

## **Nanociência e Nanotecnologia em foco: reflexões sobre um tema a ser abordado na educação em ciências**

### **Nanoscience and Nanotechnology in focus: reflections on a theme to be explored in science education**

**Paulo Ricardo da Silva**

Universidade Federal de Lavras/Universidade Federal de Juiz de Fora/Programa de Pós-Graduação em Química

[pauloricardo.silva@ufla.br](mailto:pauloricardo.silva@ufla.br)

 <http://orcid.org/0000-0002-4338-9824>

**José Guilherme S. Lopes**

Universidade Federal de Juiz de Fora/Programa de Pós-Graduação em Química

[guilherme.lopes@ufjf.edu.br](mailto:guilherme.lopes@ufjf.edu.br)

 <http://orcid.org/0000-0001-7257-3017>

#### **Resumo**

A Nanociência e a Nanotecnologia (N&N) vem ganhando amplo espaço no campo científico e difundindo-se cada vez mais nas mídias. Possibilita a articulação entre várias áreas de conhecimento e contribui para novas abordagens a respeito do mundo natural, implicando no desenvolvimento de novas tecnologias que podem impactar a organização da sociedade. Entretanto, não é um tema consensual, marcado por debates no campo científico e social, muitas vezes é veiculado de maneira equivocada nas mídias de massa, além de ser pouco explorado no ensino de Ciências Naturais. Dessa forma, o presente artigo tem o objetivo de apresentar reflexões teóricas envolvendo conceitos e aplicações da N&N, aspectos controversos, como a mídia vem abordando este assunto e aspectos que possibilitam sua inserção na Educação Básica, a partir de um levantamento bibliográfico de artigos, teses e dissertações e publicações em eventos da área de ensino de Ciências Naturais.

**Palavras-chave:** Divulgação. Ensino de Ciências. Nanociência e Nanotecnologia.

## Abstract

Nanoscience and Nanotechnology (N&N) has been conquering ample space in the scientific field and is spreading throughout in the media. It enables the articulation between several areas of knowledge and contributes to new approaches regarding the natural world, implying the development of new technologies that can impact the organization of society. However, it is not a consensual topic, marked by debates in the scientific and social field, besides being often misused in mass media and little explored in Natural Sciences Teaching. Therefore, this article aims to present theoretical reflections involving concepts and applications of N&N, controversial aspects, how the media has been approaching this subject and aspects that allow their insertion in Basic Education, from a bibliographic survey of articles, theses and dissertations and publications at events in the area of Natural Sciences Teaching.

**Keywords:** Divulagation. Science Teaching. Nanoscience and Nanotechnology.

## Introdução

A Nanociência e a Nanotecnologia (N&N) vem permitindo-nos vislumbrar novas compreensões acerca do mundo natural, principalmente no que diz respeito às propriedades de materiais, com impacto crescente na organização da sociedade via desenvolvimento de novas tecnologias. Uma vez que este é um tema que vem difundindo-se cada vez mais nas mídias (NOVO, 2013), entendemos que é interessante empreender esforços buscando investigar como a temática vem se apresentando à sociedade e de que maneira pode contribuir para a formação científica da população.

Peter Schulz relatou em 2005 (SCHULZ, 2005) que o termo nanotecnologia aparecia 33.400 vezes em uma busca rápida no buscador de informações *Google*. Hoje, corridos 15 anos, a mesma pesquisa revela um número que extrapola os 6.100.000<sup>1</sup>. Se utilizado o termo correspondente em inglês, encontramos um número de 34.600.000<sup>2</sup>, revelando grande crescimento desta área.

Apesar dos termos Nanociência e Nanotecnologia se referirem a conceitos distintos, conforme será abordado no próximo tópico, neste texto, optamos por nos referir a elas em conjunto, utilizando a abreviatura N&N, considerando que ambas possuem estreita relação, principalmente quando tratadas do ponto de vista ontológico, pois compartilham aspectos como: aplicações, equipamentos, materiais, métodos e técnicas, propriedades e teorias (KAZAMA, ZAVAGLIA e ALMEIDA, 2010).

Este texto tem como objetivo apresentar conceitos básicos e aplicações da N&N, algumas controvérsias envolvidas, como este tema vem se difundindo na sociedade e

<sup>1</sup>[https://www.google.com/search?rlz=1C1CHZL\\_pt-BRBR768BR768&ei=fipWX5mrIujq5OUPloS-kAM&q=nanotecnologia&oq=nanotecnologia&gs\\_lcp=CgZwc3ktYWIQAziFCAAQsQMyAggAMgIIADICCAAyAggAMgIIADICCAAyAggAMgIIADICCAA6BwgAEecQsAM6CAguELEDEIMBOgUILhCxAzolCAAQsQMqgwE6CgguELEDEEMQkwI6CgguELEDEIMBEEM6BAgAEEM6BAguEEM6BwgAELEDEEM6BwguEEMQkwI6BwguELEDEENQyhRYgjFg2TJoBHAAeACAAXyIAdENkgEENi4xMZgBAKABAaoBB2d3cy13aXrAAQE&scient=psy-ab&ved=0ahUKEWjZ4qbPiNfrAhXqEbkGHRaCDzIQ4dUDCA0&uact=5](https://www.google.com/search?rlz=1C1CHZL_pt-BRBR768BR768&ei=fipWX5mrIujq5OUPloS-kAM&q=nanotecnologia&oq=nanotecnologia&gs_lcp=CgZwc3ktYWIQAziFCAAQsQMyAggAMgIIADICCAAyAggAMgIIADICCAAyAggAMgIIADICCAA6BwgAEecQsAM6CAguELEDEIMBOgUILhCxAzolCAAQsQMqgwE6CgguELEDEEMQkwI6CgguELEDEIMBEEM6BAgAEEM6BAguEEM6BwgAELEDEEM6BwguEEMQkwI6BwguELEDEENQyhRYgjFg2TJoBHAAeACAAXyIAdENkgEENi4xMZgBAKABAaoBB2d3cy13aXrAAQE&scient=psy-ab&ved=0ahUKEWjZ4qbPiNfrAhXqEbkGHRaCDzIQ4dUDCA0&uact=5) – acessado em 07/09/2020. A busca foi realizada inserindo o termo “nanotecnologia” na caixa de pesquisa do Google.

