

Nanotecnologia e seus impactos na sociedade

RESUMO

Sérgio Antunes Filho
professorsergioantunes@gmail.com
Universidade Federal do Rio de Janeiro, UFRJ.

Bianca Pizzorno Backx
biapizzorno@xerem.ufrj.br
Universidade Federal do Rio de Janeiro, UFRJ.

A nanoescala, que significa a bilionésima parte do metro, traz um universo encantador e com ela a nanociência capaz de representar, na atualidade, contribuições em grandes escalas nas mais variadas áreas do conhecimento humano. A nanotecnologia utiliza a nanociência para a criação ou aprimoramento de materiais funcionais, dispositivos e sistemas através do controle da matéria na escala atômica e molecular. Dentre as várias áreas onde a nanotecnologia é utilizada podemos destacar a nanoeletrônica, bionanotecnologia, nanomedicina, entre outras. As aplicações variam desde sistemas de nanoencapsulamento de fármacos até a síntese de materiais biodegradáveis, antichamas e antimicrobianos. Este artigo tem como principal objetivo demonstrar como esta tecnologia contemporânea está cada vez mais impactando a sociedade em seus diversos âmbitos.

PALAVRAS-CHAVE: Nanotecnologia. Inovação tecnológica. Impacto na sociedade. Nanoescala.

INTRODUÇÃO

Nano é um prefixo que vem do grego antigo e significa anão. No conceito metrológico, 1 nanômetro (nm) corresponde a 1 bilionésimo do metro, 10^{-9} metros (m), e para compreender melhor esta dimensão podemos imaginar que uma partícula nesta escala (uma nanopartícula) em relação ao que conseguimos enxergar a olho nu seria como uma bola de futebol em relação ao planeta terra ou ainda que algo do tamanho de um grão de areia (com 1 ou 2 milímetros) teria o tamanho equivalente a milhões de nanopartículas.

Uma simples definição de nanotecnologia seria dizermos que é a tecnologia que busca o entendimento de um sistema em nanoescala, com precisão de átomo a átomo, para criar estruturas com uma organização diferenciada, capaz de apresentar comportamentos e propriedades diferentes dos materiais comumente conhecidos. No ramo da nanotecnologia, a definição de partícula é um pedaço de matéria com fronteiras físicas definidas. Para estar na escala nanométrica, uma partícula geralmente precisa ter o tamanho na faixa de, aproximadamente, 1 a 100 nm (ISO, 2019). Logo, as nanopartículas (NPs), por exemplo, são quaisquer partículas distintas com as três dimensões externas na escala nanométrica.

Apesar de ser considerado uma invenção da ciência contemporânea, o sistema nanométrico já existe a bilhões de anos desde quando as primeiras células vivas apareceram, pois representam biomáquinas nanométricas que são capazes de manipular o material genético, serem suprimentos de energia, dentre outras funções biológicas. Os nanomateriais têm sido usados por artesãos de cerâmica na forma de argila natural há mais de 17000 anos (COLOMBAN, 2009). Entretanto, o mais conhecido uso de materiais com NPs metálicas é datado do século 4 d.C na taça de Lycurgus (Figura 1) que tem sua cor alterada para verde quando a luz é refletida e vermelha quando é transmitida. O que causa esse fenômeno da variação de cores são as NPs de prata e ouro presentes no vidro da peça que se encontra no British Museum, localizado em Londres, na Inglaterra (FREESTONE et al., 2007).

A nanotecnologia pode contemplar diversas áreas, sendo baseada em uma ciência multidisciplinar, transdisciplinar e interdisciplinar presente nas tecnologias da informação, medicina, engenharia, química, física e biologia. Não há barreiras para a nanotecnologia; na nanomedicina, por exemplo, estudos avançados que se referem a pesquisas para a cura de doenças consideradas até então incuráveis são amplamente elaborados, além de diversas outras pesquisas que desenvolvem técnicas mais eficazes, menos invasivas e que oferecem menores riscos para os pacientes em tratamentos clínicos. Outro exemplo refere-se aos nanocosméticos que têm apostado em nanopartículas, pois devido aos seus tamanhos são melhores absorvidas e possuem maior eficácia, prometendo durabilidade, eficiência, cores e fragrâncias aos produtos que as têm.

Todo esse universo de novas descobertas ainda é pouco explorado e conhecido no Brasil e no mundo. Este trabalho tem como objetivo mostrar o impacto desta nova tecnologia, seus benefícios e suas adversidades, ajudando na inclusão da sociedade com relação a este novo âmbito.

Figura 1: A taça de Lycurgus.



