletrônica de Materiais e Processos**, v.6, n.2, p.127-139, 2011.

BROWN, T. L.; LEMAY JR., H. E.; BURSTEN, B. E.; BURDGE, J. R. **Química, a Ciência Central**. 9. ed. São Paulo: Editora Pearson, 2005.

CANCINO, J.; MARANGONI, V. S.; ZUCOLOTTI, V. Nanotecnologia em medicina: aspectos fundamentais e principais preocupações. **Química Nova**, v.37, n.3, p.521-526, 2014.

CANEVAROLO JUNIOR, S. V. **Ciência dos polímeros**: um texto básico para tecnólogos e engenheiros. São Paulo: Artliber, 2006.

CUPERTINO, L. F. **Modelagem do módulo de Young em nanocompósitos através de Inteligência Computacional**. 2009. 82 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) - Departamento de Engenharia Elétrica Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2009.

DURÁN, N.; MATTOSO, L. H. C.; MORAIS, P. C. **Nanotecnologia**: introdução, preparação e caracterização de nanomateriais e exemplos de aplicação. São Paulo: Artliber Editora, 2006.

ESTEVES, A. C. C.; BARROS-TIMMONS, A.; TRINDADE, T. Nanocompósitos de matriz polimérica: estratégias de síntese de materiais híbridos. **Química Nova**, v.27, p.798-806, 2004.

FARIA, E. M.; ELEMEN, G. R. A.; SILVA, A. E.; MENDONÇA, E. A. M.; OLIVEIRA, E. E. Nanotecnologia e meio ambiente: uma análise sobre os riscos e benefícios dessa tecnologia em um contexto atual. **Revista de Biologia e Farmácia**, v.9, n.1, p.18-26, 2013.

FECHINE, G. J. M. **Polímeros biodegradáveis**: tipos, mecanismos, normas e mercado mundial. São Paulo: Editora Mackenzie, 2013.



- FERNANDES, M. F. M. **Um panorama da Nanotecnologia no Brasil (e seus macro-desafios)**. 2007. 272 f. Dissertação (Mestrado em Ciências) - Programa de História das Ciências e das Técnicas e Epistemologia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2007.
- FERREIRA, H. S.; RANGEL, M. C. Nanotecnologia: aspectos gerais e potencial de aplicação em catálise. **Química Nova**, v.32, n.7, p.1860-1870, 2009.
- FIGUEIRAS, A. R. R.; COIMBRA, A. B; VEIGA, F. J. B. Nanotecnologia na saúde: aplicações e perspectivas. **Boletim Informativo Geum**, v.5, n.2, p.14-26, 2014.
- FRANCHETTI, S. M. M.; MARCONATO, J. C. Polímeros biodegradáveis: uma solução parcial para diminuir a quantidade dos resíduos plásticos. **Química Nova**, v.29, n.4, p.811-816, 2006.
- GOMES, A. V. S.; COSTA, N. R. V.; MOHALLEM, N. D. S. Os tecidos e a nanotecnologia. **Química Nova na Escola**, v.38, n.4, p.288-296, 2016.
- JOACHIM, C.; PLÉVERT, L. **Nanociências**: a revolução do invisível. Rio de Janeiro: Jorge Zahar Editora, 2009.
- JUNQUEIRA, J. S. S.; SILVA, P. P.; GUERRA, W. Ouro. **Química Nova na Escola**, v.34, p.45-46, 2012.
- KOTAL, M.; BHOWMICK, A. K. Polymer nanocomposites from modified clays: recent advances and challenges. **Progress in Polymer Science**, v.51, p.127-187, 2015.
- LANDIM, A. P. M.; BERNARDO, C. O.; MARTINS, I. B. A.; FRANCISCO, M. R.; SANTOS, M. B.; MELO, N. R. Sustentabilidade quanto às embalagens de alimentos no Brasil. **Polímeros**, v.26, n.especial, p.82-92, 2016.
- LIMA, M. C. A.; ALMEIDA, M. J. P. M. Articulação de textos sobre Nanociência e Nanotecnologia para a formação inicial de professores de física. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v.34, n.4, p.1-9, 2012.
- MANO, E. B; MENDES, L.C. **Introdução a polímeros**. São Paulo: Edgard Blucher, 2004.
- MARCONE, G. P. S. Nanotecnologia e Nanociência: aspectos gerais, aplicações e perspectivas no contexto do Brasil. **Revista Eletrônica Perspectivas da Ciência e Tecnologia**, v.7, n.2, p.2-24, 2015.
- MARKINA, N. E.; POZHAROV, M. V.; MARKIN, A. V. Synthesis of Copper (i) oxide particles with variable color: demonstrating size-dependent optical properties for high school students. **Journal of Chemical Education**, v.93, n.4, p.704-707, 2016.
- MARTINEZ, D. S. T.; ALVES, O. L. Interação de nanomateriais com biosistemas e a nanotoxicologia: na direção de uma regulamentação. **Ciência e Cultura**, v.65, n.3, p.32-36, 2013.
- MARTINS, M. A.; TRINDADE, T. Os nanomateriais e a descoberta de novos mundos na bancada do químico. **Química Nova**, v.35, n.7, p.1434-1446, 2012.
- MCMURRY, J. **Química Orgânica**. v.1, 7. ed. Cengage Learning, 2014.
- PAOLI, M. A. Plásticos inteligentes. **Química Nova na Escola**, v.2, n.especial, p.9-12, 2001.