<sup>2</sup>[https://www.google.com/search?rlz=1C1CHZL\\_pt-BRBR768BR768&ei=hipWX9TAESPF5OUPtNSZ6Ak&q=nanotechnology&oq=nanotechnology&gs\\_lcp=CgZwc3ktYWIQAziCAAyAggAMgIIADICCAAyAggAMgIIADICCAAyAggAMgIIADICCAA6BwgAEecQsAM6BAgAEAo6BAgAEEM6BAgAEA1Q3uEHWNOHCGClqQhoAHAAeACAAYUBiAHmBZIBAzuNZgBAKABAaoBB2d3cy13aXrAAQE&scient=psy-ab&ved=0ahUKEWjUm\\_SiNfrAhXDirkGHTRqBp0Q4dUDCA0&uact=5](https://www.google.com/search?rlz=1C1CHZL_pt-BRBR768BR768&ei=hipWX9TAESPF5OUPtNSZ6Ak&q=nanotechnology&oq=nanotechnology&gs_lcp=CgZwc3ktYWIQAziCAAyAggAMgIIADICCAAyAggAMgIIADICCAAyAggAMgIIADICCAA6BwgAEecQsAM6BAgAEAo6BAgAEEM6BAgAEA1Q3uEHWNOHCGClqQhoAHAAeACAAYUBiAHmBZIBAzuNZgBAKABAaoBB2d3cy13aXrAAQE&scient=psy-ab&ved=0ahUKEWjUm_SiNfrAhXDirkGHTRqBp0Q4dUDCA0&uact=5) – acessado em 07/09/2020. A busca foi realizada inserindo o termo “nanotechnology” na caixa de pesquisa do Google.

possíveis relações com o Ensino de Ciências Naturais. Ou seja, buscamos contribuir para ampliar o debate a respeito da N&N enquanto assunto com potencial para abordagem na Educação em Ciências. O texto está estruturado de acordo com a sequência: lógica de organização interna (conceitos, definições e aplicações da N&N); como a N&N se expande do campo científico para a sociedade (divulgação pela mídia) e a chegada da N&N na educação escolar (com foco no Ensino de Ciências Naturais).

Cabe destacar que foi feita uma revisão bibliográfica de trabalhos nacionais (principalmente) e internacionais, usando periódicos da área de Ensino de Ciências, como Química Nova na Escola, Ciência & Educação e Revista Brasileira de Ensino de Física; também foram utilizados para a revisão anais de eventos como o Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências (ENPEC) e o Encontro Nacional de Ensino de Química (ENEQ), bem como identificação de teses e dissertações envolvendo o ensino de N&N.

### **A escala nanométrica: processo de desenvolvimento da N&N e algumas aplicações**

As primeiras ideias a respeito deste campo de conhecimento são atribuídas ao físico norte-americano Richard Feynman (1918-1988), destacando uma palestra por ele conferida em um encontro da American Physical Society em 1959, denominada “There is a plenty of room at the bottom” (Há muito espaço lá embaixo) (ALVES, 2004; SCHULZ, 2005; TOMA, 2009). Nesta palestra, o aclamado físico chegou a vislumbrar a possibilidade de armazenar toda a informação contida na Enciclopédia Britânica<sup>3</sup> na ponta de um alfinete.

A partir deste “marco”, diversos países começaram a empreender esforços neste campo, que de certa forma já vinha se constituindo lentamente ao longo do século anterior com o desenvolvimento da microscopia e suas vertentes, bem como novas formas de identificar e manipular materiais em escalas cada vez menores (JOACHIM e PLEVERT, 2009).

Alves (2004) apresenta alguns momentos históricos como importantes para o desenvolvimento da N&N, destacando as contribuições de norte-americanos, japoneses e de alguns países europeus, como observado na tabela 1.

Tabela 1: Breve cronologia da nanotecnologia.

1959	Conferência de Richard Feynman, na Reunião da Sociedade Americana de Física.
1966	Lançamento do filme Viagem Fantástica ( <i>Fantastic Voyage</i> ), baseado no livro de Isaac Asimov.
1974	O Físico Norio Taniguchi cunha o termo nanotecnologia.
1981	Publicação do trabalho de Gerd Binnig e Heinrich Rohrer, criadores do microscópio eletrônico de tunelamento ( <i>scanning tunneling microscope</i> ).
1985	Descoberta dos fulerenos, por Robert Curl, Harold Kroto e Richard Smalley.
1986	Publicação do livro de Eric Drexler, “ <i>Engines of Creation</i> ”.
1989	O Físico Donald Eigler escreve o nome IBM (International Business Machines) com átomos de xenônio.

<sup>3</sup> Naquela época a Enciclopédia Britânica era composta por 24 volumes, o que gerava grande expectativa, uma vez que a ideia de armazenamento de informação em espaços cada vez menores era de grande interesse geral. Atualmente, com a eletrônica e a computação cada vez mais desenvolvidas, lidamos com essa realidade a todo momento.

2000	A Administração Clinton (EUA) lança no California Institute of Technology, a <i>National Nanotechnology Initiative</i> .
2001	O biofísico holandês, Cees Dekker, demonstrou que os nanotubos poderiam ser usados como transistores ou outros dispositivos eletrônicos.
2001	Equipe da IBM (EUA) constrói rede de transistores usando nanotubos, mostrando mais tarde o primeiro circuito lógico à base de nanotubos.
2002	O químico da Northwestern University (EUA), Chad Mirkin, desenvolve plataforma, baseada em nanopartículas, para detecção de doenças contagiosas.

Fonte: Adaptado de Alves (2004).

Vale destacar que a N&N teve um grande impulso nas décadas de 1970 e 1980, principalmente devido à construção do microscópio eletrônico de tunelamento e de alguns nanomateriais à base de carbono (grafeno, nanotubos, fulereno). O termo nanotecnologia foi cunhado em meados da década de 1970, por Norio Tanigushi (TANIGUSHI, 1974), que atuava na Tokio Science University, desenvolvendo pesquisas na área de processamento de ultra-precisão de materiais empregando feixes de energia. Outra importante contribuição para o desenvolvimento desta área está ligada aos trabalhos do engenheiro norte-americano Eric Drexler, principalmente a ideia apresentada no livro “Engines of creation” (Máquinas da Criação), na qual o pesquisador teoriza sobre a possibilidade de construir nanomáquinas inteligentes<sup>4</sup>.