Fonte:

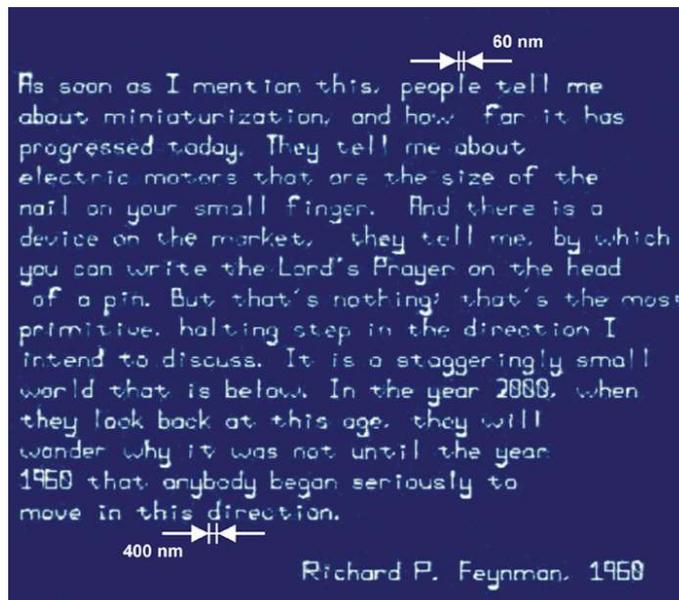
https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Lycurgus_Cup_red_BM_MME1958.12-2.1.jpg#metadata. Foto original licenciada por Creative Commons Attribution 2.5 Generic license.

A HISTÓRIA DA NANOTECNOLOGIA

Em 1959, Richard Feynman fez um primeiro discurso sobre o campo nanométrico. Os primeiros estudos experimentais sobre a nanotecnologia começaram em 1968 quando o grupo de pesquisadores Alfred Y. Cho e John Arthur, do laboratório Bell, desenvolveram uma técnica que permite depositar camadas atômicas em uma superfície, a epitaxia por feixe molecular; esse foi o primeiro passo experimental para a nanotecnologia. Em 1974, N. Taniguchi cria a palavra "nanotecnologia" que significa máquinas com tolerância de menos de um micrômetro. Em 1981 foi feito o primeiro microscópio de tunelamento (*STM - Scanning Tunneling Microscopy*) que facilitava ainda mais os estudos da nanotecnologia por possibilitar imagens em escala atômica, tecnologia até então considerada impossível na história da ciência. Desde então, várias descobertas importantes foram feitas como os nanotubos de carbono, por Iijima em 1991, que hoje fazem parte de vários materiais cujas aplicações variam de bicicletas a condutores e semicondutores de circuitos eletrônicos (FULEKAR, 2010).

Uma parte da palestra clássica de Richard Feynman à Sociedade Americana de Física publicada posteriormente na Universidade *Caltech* de engenharia foi, nos anos 2000, reproduzida por pesquisadores da Universidade de *Northwestern* com resolução em nanoescala (Figura 2).

Figura 2: Discurso Richard Feynman, reproduzido nos dias atuais por uma das técnicas da nanotecnologia.



Fonte: ISSN: 1369-7021 © Elsevier Science Ltd 2003 Open access underCC BY-NC-NDlicense.

No Brasil, graças à iniciativa de vários grupos de pesquisa e ações do Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações (MCTIC), a nanotecnologia tem se tornado uma ciência respeitada no cenário nacional. Em 2002, segundo o Instituto Inovação (2005), os indicadores da nanotecnologia brasileira já eram significativos, incluindo mais de 1.000 artigos científicos produzidos por mais de 300 doutores na área, 20 patentes e uma estrutura laboratorial adequada; onde a sociedade brasileira começou a despertar para os novos produtos nanotecnológicos.

Atualmente, a nanotecnologia aparece nos produtos tecnológicos como sendo o grande incremento do produto final, otimizando a ação conjugada dos produtos antigos, já existentes no mercado, com materiais nanoestruturados. As propagandas, neste sentido, enaltecem a ação desta nova formulação sendo utilizada para o *marketing* de diversos produtos desde cosméticos e fármacos até aditivos da área de construção civil. Cabe a sociedade avaliar até que ponto seu pouco conhecimento sobre o assunto pode, de certa forma, aumentar desenfreadamente o uso desta tecnologia sem o devido conhecimento de sua utilização em longo prazo.

Hoje há aproximadamente 26 redes temáticas e 16 institutos nacionais de ciência e tecnologia focados em nanotecnologia. Atualmente, existem mais de 260 grupos de pesquisa atuando em nanotecnologia no Brasil com mais de 2.500 pesquisadores e mais de 3.000 estudantes (LIMA e ROCHA, 2014). Mediante a isto, destacamos as grandes áreas nas quais a nanotecnologia tem se consolidado e aos poucos impacta diretamente a sociedade brasileira.

OS AUTORES E A NANOCIÊNCIA

Na década de 80, a descoberta de estruturas com 60 átomos de carbono que apresentam cerca de 1 nanômetro de diâmetro, denominados de fulerenos, foram um grande início da era da nanotecnologia. Desde então, ocorre uma tendência na ciência mundial em busca de entendimento e trabalhos vinculados a mesma. O Brasil começou a investir tardiamente em nanociência, quando comparado a outros países como os Estados Unidos, por exemplo, onde a nanotecnologia surgia e crescia a partir da década de 60. Dados atuais da *Web of Science*, de 2017, mostram que a China é o país que mais produz ciência na área de nanotecnologia (24,4%). O Brasil está em 18º lugar, o que equivale a 1,4% da participação na produção de conhecimento na área de nanotecnologia e nanociência (GONZÁLEZ, 2018).