PAUL, D. R.; ROBESON, L. M. Polymer nanotechnology: Nanocomposites. **Polymer**, v.49, n.15, p.3187-3204, 2008.

PEDROSA, M. C. G. **Efeito da geometria de nanoestruturas de carbono nas propriedades de nanocompósitos a base de poli(acido láctico)**. 2016. 91 f. Dissertação (Mestrado em Ciências) – Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Polímeros, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2016.

PEREIRA, F. D.; HONÓRIO, K. M.; SANNOMIYSA, M. Nanotecnologia: desenvolvimento de materiais didáticos para uma abordagem no ensino fundamental. **Química Nova na Escola**, v.32, n.2, p.73-77, 2010.

REIS, A. D.; SANTOS FILHO, P. F. ligação hidrogênio: uma contribuição para o Ensino de Química. **Revista Brasileira de Ensino de Química**, v.5, n.1/2, p.9-16, 2010.

RIBEIRO, D. T. A.; MALHEIRO, D. V. B. Uma visão geral sobre materiais compósitos. **Revista Brasileira de Ensino de Química**, v.6, n.1/2, p.61-74, 2011.

RIELA, S.; FAKHRULLIN, R. F. Clay-based drug-delivery systems: what does the future hold? **Therapeutic delivery**, v.8, n.8, p.633-646, 2017.

RIO DE JANEIRO. **Currículo mínimo**: Química. Rio de Janeiro: Secretaria de Estado de Educação do Rio de Janeiro, 2012.

ROCHA, W. R. Interações intermoleculares. **Química Nova na Escola**, n.4, p.31-36, 2001.

RÓZ, A. L.; LEITE, F. L.; FERREIRA, M; OLIVEIRA JÚNIOR, O N. **Nanoestruturas**: princípios e aplicações. Rio de Janeiro: Elsevier, 2015.

SANTOS, A. P; ROSA, S. V. L. Uma didática para o ensino de Nanotecnologia. **Quaestio**, v.18, n.1, p.293-308, 2016.

SILVA, S. L. A.; VIANA, M. M.; MOHALLEM, N. D. S. Afinal, o que é Nanociência e Nanotecnologia? Uma Abordagem para o Ensino Médio. **Química Nova Escola**, v.31, n.3, p.172–178, 2009.

SMIJS, T. G.; PAVEL, S. Titanium dioxide and zinc oxide nanoparticles in sunscreens: focus on their safety and effectiveness. **Nanotechnology, Science and Applications**, v.4, p.95, 2011.

SPITALSKY, Z.; TISIS, D.; PAPAGELIS, K.; GALIOTIS, C. Carbon nanotube–polymer composites: chemistry, processing, mechanical and electrical properties. **Progress in Polymer Science**, v.35, n.3, p.357-401, 2010.

TOMA, H. E. A Nanotecnologia das moléculas. **Química Nova na Escola**, v.21, n.1, p.3-9, 2005.

VOGT, C. Admirável Nano - Mundo - Novo. **Com Ciência**, Campinas, p.1-2, 2002. Disponível em: <<http://www.comciencia.br/reportagens/Nanotecnologia/nano01.htm>>. Acesso em: 15 nov. 2016.

WAN, E.; GALEMBECK, E.; GALEMBECK, F. Polímeros sintéticos. **Química Nova na Escola**, v.2, n.especial, p.5-8, 2001.

Submetido em: **01/10/2018**

Aceito em: **27/06/2019**