Materiais organizados na escala nanométrica podem apresentar novas propriedades físico-químicas (FURLAN, 2009; GATOO *et al.*, 2014; ZARBIN e OLIVEIRA, 2013), até então não observadas na escala macroscópica ou em aglomerados envolvendo poucos átomos, tais como: variações em propriedades espectroscópicas como a cor; variações na reatividade e na condutividade térmica e elétrica, por exemplo. Isso se deve a mudanças na estrutura eletrônica dos materiais, influenciadas, por exemplo pela forma ou aumento na área superficial (GATOO *et al.*, 2014). Outro ponto a ser considerado são as forças que influenciam o comportamento e as propriedades dos nanomateriais: nesta escala predominam os efeitos quânticos e as interações de Van der Waals, em detrimento de grandezas físicas macroscópicas como o atrito, por exemplo.

De maneira geral, a N&N envolve o estudo e a manipulação de materiais organizados em valores compreendidos no intervalo 1-100 nanômetros (BERG, 2010; GATOO *Et al.*, 2014; ZARBIN e OLIVEIRA, 2013). Quanto à preparação ou obtenção, as nanopartículas ou os nanomateriais podem ser produzidos por dois métodos distintos: em sentido ascendente, a partir de átomos e moléculas, onde tais entidades vão sendo interligadas até atingirem o tamanho de interesse na escala nanométrica; este método é conhecido como *bottom up*<sup>5</sup>. O segundo método baseia-se no sentido descendente, onde macroestruturas podem ser clivadas ou reduzidas ao tamanho nanométrico, sendo conhecido como *top down*<sup>6</sup> (TOMA, 2009).

Inúmeras aplicações vem sendo desenvolvidas e vislumbradas: os nanotubos de carbono (folha de grafeno “dobradas” de maneira a formar um cilindro), que podem ser utilizados no campo da eletrônica, no desenvolvimento de filmes finos, sensores e biosensores (ZARBIN e OLIVEIRA, 2013); nanocompósitos (nanomateriais associados a polímeros e resinas), oferecem maior proteção contra a umidade, resistência e leveza a

<sup>4</sup> Eric Drexler propôs a possibilidade de manipular átomos para desenvolver qualquer tipo de material, especificamente nanorrobôs, que poderiam desempenhar funções específicas, o que pode trazer uma revolução sem precedentes para a humanidade.

<sup>5</sup> De baixo para cima.

<sup>6</sup> De cima para baixo.

novos produtos, podendo diminuir a quantidade de plástico consumida (TOMA, 2009); no tratamento de câncer por exemplo, por meio da liberação controlada de medicamentos diretamente no alvo de interesse: o medicamento é funcionalizado com nanopartículas que o “protegem” contra a degradação prematura via interação com outros sítios no organismo humano (ROSSI-BERGMAN, 2008; FAROKHZAD e LANGER, 2009), entre diversas outras tantas aplicações.

Podemos apreender que a N&N vem trazendo novas perspectivas para a Ciência e para a sociedade, de maneira que as previsões se mostram promissoras. Adicionalmente, pode ser entendida como uma área interdisciplinar (PORTER e YOUTIE, 2009), uma vez que promove e, de certa forma, exige a articulação entre diversos campos de pesquisa e de profissionais das mais diversas áreas. Por outro lado, por ser relativamente recente, pode trazer consigo desafios até então desconhecidos e até mais complexos do que os que vivenciamos hoje, justamente pelo fato de se saber pouco sobre possíveis impactos negativos, como por exemplo, a questão da toxicologia de nanomateriais (MARTINEZ e ALVES, 2013). Entretanto, o uso de termos como “máquinas moleculares”, por exemplo, pode contribuir para uma visão equivocada da N&N, ou seja, de que esta área busca a transformação de objetos grandes em objetos menores. O ponto central é: a N&N ultrapassa a simples miniaturização!

De acordo com Schulz (2005), a compreensão da N&N exige superar a ideia da simples miniaturização de objetos, apresentando a seguinte comparação: os primeiros relógios por nós construídos eram constituídos por grandes engrenagens e pêndulos; atualmente, podemos encontrar alguns modelos de relógio em tamanho reduzido, por exemplo, de parede ou de pulso (pensando somente em termos de relógios mecânicos). Ou seja, o relógio com componentes mecânicos, pêndulos e as demais características que conhecemos sofreu um processo de miniaturização ao longo do tempo, permitindo intensas modificações.

Podemos dizer que este processo de miniaturização, ou de busca por maximização na relação eficiência/tamanho de certa forma acompanha a humanidade ao longo da história e muito contribuiu para o desenvolvimento de diversas tecnologias, bem como para alcançarmos o patamar atual. Entretanto, este exemplo do relógio, como diversos outros, não retrata o que se conhece como N&N. De acordo com Schulz (2005, p. 58)

O prefixo nano descreve uma ordem de grandeza, vem do grego e quer dizer essencialmente um bilionésimo de alguma coisa. No caso atual estamos interessados em um bilionésimo de metro, o nanômetro. Nanociência e nanotecnologia são, portanto, ciência e tecnologia que acontecem ou são feitas nessa escala de comprimento, mas de maneira controlável e reprodutível, envolvendo fenômenos que muitas vezes não ocorrem em outras escalas de tamanho. Em outras palavras, não estamos falando simplesmente de miniaturização de algo grande para algo muito pequeno. (SCHULZ, 2005, p. 58).

Dessa forma, apreende-se que N&N envolve um campo de estudo no qual há a possibilidade de emergência de propriedades não observadas em outras escalas para um determinado material ou substância, o que gera interesse pelo estudo e desenvolvimento de pesquisas nesta área.

À guisa de fechamento deste tópico, podemos dizer que, apesar dos inúmeros exemplos favoráveis apresentados, a N&N suscita controvérsias no campo científico e na sociedade de modo geral, e apresentaremos alguns aspectos ligados a esta questão na sequência.