Nosso grupo de pesquisa busca a compreensão da sinergia entre o meio vegetal e seus potenciais agentes antioxidantes com as nanoestruturas. O processo de síntese de nanopartículas, por exemplo, possui variações de suas rotas. A síntese química de nanoestruturas ainda é uma rota muito adotada, porém os benefícios quando comparados aos detrimientos são questionáveis. A utilização de substâncias químicas com grande potencial tóxico, além de gastos energéticos e resíduos decorrentes de subprodutos são questões que não privilegiam o meio ambiente. O entendimento da cinética química intrínseca no protocolo de síntese de nanoestruturas metálicas, por exemplo, catalisou nosso grupo de pesquisa a trabalhar num catálogo de espécies vegetais brasileiras, que possuem abundância em nosso território, e quimicamente possuem comportamentos reacionais equivalentes a produtos químicos. Levando-nos a rotas já protocoladas de química verde, gerando um enfoque baseado em nanotecnologia verde, com rotas bem-sucedidas sem impacto ambiental. Para as nanopartículas de prata (AgNPs), temos protocolos reprodutíveis, eficientes com relação às variáveis de tempo, temperatura e armazenamento, além de haver uma eficiência antimicrobiana comprovada e relevante. Estudar rotas verdes e eficientes projeta o nosso grupo para um maior envolvimento em âmbitos científicos e tecnológicos com abordagens pertinentes a nanotecnologia, química, microbiologia e engenharia de materiais; buscando a sincronia dos conhecimentos adquiridos pelos componentes do grupo com a procura de novos materiais cuja atividade antimicrobiana possa ser de grande interesse no que diz respeito, principalmente, ao combate de microrganismos causadores de infecções associadas aos cuidados da saúde, como nas infecções hospitalares.

NANOTECNOLOGIA, COMÉRCIO E INDÚSTRIA

A nanotecnologia possibilitou o surgimento de novos produtos que são comercializados por empresas nacionais que foram fundadas a partir do novo milênio e hoje já exportam cosméticos e diversos outros produtos para mais de 26 países, obtendo faturamentos anuais milionários. A projeção de algumas empresas nacionais do ramo é de que nos próximos anos haja um faturamento de mais de 100 milhões de reais para a indústria e o comércio nanotecnológico (PAULO, 2018).

Neste sentido, diversas empresas internacionais também atuam no setor da nanotecnologia em diversos âmbitos, principalmente na nanoeletrônica e na área de cosméticos. Segundo os autores do livro *'Global Nanotechnology Market (by*

Component and Applications), Funding & Investment, Patent Analysis and 27 Companies Profile & Recent Developments - Forecast to 2024, o mercado da nanotecnologia em escala global atingirá o total de mais de 125 bilhões de dólares em 2024 através de setores industriais tradicionais como automobilísticos e eletrônicos, bem como setores que fornecem insumos nanotecnológicos (como nanopartículas metálicas, nanofibras e aditivos nanoquímicos) até mesmo indústrias que estão surgindo mediante o avanço científico-tecnológico como as indústrias produtoras de tecidos inteligentes, os quais podem ser antimicrobianos, antichamas, antiodores, terapêuticos, super-hidrofóbicos, dentre outras características.

A nanoeletrônica revolucionou parques industriais e, em sinergia, com o avanço das tecnologias da comunicação e informação (TIC) houve a possibilidade do surgimento de novos mercados, novas profissões, novos produtos e serviços. O processo de globalização, os avanços nas ciências da computação e todas as transformações nanotecnológicas tornaram o mercado mais fluído e em constante mudança; o Fórum Econômico Mundial, realizado em Davos em janeiro de 2018, discutiu sobre pesquisas que estimam que 65% dos alunos que estão iniciando o ensino fundamental hoje irão trabalhar com profissões que ainda não existem.

NANOTECNOLOGIA E A EDUCAÇÃO

A nanotecnologia e a nanociência ainda não estão presentes no cotidiano do alunado brasileiro e estes conhecimentos estão ausentes da nova Base Nacional Comum Curricular (BNCC) da educação infantil e fundamental definida pelo Ministério da Educação em 2018, onde a novidade está na possibilidade de o aluno adquirir noções mais sólidas de química e física desde o ensino fundamental I nas aulas de ciências. O conhecimento das ciências de maneira transdisciplinar, interdisciplinar e multidisciplinar serão muito importantes para que o indivíduo possua capacidades de compreender a nanociência, todavia o assunto ainda não tem previsão de ser abordado diretamente nas escolas segundo a nova BNCC. No ensino médio não foi diferente e a nova Base Nacional Comum Curricular também não aborda a temática de igual maneira.

Do ponto de vista pedagógico, o uso de metodologias ativas e tecnologias da comunicação e informação (TICs) no processo de ensino-aprendizagem estão cada vez mais frequentes. Neste sentido, a nanoeletrônica em sinergia com a programação e as ciências da computação estão afetando a educação desde o uso mais básico da tecnologia, de maneira expositiva com o uso de projetores multimídias e quadros interativos em sala de aula, até o uso das tecnologias móveis e interativas tanto no ensino básico como no ensino superior. Diversos pesquisadores como MORAN (2019) evidenciam que a inserção das TICs em sala de aula fomentam o avanço do ensino e que estratégias pedagógicas inovadoras possibilitam a melhoria dos processos educacionais.

Além disso, tecnologias como a realidade virtual, simuladores e, até mesmo, tecnologias já comuns em salas de aula como a própria projeção de slides, vídeos, imagens e textos são extremamente importantes para dinamizar e aprimorar o processo de ensino-aprendizagem em todas as áreas educacionais. O uso de metodologias ativas em jogos e dinâmicas em grupo que utilizam aplicativos em dispositivos móveis e até mesmo o ensino a distância (EaD) ou o ensino híbrido

tornam possíveis estruturações mais didáticas, lúdicas e atrativas para que o aluno esteja mais motivado em aprender e haja um avanço positivo do ambiente educacional em relação ao avanço técnico-científico observado no dia a dia em outros âmbitos sociais. Além de todo o apelo entusiástico, há muitas vezes a oportunidade de utilização destes recursos como simplificadores de informações e agentes facilitadores na recepção de novos conceitos como quando a temática abordada envolve, por exemplo, a nanoescala, justamente por haver a necessidade de percepções muito abstratas para o público leigo ou com pouco contato com a área.

Portanto, a nanotecnologia se apresenta como parte integrante das ferramentas pedagógicas que se demonstram extremamente interessantes para o aprimoramento do processo de ensino-aprendizagem bem como no enriquecimento do ambiente educacional para que a construção cognitiva e cidadã do indivíduo, dentro e fora da sala de aula, ocorram de maneira mais acessível, prazerosa e eficiente.

NANOTECNOLOGIA, SAÚDE E MEIO AMBIENTE

Uma das principais áreas de impacto, no âmbito da saúde, ocorre nos medicamentos farmacêuticos, onde o medicamento nanotecnológico é capaz de ser transportado e liberado no organismo de acordo com a necessidade do tecido ou órgão doente e isto se aplica desde análgésicos, anti-inflamatórios e cosméticos até fármacos antitumorais que estão em fase de pesquisa ou já presentes no mercado farmacêutico (SURI *et al.*, 2007). Além dos medicamentos, próteses com nanorevestimentos e constituídas de nanomateriais como os nanocompósitos são capazes de elevar a biocompatibilidade e alterar propriedades físico-químicas dos materiais, fazendo com que o sistema imune do paciente reconheça aquele material externo ao corpo como algo do próprio organismo e diminua as chances de rejeições após cirurgias (ZHANG *et al.*, 2014). O uso de ‘nanorobôs’ ainda é algo distante da realidade atual, todavia diversas intervenções cirúrgicas de alto risco já estão sendo realizadas através de computadores, assistidos por cirurgiões, que elevam a precisão do procedimento e a sua probabilidade de sucesso (MADUREIRA FILHO, 2015).

A nanotoxicologia é o principal campo de estudo que analisa características não benéficas observadas pela comunidade científica mediante o uso desenfreado dessas novas ferramentas moleculares na saúde, sendo observadas no uso de nanomateriais como nanopartículas, nanofios, nanotubos dentre outras nanoestruturas das mais diversas composições. Todavia, estudos com nanoproductos biocompatíveis e naturais como na síntese verde de nanomateriais e o revestimento de materiais citotóxicos com estruturas moleculares biocompatíveis, dentre outras estratégias, parecem ser a chave para tornar o uso de estas tecnologias mais eficientes para a saúde humana e animal bem como para o meio ambiente (Al *et al.*, 2011).

Neste sentido, o meio ambiente vem despertando interesses em grupos de pesquisas em todo o mundo no que concerne à sustentabilidade e proteção do planeta ou até mesmo como fornecedor de matérias primas importantes em protocolos que antes tinham vertentes exclusivamente químicas e tóxicas ao meio ambiente e hoje possuem rotas que utilizam recursos verdes como microrganismos e plantas. A nanotecnologia verde é uma vertente da ciência

capaz de desenvolver produtos eficientes, a baixo custo e com quase nulo impacto ambiental, solucionando uma problemática conhecida na nanotecnologia que se refere aos produtos nanotecnológicos e seus impactos no ecossistema. Sendo que a nanotecnologia também pode atuar em consonância com os 12 princípios da química verde, onde em uma das suas principais premissas, benéficas ao meio ambiente se estabelecem o uso da menor quantidade de átomos possíveis para sintetizar dispositivos ou realizar processos químicos e, a partir das engenharias nanotecnológicas, isto pode ser realidade na grande maioria dos produtos.