## Controvérsias ligadas à Nanociência e à Nanotecnologia

Embora apresente aplicações nas mais diversas áreas e possibilite vislumbrar novas perspectivas no campo científico, a N&N desperta debates e críticas, dividindo pesquisadores das mais diversas instituições a nível global. Peter Schulz (2009) bem ilustra essa questão, ao escrever que

A palavra “nanotecnologia” aparece em frases que falam sobre “nova Revolução Industrial”, “melhoria da qualidade de vida e desempenho humano”, “revolução invisível” ou “acabar com a fome no mundo e curar doenças”. Por outro lado, a “inovação é um elemento fundamental no desenvolvimento econômico”, melhor dizendo: “ciência. Tecnologia e inovação para o desenvolvimento nacional”, de preferência “sustentável e visando a inclusão social” [...] podemos verificar que tudo o que está entre aspas é positivo, mas inovação e nanotecnologia são também frequentemente associadas à exclusão social, riscos de crescimento não-sustentável, impactos ambientais negativos e sobre a saúde [...] Em resumo, inovação é associada tanto a aspectos positivos quanto negativos, tal como a nanotecnologia. (SCHULZ, 2009, p. 8).

No campo científico, ao mesmo tempo em que a cada dia surgem artigos sugerindo diversas aplicações advindas da nanotecnologia, como por exemplo o uso de nanotubos como biosensores, auxiliando no diagnóstico e tratamento de câncer, também surgem trabalhos advertindo sobre o potencial cancerígeno dos mesmos nanotubos (SCHULZ, 2009). Na França, país que muito vem contribuindo para o crescimento da N&N, este debate mostra-se bastante acirrado, de maneira que as críticas tecidas à N&N chegam a prever um futuro “sombrio” (JOACHIM e PLEVERT, 2009).

Joachim e Plevert (2009) relatam também que tal preocupação está mais fortemente presente nos países ocidentais, principalmente na Europa e nos Estados Unidos, onde, segundo os autores, supostamente há maior interesse da população sobre as questões científicas e, conseqüentemente, maiores críticas e preocupações em relação à N&N.

A demanda de regulamentação da produção e utilização dos nanomateriais, sobretudo os fabricados a partir de nanopartículas, é cada vez maior nos países ocidentais. Todos têm na memória o caso do amianto, que poderia ser responsável por cerca de 100 mil mortos nos próximos 20 anos. As nanopartículas preocupam, pois se imagina que possam atingir os alvéolos mais profundos dos pulmões, transpor as barreiras biológicas (cerebral ou intestinal) e passar para o sangue com mais facilidade que partículas mais volumosas (JOACHIM e PLEVERT, 2009, p. 119).

No Brasil, também podemos perceber correntes favoráveis e contrárias ao desenvolvimento da N&N. De maneira geral, a comunidade científica que trabalha diretamente com N&N vem empreendendo esforços para o desenvolvimento da área, ao passo que pesquisadores da área de Ciências Humanas<sup>7</sup> e da Saúde vem defendendo maior regulamentação das pesquisas na área, na perspectiva da precaução, tendo como argumentos principais o desconhecimento de possíveis efeitos dos produtos nanotecnológicos para a saúde humana (DELGADO e PAUMGARTTEN, 2013; HOHENDORF, COIMBRA e EMGELMANN, 2016; MARTINEZ e ALVES, 2013).

---

<sup>7</sup> Neste campo destaca-se o sociólogo Paulo Roberto Martins, que vem atuando ativamente na promoção de debates a respeito da regulamentação da pesquisa em N&N no Brasil, sendo inclusive o idealizador e coordenador da Rede de Pesquisa em Nanotecnologia, Sociedade e Meio Ambiente (Renanosoma), cuja página pode ser acessada pelo link: <http://www.nanotecnologiadoavesso.org/>.

Enquanto cientistas e grande parte da mídia enfatizam os fantásticos potenciais da nanotecnologia, principalmente para a área biomédica, ecologistas e ambientalistas questionam seus impactos ambientais inesperados. As narrativas sobre a nanotecnologia variam entre os extremos do pavor e do entusiasmo (PYRRHO e SCHRAMM, 2012, p. 2026).

Assim, abre-se uma nova perspectiva ligada aos riscos associados a N&N, que vem sendo denominada Nanotoxicologia (JOACHIM e PLEVERT, 2009; MARTINEZ e ALVES, 2013; SCHULZ, 2009). De maneira geral, esta área emerge devido à preocupação com os possíveis efeitos toxicológicos das nanopartículas e nanomateriais, considerando que apresentam novas propriedades, podendo apresentar novas formas de interação com organismos vivos e com o meio ambiente (MARTINEZ e ALVES, 2013).

No que diz respeito aos mecanismos de regulamentação e precaução quanto à nanotoxicidade no Brasil, Pyrrho e Schramm (2012) mostram-se contrárias as políticas de regulação atuais, que, de acordo com as autoras, vem negligenciando estudos e apontamentos ligados aos riscos dos nanomateriais. Destacam, ainda, dois aspectos éticos intimamente ligados ao advento da N&N: a incerteza e a condição humana. Quanto ao primeiro aspecto, advogam que a N&N é condicionada pelo desconhecido e pela imprevisibilidade, fatores que podem contribuir para o receio quanto às novas perspectivas. Já o segundo aspecto diz respeito à possibilidade de criar novos “padrões” humanos, uma vez que a N&N abre perspectivas de manipulação e modificação do DNA, cuja estrutura está compreendida na escala nanométrica. Segundo Pyrrho e Schramm (2012)

De maneira geral, apesar das controvérsias envolvidas, a N&N se apresenta como uma área de pesquisa relevante e que merece investimentos; entretanto, devido ao fato da imprevisibilidade quanto as propriedades e de estudos que mostram potenciais tóxicos dos nanomateriais, é importante buscar um equilíbrio entre a crítica aos riscos bem como a defesa das potencialidades associados à N&N, tanto na pesquisa como na divulgação deste assunto para a população em geral, foco da discussão a seguir.

## **A mídia e a imagem da N&N**

Conforme debatido anteriormente, o forte crescimento da N&N observado principalmente na última década vem sendo acompanhado por inúmeras controvérsias e críticas, tanto favoráveis como desfavoráveis. Ademais, as inúmeras promessas vislumbradas começam a se materializar em produtos comercializados nos ramos alimentício, da saúde e nos mais diversos acessórios (SCHULZ, 2009; TOMA, 2009), o que vem gerando um mercado economicamente lucrativo. Desta forma, este assunto ultrapassa a comunidade científica e já vem se difundido na sociedade, de maneira que já somos consumidores de produtos advindos deste mercado, inclusive de produtos equivocadamente definidos como de N&N. Neste sentido, N&N é um assunto que ganha espaço na mídia, que por sua vez, possui forte impacto na percepção pública a respeito do tema.