As buscas por minimizar impactos ambientais fazem com que pesquisadores busquem soluções para o cuidado da lavoura com as nanocápsulas de pesticidas que liberam o agrotóxico no interior do inseto. Outro recurso nanotecnológico utilizado em plantações refere-se à utilização de nanosensores que acusam carência de insumos àquela planta e tornam possíveis as liberações de nutrientes específicos a demanda de cada vegetal, tais como a água, substâncias essenciais bem como nutrientes complementares para o desenvolvimento ideal da planta (PRASAD *et al.*, 2017).

No contexto da engenharia de alimentos e da agricultura atrelada a bionanotecnologia, embalagens compostas por nanofilmes que conservam o alimento por maior tempo e alteram sua cor mediante o apodrecimento ou contaminação microbiológica patogênica já são realidades na literatura (LUVIELMO e LAMAS; 2012). Além de agregar valor aos processos e produtos oriundos da área dos alimentos, a bionanotecnologia é qualificada para propiciar também o desenvolvimento de nanopartículas, nanofiltros e nanosensores capazes de despoluir rios, oceanos e, até mesmo, tornar a água salgada, contaminada ou insalubre em potável (GEHRKE *et al.*; 2015).

Por fim, vale ressaltar que os descartes de materiais nanoestruturados com o seu crescente uso em processos e produtos industriais, incluindo a indústria do petróleo e do gás, promovem o crescimento do 'nanolixo' que possui consequências ainda não muito claras aos ecossistemas (RAJA *et al.*, 2015). Neste sentido, no contexto hodierno, geralmente a indústria e a academia têm os mesmos cuidados, precauções e procedimentos para o uso e descarte de nanotecnologias que substâncias químicas perigosas, mesmo que não sejam tóxicas ou danosas quando comparadas aos produtos químicos de alto risco. Todavia, devido ao tamanho e propriedades diferenciadas que estes materiais apresentam, os nanomateriais devem ser descartados de maneira única de acordo com sua composição química, riscos moleculares e ambientais envolvidos, dentre diversos outros parâmetros que ainda estão sendo discutidos por especialistas da ciência e da lei ao redor do globo.

NANOTECNOLOGIA E SUA INFLUÊNCIA SOCIAL

O impacto da nanotecnologia na sociedade ocorre, nos dias atuais, principalmente no contexto da nanoeletrônica com relação às tecnologias móveis (*smartphones, notebooks, tablets*, dentre outras) que causaram diversas transformações sócio-culturais na civilização em suas últimas décadas e isto inclui as rápidas mudanças nas gerações após a globalização com o avanço científico-tecnológico e seu fácil acesso, dado o surgimento da geração *neo millennials*.

Os âmbitos da conjuntura social influenciados abrangem diversas escalas, onde o poder da internet e das tecnologias móveis são capazes de influir até mesmo na política por serem realizadas campanhas com maior impacto, em maioria, *online* através das mídias sociais como pôde ser observado nas eleições presidenciais dos Estados Unidos da América (EUA) em 2016 e do Brasil em 2018 (LONDOÑO e DARLINGTON, 2018). Estes fatos demonstram que o ambiente virtual e o ciberespaço, criado e acessível através da sinergia entre as tecnologias da informação e a nanotecnologia, podem influenciar a realidade física de maneira surpreendente e sem a miniaturização dos computadores com a nanoeletrônica e os nanomateriais não haveriam tecnologias móveis como as conhecemos hoje para que ocorresse tamanha repercussão social.

Além disso, vale ressaltar que as diversas nanotecnologias que compõem a indústria 4.0 geram mudanças de valores éticos e comportamentais, além de causar elevado impacto nas profissões ao extinguir determinadas funções e formações na medida em que vai proporcionando o surgimento de outras. Compreendendo os impactos de grandes transformações sociais causadas pelas tecnologias, especialistas como SCHWAB (2016) apontam que a convergência das tecnologias, a criação de redes de controle de fluxo de dados físicos e virtuais bem como as prestações de serviços globais interligadas trazem alguns riscos político-sociais com relação à velocidade em que estes contextos transformam e remodelam as relações sociais em dissonância com relação ao próprio sujeito social, a amplitude e a profundidade que estas sistemáticas podem trazer com as mudanças na produção de bens de consumo e o impacto sistêmico que uma revolução de magnitude exponencial pode causar no mundo.

O prefixo nano vem sendo introduzido na sociedade através de produtos e serviços e traz com ele uma impressão de alta tecnologia atrelada a um bem potencialmente melhor quando comparado ao tradicional, não baseado na nanotecnologia. A mídia e a indústria cinematográfica projetam a nanotecnologia aliada a engenharia de materiais, medicina, dentre outras como um potencial agente de aumento de eficiência. De certa forma, esta manobra transfigura-se em uma nova tecnologia consonante aos avanços da humanidade. Diminuindo o preconceito entre a sociedade e a nanotecnologia, sendo seus produtos e serviços mais aceitos pela sociedade; todavia é válido ressaltar que ainda é necessário muito estudo sobre os impactos, em longo prazo, desta tecnologia.

Todos os valores e impactos, por fim, devem ser analisados sobre a óptica da saúde, do bem-estar e do meio ambiente a fim de percebermos que, mesmo que o processo de revolução nanotecnológica em sinergia com as ciências da computação estejam em seu início, já há muito impacto, por exemplo, na necessidade de percepção de efeitos imediatos na vida dos indivíduos com a comunicação contínua pelas redes sociais e *smartphones*, além das alterações nas dinâmicas de trabalho e funções laborais requisitadas e valorizadas no mercado. Será que há uma maneira da humanidade desenvolver-se tecnologicamente e, ao mesmo tempo, preservar a saúde humana, animal e do meio ambiente com constantes mudanças em sua cultura civilizacional?

NANOTECNOLOGIA E SUA LEGISLAÇÃO

A legislação sobre a nanotecnologia é fundamental para que todos os processos e produtos relacionados a ela possam entrar em consonância com as

leis que asseguram a qualidade e a rotulagem das tecnologias comerciais não nanotecnológicas (MARCHANT e WHITE, 2011). Neste sentido, outras questões são ainda mais intrínsecas como definir legalmente o que é de fato um produto ou processo nanotecnológico e parâmetros metrológicos e nanotoxicológicos para que instituições nacionais como o Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia (INMETRO) e a Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA), por exemplo, possam autorizar ou negar a entrada de novos produtos ao mercado nacional assim como definir as rotulagens e descrições adequadas para estes produtos e o mesmo vale para os produtos que já estão no mercado e as empresas produtoras autodeclaram como nanotecnológicos, pois no Brasil ainda não há leis que regulamentam a nanotecnologia, seus processos e manufaturas.

Em torno de todo o mundo está havendo uma busca pela regulamentação da nanociência e da nanotecnologia, a Organização Internacional de Normalização (do inglês, *International Organization for Standardization*) estabeleceu padrões para a nanotecnologia com a *ISO/TC-229* como suas definições científico-tecnológicas, critérios mercadológicos de um produto nanotecnológico e, até mesmo, abrangem a análise de aspectos nanotecnológicos relacionados à saúde e ao meio ambiente dentre outros padrões *ISO* em desenvolvimento.

Diversos países como os EUA criaram leis que estimulam o país a desenvolver e regulamentar as pesquisas e produtos nanotecnológicos por compreenderem o impacto econômico deste setor como demonstra esta lei discutida e aprovada pelo congresso nacional norte americano, em 3 de dezembro 2003, com o propósito de criar o programa nacional de nanotecnologia; visando o potencial domínio de seu mercado ao longo dos anos subsequentes no cenário internacional (*U.S GOVERNMENT*, 2003).

A agência federal *Food and Drug Administration (FDA)* manteve sua política regulatória com relação à nanotecnologia e já desenvolveu, com sua força tarefa técnico-científico, diversos parâmetros para a pesquisa, desenvolvimento e comércio destes tipos de serviços e produtos. Além disso, a agência fornece orientações de como realizar os processos nanotecnológicos em empresas e serviços de maneira segura com relação à saúde humana, animal e do meio ambiente. O monitoramento de produtos comercializados compostos por nanomateriais, por exemplo, é realizado de maneira contínua para a proteção dos consumidores (*FDA*, 2018).

No Brasil, diversos projetos de lei (PL) com algumas características questionáveis e outras benéficas para a sociedade foram propostos dispondo de regras para a pesquisa, desenvolvimento, produção, rotulagem e comercialização de produtos nanotecnológicos, seu correto descarte e vigilância sanitária como o PL 5076/2005, PL 00131/2010, PL 5133/2013 e o PL 6741/2013 que podem ser consultados no site da câmara dos deputados federais. Todavia, todos estes foram arquivados e ao se pesquisar no site da câmara dos deputados, até o presente momento desta publicação, não foram encontrados novos projetos de lei relacionados à nanotecnologia. A exceção está no senado federal, onde tramitam projetos de lei como o nº 880, de 2019, que propõe a criação do marco legal da nanotecnologia e estabelece incentivos nos âmbitos da mesma. Vale ressaltar que a Lei Nº 13.755, de 10 de dezembro de 2018, tem como um dos possíveis critérios para incentivo fiscal a pesquisa e o desenvolvimento da

nanotecnologia com relação ao setor automobilístico devido ao programa 'Rota 2030 - Mobilidade e Logística' e isto é um sinal de que talvez haja esperança no vislumbre do governo brasileiro em incentivar, fiscalizar e discutir mais sobre a nanotecnologia que tanto impacta a conjuntura nacional e mundial.

NANOTECNOLOGIA, DESENVOLVIMENTO E FUTURO

O avanço da ciência e suas possibilidades transformadoras são cada vez mais uma realidade cotidiana e não é diferente com relação ao desenvolvimento da nanociência. A Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa) em parceria com a Universidade de São Paulo (USP), por exemplo, foram capazes de caracterizar as teias de aranhas da biodiversidade brasileira para utilizar estes conhecimentos em prol de avanços na indústria têxtil, biomédica, aeroespacial e militar. O interessante desta pesquisa foi a constatação de que os fios das teias das aranhas são uma nanotecnologia da natureza onde esses nanofios podem ser compreendidos através da nanociência como especialmente mais resistentes, rígidos ou flexíveis e fornecer a possibilidade de síntese de novos nanomateriais através da biomimetização (VASCONCELOS, 2014). Assim, como este caso, diversos outros estudos podem ser realizados para que a natureza nos traga ainda mais respostas sobre como podemos inventar e reinventar nanotecnologias.