Dias (2017) buscou analisar como a N&N é retratada na mídia britânica, avaliando as publicações na forma de texto em *sites* de dois jornais do Reino Unido (BBC<sup>8</sup> News e The Guardian), entre os anos de 2009 e 2012. Verificou que a maioria dos textos estão ligados à área de saúde, considerando que assuntos nesta área possuem alto valor-

---

<sup>8</sup> A sigla BBC significa British Broadcasting Corporation (Corporação de Transmissão Britânica).

notícia<sup>9</sup>. Desta forma, boa parte dos textos concentrou-se em apresentar impactos positivos para o ser humano e para o dia-a-dia em detrimento de narrativas com foco em conflitos e controvérsias, apesar de o autor considerar que este último critério também possui alto valor-notícia.

No contexto brasileiro, Amorim (2008) analisou como a N&N foi abordada no Jornal Folha de São Paulo. Em sua análise, investigou 61 textos publicados entre 1996 e 2007 e verificou a marca do otimismo em relação à N&N nos textos analisados. Do total de artigos analisados, 49 versavam sobre as potencialidades, sete sobre possíveis riscos e cinco traziam algumas descobertas sem um posicionamento. Entretanto, a autora mostra que ao longo dos anos, houve uma diminuição do apelo aos aspectos supervalorização da área, visto o crescimento de trabalhos científicos mostrando produtos concretos e menos “sensacionais”.

Invernizzi (2008) investigou como a N&N foi abordada no Jornal da Ciência e no Boletim da Sociedade Brasileira para o Progresso da Ciência entre os anos de 2002 e 2007 e percebeu que a maioria dos textos apresentavam membros da comunidade científica e não valorizavam, por exemplo, membros de organizações não-governamentais, da política ou da opinião pública, os quais vem se caracterizando como um dos grupos que suscitam o debate sobre os aspectos negativos e da regulamentação da pesquisa e do uso da N&N.

Novo (2013) acompanhou as reportagens sobre N&N nas revistas *Veja* e *Scientific American* entre junho de 2009 e junho de 2011, considerando o alcance público das duas revistas, bem como o perfil dos leitores. Na análise realizada, percebeu que, nas reportagens publicadas pela revista *Veja*, há predomínio de empresas como fontes de informação, forte presença de figuras públicas e os textos são escritos na maioria por repórteres, enquanto na revista *Scientific American* (revista especializada na área científica) os cientistas e as universidades da comunidade estrangeira aparecem como a maior fonte de consulta dos textos produzidos. Vale ressaltar que tais diferenças possivelmente estão relacionadas aos valores-notícia atribuídos por cada revista às reportagens. Apesar das diferenças, houve consonância no teor das notícias publicadas em ambas as revistas: abordagem exclusiva dos benefícios e produtos advindos da N&N, sem apresentar possíveis riscos e impactos negativos.

Portanto, de maneira geral, podemos perceber que há uma tendência a maior valorização de aspectos positivos em detrimento de riscos e possíveis impactos negativos relacionados à N&N na mídia, o que pode contribuir para a difusão de concepções equivocadas a respeito da temática entre a população, induzindo principalmente o surgimento de visões “fantásticas” ou “salvacionistas” sobre a N&N.

Concluimos que é necessário investir em ações educativas, como por exemplo, a produção de jornais com foco na divulgação científica para estudantes da Educação Básica (ERTHAL, 2017), que propiciem a construção de uma visão mais crítica pela população a respeito da N&N, de maneira a considerar suas potencialidades ao mesmo tempo em que se avalie possíveis riscos e impactos. Ou seja, destacando as duas visões que atualmente se apresentam na comunidade científica e na sociedade, para que as pessoas possam ter subsídios concretos para a formação de suas opiniões sobre este tema. Dessa forma,

---

<sup>9</sup> Valor-notícia pode ser entendido como um conjunto de critérios que possibilitam um acontecimento se tornar notícia. Tais critérios consideram, entre outros aspectos: frequência ou duração do acontecimento (considerando a periodicidade do veículo de comunicação), amplitude do acontecimento (número de pessoas envolvidas, carga dramática), clareza, significância, o inesperado, continuidade, personalização, negatividade, referência a pessoas da elite (MOREIRA, 2006). Ou seja, é o conjunto de fatores que envolvem a possibilidade de um acontecimento atingir a população e, conseqüentemente, gerar audiência para o meio que o divulga.

optamos agora em levar as discussões sobre N&N para o campo educacional, mais especificamente no Ensino de Ciências Naturais.

## **N&N no contexto do Ensino de Ciências**

A partir das questões levantadas anteriormente, entendemos que a N&N se configuram como um relevante tema sociocientífico, uma vez que envolve questões ambientais, políticas, econômicas, éticas, sociais e culturais envolvendo ciência e tecnologia (SANTOS e MORTIMER, 2009; SANTOS, AMARAL e MACIEL, 2012), além de ser um tema atual. Segundo Siqueira-Batista et al. (2010, p. 479)

[...] a apreciação de temas da atualidade se constitui em abordagem bastante salutar para motivar as discussões sobre tais temáticas em sala de aula. Neste domínio se inserem a nanociência e a nanotecnologia, saberes que podem ser abordados de forma interdisciplinar, envolvendo as ciências exatas e da natureza de forma articulada às ciências humanas e sociais.

Cada vez mais cresce o interesse da sociedade a respeito da N&N, e faz-se necessário criar condições para que as pessoas possam se posicionar criticamente frente à emergência deste tema, bem como na medida em que novos temas científicos surgem e se difundem no meio social.

O estudo de qualquer problemática vinculada à nanotecnologia insere-se numa polêmica reconhecidamente forte desde o início, tanto por suas implicações quanto pelo que afeta a relação entre natureza e cultura. As implicações, sobretudo, no campo do debate ético, legal e social, são de tal relevância que o estudo da intervenção das nanotecnologias é por si um desafio que não apavora, mas atrai por sua inediticidade. O questionamento ético da nanotecnologia se constitui numa problematização que é o fundamento e conduz diretamente a discussões filosóficas e políticas contemporâneas que estas representam, sobretudo, por não terem surgido repentinamente, mas senão se constituído em relação a uma série de desenvolvimentos tecnológicos precedentes [...] (SILVA, 2003, p. 11).

Portanto, apresenta-se a Tabela 2 com características que, em nosso ponto de vista, possibilitam a inserção da N&N no âmbito da educação escolar e, mais especificamente, no Ensino de Ciências, potencializando a formação de cidadãos críticos e melhor informados a respeito dos resultados do conhecimento produzidos pela Ciência.

Tabela 2: Características que qualificam a N&N como um tema relevante para o ensino.

Envolve diversos conceitos das áreas de Biologia, Física e Química.
Possuem característica interdisciplinar e possibilitam tal abordagem.
É um tema controverso.
É atual e presente na mídia.
É pouco explorado de forma crítica, exigindo abordagens mais sistematizadas.
É de interesse da comunidade científica e da sociedade de modo geral.
Suscita o debate de questões políticas, econômicas, éticas e ambientais.
Demanda melhor compreensão pública.

Fonte: Elaborado pelos autores.

No que diz respeito à abordagem da N&N no Ensino de Ciências Naturais, percebe-se que tal assunto aparece timidamente. Trabalhos de análise deste tema em livros didáticos (CAMARA e PROCHNOW, 2016; SILVA e LOPES, 2016) e pesquisas bibliográficas (JESUS e HIGA, 2014; SIQUEIRA-BATISTA et. al., 2010) são observados predominantemente em eventos da área.

De maneira geral, podemos observar três tendências principais nas publicações envolvendo N&N no Ensino de Ciências Naturais:

1 - Textos de divulgação sobre o tema: Gomes, Costa e Mohallem (2016); Schulz (2005); Silva, Viana e Mohallem (2009); Toma (2005);

2 - Ações envolvendo estudantes da Educação Básica: Blonder e Sakhini (2012); Clebsch e Watanabe (2017); Ellwanger (2010); Ellwanger, Mota e Fagan (2014); Gama (2013); Leite et al. (2013); Leonel (2010); Lourenço et al. (2017); Pereira, Honório e Sannomiya (2010); Rebello et al. (2012); Stravou et al. (2015); Tasca et al. (2014);

3 - Perspectivas para a formação de professores Bassoto (2011); Ekli e Sahin (2010); Fernandes (2016); Leonel e Souza (2009); Lima e Almeida (2012); Pereira (2009); Silva e Lopes (2019); Tomkelski, Scremin, Fagan (2019).

Na primeira tendência, os textos procuram aproximar a N&N dos professores e dos estudantes da Educação Básica; assim é possível observar a busca pelo equilíbrio entre termos excessivamente específicos e uma linguagem mais próxima do público-alvo, além do uso de analogias para facilitar o processo de transposição didática:

Com a atual publicidade de temas envolvendo nanociência e nanotecnologia, os professores têm que estar preparados para responder perguntas de crianças e adolescentes curiosos. Esses professores[...] precisam saber que a nanotecnologia não é um novo e separado campo de conhecimento, mas envolve conceitos já dominados por eles como átomos e moléculas, tamanho de partículas, escalas métricas, área superficial específica, adesão, entre outros [...] Com a história de Rita, buscamos abordar vários desses conceitos de uma maneira fácil e didática, que poderá auxiliar professores e alunos a se inteirarem do fabuloso mundo da nanotecnologia (SILVA, VIANA e MOHALLEM, 2009, p. 178).

O professor Henrique Toma, um dos pioneiros na divulgação da N&N no Brasil, em seus textos (TOMA, 2005) traz um breve histórico e um panorama da área. Também discute inúmeros conceitos e aplicações, como a gravação de diferentes mídias, o desenvolvimento de dispositivos moleculares, ligados principalmente aos materiais eletrônicos, como telas de telefones celulares e computadores, circuitos eletrônicos, entre outros.

Quanto à segunda tendência, que concentra maior número de publicações, observamos a análise de concepções de estudantes (LOURENÇO et al., 2017), proposição, aplicação e avaliação de atividades experimentais com alunos do Ensino Fundamental e Médio (BLONDER e SAKHNINI, 2012; GAMA, 2013; REBELLO et al., 2012; TASCA et. al., 2014), uso de tecnologias da informação e comunicação (CLEBSCH e WATANABE, 2017; ELLWANGER et. al., 2012), levantamento de materiais e recursos didáticos (PEREIRA, HONÓRIO e SANNOMIYA, 2010) e minicursos e aulas expositivas dialogadas (LEITE et al., 2013; LEONEL e SOUZA, 2009; STRAVOU et al., 2015).

Ao analisar as concepções de estudantes das três séries do ensino médio por meio de desenhos, Lourenço et al. (2017, p. 40) perceberam que

As concepções dos alunos, em sua maioria, sobre Nanotecnologia permeavam um conhecimento desta área como relacionada a aparelhos eletrônicos e circuitos eletrônicos. Apenas uma pequena parcela dos alunos

apresentou uma relação da Nanotecnologia com, por exemplo, átomos e moléculas e fez uma relação desta área do conhecimento com escala de tamanho. Identificamos também que não houve diferença significativa das concepções dos alunos com relação à série do ensino médio que cursa (LOURENÇO et al., 2017, p. 40).

O trabalho de Rebello *et al.* (2012) buscou abordar a N&N a partir da perspectiva Ciência, Tecnologia e Sociedade (CTS) em turmas do primeiro ano do Ensino Médio de uma escola pública. Neste trabalho, os autores desenvolveram um experimento de formação de nanopartículas magnéticas de  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  (magnetita ou óxido de ferro (II e III)). A partir de materiais de baixo custo e fácil acesso, foram apresentados conceitos de reação química, cátions e ânions, uma simulação virtual da formação de nanocompostos de magnetita e quitosana, que possuem potencial farmacológico, além do papel da nanociência e nanotecnologia atualmente. Entretanto, são poucos os trabalhos que lançam mão de atividades experimentais para a abordagem deste tema; de acordo com Jesus e Higa (2014, p. 7):

No ensino de Ciências da Natureza (Física Química e Biologia) a experimentação é uma atividade bastante utilizada, mas no ensino de nanotecnologia isso não ocorre tão intensamente, possivelmente porque a temática não favoreça a utilização de tal atividade no contexto brasileiro [Educação Básica], talvez pela carência de estrutura de laboratórios de ensino (JESUS e HIGA, 2014, p. 7).