Além disso, muitas outras descobertas inspiradas em invenções da mente humana e no estado da arte podem trazer transformações profundas na conjuntura social como o desenvolvimento de fármacos que interagem somente com o alvo específico do corpo, nanocâmeras que auxiliem investigações policiais, dispositivos capazes de ler e revelar nosso estado de saúde e o que podemos fazer para melhorá-lo como saber quais nutrientes ingerir, tornar os alimentos perecíveis mais duradouros com nanofilmes, tornar a regeneração tecidual possível em qualquer situação, dentre outras diversas possibilidades.

Todavia, o fato é que precisamos como sociedade e academia observar com cautela todas as tecnologias que estão se inserindo no mercado para que possamos manter nossa saúde e o bem-estar do nosso ecossistema em primeiro lugar. O desenvolvimento e o avanço tecnológico devem ser benéficos para a sociedade e para o planeta, sendo que existem processos e produtos que, geralmente, somente especialistas terão conhecimentos suficientes para compreender as consequências que podem acometer a humanidade. Desta forma, a divulgação científica bem como a reflexão sobre estes temas desde o ensino básico até os mais diversos cursos sócio-políticos são fundamentais para minimizar essas barreiras e conduzir a civilização para a sua melhor versão.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A nanotecnologia engloba processos científico-tecnológicos complexos e que impactam a sociedade de diversas formas e em diferentes âmbitos de sua conjuntura. Buscamos desenvolver esta reflexão dialogando a partir de grandes temas pertinentes que estão em constante crescimento e desenvolvimento na humanidade. Faz-se necessário que cada vez mais estudos e pesquisas sejam realizados ao longo do tempo para que haja uma maior compreensão de como esta tecnologia baseada em princípios científicos tão minúsculos pode influenciar e impactar toda a sociedade brasileira bem como todo o mundo.

Nanotechnology and its impacts on society

ABSTRACT

The nanoscale, which means the billionth part of the meter, brings an enchanting universe and with-it nanoscience capable of representing, at present, contributions at large scales in the most varied areas of human knowledge. Nanotechnology uses nanoscience to create or enhance functional materials, devices, and systems by controlling matter at the atomic and molecular scale. Among the various areas where nanotechnology is used, we can highlight nanoelectronics, bionanotechnology, nanomedicine among others. Applications range from nanoencapsulated drug systems to the synthesis of biodegradable, anti-inflammatory and antimicrobial materials. This article has as main objective to demonstrate how this contemporary technology is increasingly impacting the society in its diverse scopes.

KEYWORDS: Nanotechnology. Technologic innovation. Impact on society. Nanoscale.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ) por proporcionar os conhecimentos que basilarão as nossas formações e possibilitaram as reflexões e discussões presentes nesta produção científica.

REFERÊNCIAS

AI, J. *et al.* Nanotoxicology and nanoparticle safety in biomedical designs. **International Journal of Nanomedicine**, v. 6, p. 1117–1127, 2011.

COLOMBAN, P. The Use of Metal Nanoparticles to Produce Yellow, Red and Iridescent Colour, from Bronze Age to Present Times in Lustre Pottery and Glass: Solid State Chemistry, Spectroscopy and Nanostructure. **Journal of Nano Research**, v. 8, p. 109–132, set. 2009.

FÓRUM ECONÔMICO MUNDIAL. Chapter 1: The Future of Jobs and Skills. **The Future of Jobs, 2018**. Disponível em: <<http://wef.ch/1RkF7w5>>. Acesso em: 16 de março de 2019.

FREESTONE, I. *et al.* The Lyncurus Cup — A Roman nanotechnology. **Gold Bulletin**, v. 40, n. 4, p. 270–277, dez. 2007.

FULEKAR, M. H. Book: Nanotechnology: importance and application. **IK International Publishing House**, New Delhi, 2010.

GEHRKE, I.; GEISER, A.; SOMBORN-SCHULZ, A. Innovations in nanotechnology for water treatment. **Nanotechnology, Science and Applications**, v. 8, p. 1–17, 6 jan. 2015.

GONZÁLEZ, S. **Evolução da nanotecnologia no Brasil requer aproximação entre universidade e indústria**. Disponível em: <<https://noticias.portaldaindustria.com.br/noticias/inovacao-e-tecnologia/evolucao-da-nanotecnologia-no-brasil-requer-aproximacao-entre-universidade-e-industria/>>. Acesso em: 16 de março de 2019.

IGATE RESEARCH. **Global Nanotechnology Market (by Component and Applications), Funding & Investment, Patent Analysis and 27 Companies Profile & Recent Developments - Forecast to 2024**. Disponível em: <<https://www.researchandmarkets.com/reports/4520812/global-nanotechnology-market-by-component-and>>. Acesso em: 16 de março de 2019.

INSTITUTO INOVAÇÃO. Nanotecnologia. **Knowledge Center**. 2005. Disponível em: <<http://brasil.abgi-group.com/wp-content/uploads/2010/07/Nanotecnologia.pdf>> Acesso em: 15 de março de 2019.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. ISO. **ISO/TC 229 - Nanotechnologies**. Disponível em:
<<https://www.iso.org/committee/381983.html>>. Acesso em: 15 março de 2019.

LIMA E ROCHA. NANOTECNOLOGIA APLICADA À ÁREA DA SAÚDE: MERCADO E REGULAÇÃO. **Centro de Pós-Graduação Oswaldo Cruz**. p. 8, 2014.

LONDOÑO, E.; DARLINGTON, S. U.S. and Brazil Chose Similar Leaders. It May Lead to Smoother Relations. **The New York Times**, 22 nov. 2018.

LUVIELMO, M.; LAMAS, S. Revestimentos comestíveis em frutas. **Estudos Tecnológicos em Engenharia**, v. 8, n. 1, p. 8–15, 28 nov. 2012.

MADUREIRA FILHO, D. Robotic surgery. A reality among us. **Revista do Colégio Brasileiro de Cirurgiões**, v. 42, n. 5, p. 281–282, out. 2015.

MARCHANT, G. E.; WHITE, A. An international nanoscience advisory board to improve and harmonize nanotechnology oversight. **Journal of Nanoparticle Research**, v. 13, n. 4, p. 1489–1498, abr. 2011.

MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO. **MEC**. Base Nacional Comum Curricular do ensino infantil e fundamental, 2018. Disponível em:
<<http://basenacionalcomum.mec.gov.br/wp-content/uploads/2018/02/bncc-20dez-site.pdf>>. Acesso em: 16 de março de 2019.

MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO. **MEC**. Base Nacional Comum Curricular do ensino médio, 2018. Disponível em:
<http://basenacionalcomum.mec.gov.br/wp-content/uploads/2018/04/BNCC_EnsinoMedio_embaixa_site.pdf>. Acesso em: 16 de março de 2019.

MORAN, J. **Tecnologias digitais para uma aprendizagem ativa e inovadora**. Disponível em: <http://www2.eca.usp.br/moran/wp-content/uploads/2017/11/tecnologias_moran.pdf>. Acesso em: 16 de março de 2019.

Nanotechnology - FDA's Approach to Regulation of Nanotechnology Products. **FDA**. 2018. Web Content. Disponível em:
<<https://www.fda.gov/scienceresearch/specialtopics/nanotechnology/ucm301114.htm>>. Acesso em: 16 de março de 2019.

PAULO, G. B. D. S. **Empresa brasileira de nanotecnologia faz microencapsulação de ativos para indústria**. Disponível em:
<<https://www.dci.com.br/empreendedorismo/empresa-brasileira-de-nanotecnologia-faz-microencapsulac-o-de-ativos-para-industria-1.722677>>. Acesso em: 16 de março de 2019.

PRASAD, R.; BHATTACHARYA, A.; NGUYEN, Q. D. Nanotechnology in Sustainable Agriculture: Recent Developments, Challenges, and Perspectives. **Frontiers in Microbiology**, v. 8, 20 jun. 2017.

RAJA, P. M. V. *et al.* **Safe Handling and Disposal of Nanostructured Materials**. p. 15, 2015. DOI: <https://doi.org/10.4043/25975-MS>

SCHWAB, K. A Quarta Revolução Industrial. **World Economic Forum**. 1ª edição, editora Edipro. 2016.

SURI, S. S.; FENNIRI, H.; SINGH, B. Nanotechnology-based drug delivery systems. **Journal of Occupational Medicine and Toxicology (London, England)**, v. 2, p. 16, 1 dez. 2007.

U.S GOVERNMENT. **108th Congress Public Law 153**. 3 de dezembro de 2003. Disponível em: <<https://www.govinfo.gov/content/pkg/PLAW-108publ153/html/PLAW-108publ153.htm>>. Acesso em: 16 de março de 2019.

VASCONCELOS, Y. Cientistas brasileiros produzem fibras sintéticas que mimetizam os fios de aranhas. **FAPESP**. p. 4, fevereiro de 2014.

ZHANG, B. G. X. *et al.* Bioactive Coatings for Orthopaedic Implants—Recent Trends in Development of Implant Coatings. **International Journal of Molecular Sciences**, v. 15, n. 7, p. 11878–11921, 4 jul. 2014.

Recebido: 19/03/2019.

Aprovado: 25/09/2019.

.DOI: 10.3895/rts.v16n40.9870

Como citar: ANTUNES FILHO, S.; BACKX, B.P. Nanotecnologia e seus impactos na sociedade. **R. Tecnol. Soc.**, Curitiba, v. 16, n. 40, p. 1-15, abr/jun. 2020. Disponível em: <https://periodicos.utfpr.edu.br/rts/article/view/9870>. Acesso em: XXX.

Correspondência:

Direito autoral: Este artigo está licenciado sob os termos da Licença Creative Commons-Atribuição 4.0 Internacional.