Ellwanger *et al.* (2012) desenvolveram um módulo didático envolvendo diferentes etapas, abordando curiosidades a respeito do tema, como as implicações da escala, simulações sobre o comportamento de nanopartículas e lançando mão de textos de divulgação científica que versavam sobre N&N. Perceberam que a linguagem mais formal em alguns textos utilizados limitou a compreensão dos estudantes em alguns momentos, mas de forma geral, ao final do módulo, apresentaram bons argumentos nas produções textuais avaliadas.

Pereira, Honório e Sannomiya (2010, p. 74) afirmam que “A aprendizagem e o entendimento do tema Nanotecnologia, bem como suas aplicações, é fundamental no ambiente escolar.” Dessa forma, realizaram um extenso levantamento de recursos on-line ligados à N&N. Observaram que a maioria dos materiais encontrados é de origem estrangeira e que ainda existe certa dificuldade em adaptar os materiais em uma linguagem mais apropriada para os alunos da Educação Básica.

Stravou *et al.* (2015) desenvolveram uma sequência de ensino para estudantes com idade entre 14 e 15 anos, ou seja, equivalente ao primeiro ano do Ensino Médio no Brasil, abordando conceitos como tamanho e escala, propriedades dependentes do tamanho, ferramentas e instrumentação e as relações entre Ciência, Tecnologia e Sociedade. Perceberam que os estudantes conseguiram desenvolver conceitos básicos a respeito de N&N, além de relacionar questões sociais e éticas com ciência e tecnologia. De maneira geral, as principais dificuldades dos estudantes estavam ligadas ao entendimento e à comparação de tamanhos no nível microscópico, além de explicar as mudanças nas propriedades do ouro quando em diferentes tamanhos na escala nanométrica.

Com relação à terceira tendência, em seu trabalho de mestrado, Fernandes (2016) desenvolveu uma série de atividades com futuros professores de Química: foram levantadas as concepções dos licenciandos sobre N&N, também foram desenvolvidas atividades envolvendo a construção de conceitos, bem como vislumbrando a abordagem de N&N na Educação Básica, considerando que os licenciandos estavam desenvolvendo

seus estágios em escolas no referido período. Entretanto, verificou dificuldades por parte dos licenciandos quanto ao desenvolvimento de abordagens envolvendo N&N.

No que diz respeito a efetiva utilização da temática pelos licenciandos pesquisados, foi possível observar que a maioria se interessou pelo tema, mas não sentiram-se seguros para trabalhar durante o estágio. Os motivos para tal constatação poderiam estar na insegurança comum aos estagiários, na falta de domínio do tema por não conhecê-lo bem ou ainda na resistência dos professores titulares da disciplina em quebrar a sequência dos conteúdos da grade curricular adotada pela escola (FERNANDES, 2016, p. 114).

Ekli e Sahin (2010) estudaram os conhecimentos básicos de professores de Ciências da Natureza atuantes na Educação Básica e de graduandos de uma universidade na Turquia. Internet e programas de TV e rádio foram mais citadas como fontes de obtenção de conhecimentos sobre nanotecnologia pelos referidos sujeitos, considerados em sua maioria como inadequados pelos autores, justificando que as principais fontes de conhecimento citadas não são fontes de ensino formal, acarretando informações muito básicas sobre o tema.

Silva e Lopes (2019) analisaram os Saberes Docentes mobilizados por professores da área de Ciências Naturais ao elaborarem propostas de ensino envolvendo N&N no contexto de um curso de formação continuada sobre a temática e verificaram predominância dos Saberes Disciplinar e Curricular, justificando esse quadro pelo fato de os professores estarem em um processo de aquisição de conhecimentos sobre o assunto, portanto, partindo da referência conceitual (conteúdo) e também por terem experiência com o currículo praticado nas escolas, o que direcionou o contexto das propostas. Em menor proporção emergiram os Saberes da Formação Profissional e da Experiência, a serem construídos com o desenvolvimento das práticas pedagógicas em sala de aula.

De maneira geral, apesar de evidenciarem diversas aplicações e discutirem vários conceitos, poucos trabalhos enfatizam e lançam mão de abordagens interdisciplinares (ELLWANGER, 2010; GAMA, 2013; LEONEL, 2010), ao contrário, aprofundam em questões mais identificadas com a Biologia, a Física ou a Química, sem buscar as conexões entre tais disciplinas. Adicionalmente, nota-se a preocupação em abordar aspectos positivos e negativos relacionados à N&N em alguns trabalhos (CLEBSCH e WATANABE, 2017; REBELLO *et al.*, 2012; SILVA, VIANNA e MOHALLEM, 2009), mas ainda faltam iniciativas que abordem a N&N pelo ponto de vista da controvérsia, o que pode auxiliar na discussão de questões relativas à natureza da Ciência e do conhecimento científico, além do fato do tema ser considerado como sociocientífico (SANTOS e MORTIMER, 2009). Outro aspecto que merece destaque é a discussão com estudantes da Educação Básica e professores sobre a divulgação da N&N na mídia, de maneira que tenham condições de analisar criticamente as informações veiculadas.

Finalmente, a partir dos referenciais debatidos ao longo deste texto, verificamos que, no contexto brasileiro, a primeira metade da década de 2000 é marcada por trabalhos mais ligados à divulgação da N&N, abordando conceitos básicos, aplicações e vislumbrando possibilidades para o futuro, ao passo que este assunto começa a se difundir na área Educacional a partir do final da mesma década, ou seja, pode ser considerado como um tema novo na perspectiva do ensino, com amplo campo para ser explorado.

## Considerações Finais

Conforme apresentado ao longo do artigo, a N&N envolve o estudo e desenvolvimento de tecnologias envolvendo a organização dos materiais em escala nanométrica, que pode conferir novas propriedades. Inclusive, já proporciona diversos produtos comercializados e presentes em nosso dia-a-dia, como as televisões com telas do tipo OLED (Dispositivos Orgânicos Emissores de Luz), medicamentos e cosméticos. Com isso, vem ganhando cada vez mais destaque no cenário científico e na sociedade, podendo induzir mudanças na forma como compreendemos o mundo material.

Por outro lado, aliada ao crescimento deste campo de estudo e suas potencialidades, existe a preocupação em relação aos riscos que podem emergir com a N&N, uma vez que os efeitos das nanopartículas e nanomateriais ainda não são bem elucidados e explorados. Com isso, existem pelo menos duas correntes de debate sobre o assunto: aquela que propõe maior exploração e desenvolvimento de pesquisas (o que exige menor rigidez em termos de regulação) e a segunda, que prega maior cuidado com o desenvolvimento desenfreado de pesquisas na área, o que, claramente, qualifica a N&N como um assunto controverso em sua concepção (na produção de conhecimento) e, conseqüentemente, importante do ponto de vista da sociedade, no que diz respeito à regulação, investimentos, tomada de decisões, saúde, entre outros aspectos.

As informações difundidas a respeito da N&N, em grande parte dos casos, apresentam marcas do extraordinário, de tecnologias e produtos outrora impensados, podendo contribuir para a construção de concepções equivocadas pelo público em geral, uma vez que privilegiam os aspectos positivos em detrimento dos riscos e possíveis prejuízos. Defendemos maior equilíbrio no que diz respeito à abordagem e ao peso dados a ambas perspectivas (benefícios e riscos), de maneira que as pessoas tenham condições mínimas de avaliar com consciência, por exemplo, o uso ou não de um cosmético que contém nanopartículas.

Além da divulgação científica, conforme defendida ao longo do texto, um dos caminhos para compreensão mais crítica sobre N&N passa pela educação escolar. Dessa maneira, abordagens que levem em consideração este tema possuem grande potencial para a discussão de questões que envolvem a natureza do conhecimento científico, as relações entre Ciência, Tecnologia e Sociedade, bem como a formação interdisciplinar dos estudantes, uma vez que demanda a articulação de conceitos de diversas disciplinas. Ainda, a inserção deste tema na Educação Básica, pode contribuir para a formação de sujeitos mais críticos em relação a este assunto, com visões mais bem fundamentadas que podem auxiliar a romper com o certo modismo irrefletido associado à N&N.

Neste artigo, constatou-se que a N&N ainda é um tema abordado timidamente no Ensino de Ciências Naturais, cujos trabalhos (artigos, trabalhos em eventos da área, teses e dissertações) focam em três linhas principais: textos de divulgação sobre o tema, ações com estudantes da Educação Básica e perspectivas para a formação de professores. Verificou-se, também, do ponto de vista temporal, que a primeira linha começa a emergir no Brasil na década de 2000, enquanto as demais vem ganhando destaque a partir da década de 2010, reforçando, novamente, que a abordagem da N&N no Ensino de Ciências Naturais é recente e configura-se como um campo fértil para desenvolvimento nos próximos anos.

Dessa maneira, defendemos o empreendimento de esforços no que diz respeito à produção de materiais didáticos, ações de formação de professores e divulgação científica que contemplem a discussão deste assunto nas suas mais variadas vertentes, considerando aspectos conceituais, limites, potencialidades e controvérsias.

## Referências

- ALVES, O. L. Nanotecnologia, nanociência e nanomateriais: quando a distância entre presente e futuro não é apenas questão de tempo. **Parcerias Estratégicas**, 18, 23-40, 2004.
- AMORIM, T. A. Nanotecnologia na imprensa: análise de conteúdo do jornal Folha de São Paulo. **Em Tese**, 4(2), p. 20-36, 2008.
- BASSOTO, G. V. **Nanotecnologia**: uma investigação fundamentada na educação pela pesquisa se refletindo na formação de professores e no ensino de química. Dissertação de Mestrado em Educação em Ciências e Matemática - Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2011.
- BERG, J. C. **An introduction to interfaces e colloids**: the bridge to Nanoscience. World Scientific Publishing Co. Pte. Ltd, 2010.
- BLONDER, R.; SAKHNINI, S. Teaching two basic nanotechnology concepts in secondary school by using a variety of teaching methods. *Chemistry Education Research and Practice*, 13, p. 500-516, 2012.
- CAMARA, V. F. S.; PROCHNOW, T. R. A abordagem da nanociência e nanotecnologia nos livros didáticos de Química do Ensino Médio. In: XVIII Encontro Nacional de Ensino de Química, 2016. Anais... Florianópolis, SC: Universidade Federal de Santa Catarina, 2016, p. 1-8.
- CLEBSCH, A. B.; WATANABE, M. Abordagem da nanociência e nanotecnologia a partir da escala. *Novas Tecnologias na Educação*, 15(17), p. 1-10, 2017.
- DELGADO, I. F.; PAUMGARTTEN, F. J. R. Desafios atuais da pesquisa em toxicologia: avaliação da toxicidade de nanomateriais manufaturados para o desenvolvimento. **Vigilância Sanitária em Debate**, 1(4), p. 11-24, 2013.
- DIAS, R. H. A. **Nanotecnologia na mídia britânica**: benefícios e controvérsias da Ciência no jornalismo científico. In: 40º Congresso Brasileiro de Ciências da Comunicação, 2017. **Anais...** Curitiba, PR, 2017, p. 1-14.
- EKLI, E.; SAHIN, N. Science teachers and teacher candidates' basic knowledge, opinions and risk perceptions about nanotechnology. **Procedia Social and Behavioral Sciences**, 2, p. 2667-2670, 2010.
- ELLWANGER, A. L. **Tópicos de nanociências em conteúdos de física no ensino básico**. Dissertação de Mestrado Profissionalizante em Ensino de Física e Matemática - Centro Universitário Franciscano, Santa Maria, 2010.
- \_\_\_\_\_; ROSSATO, J.; GRANADA, M.; BORTOLUZZI, V. I.; FAGAN, S. B. O ensino de nanociências por meio de objetos de aprendizagem. **Novas Tecnologias na Educação**, 10(1), p. 1-10, 2012.
- \_\_\_\_\_; MOTA, R.; FAGAN, S. B. Abordagem de nanociência no ensino médio. **Vydia**, 34(1), p. 85-98, 2014.
- ERTHAL, J. P. C. O jornal "A Física ontem e hoje" como instrumento de divulgação e discussão científica dentro e fora do ambiente escolar. **REnCiMa**, v. 8, n. 1, p. 126-136, 2017.
- FAROKHZAD, O. C.; LANGER, R. Impact of nanotechnology on drug delivery. **ACS Nano**, 3(1), p. 16-20, 2009.

- FERNANDES, A. C. **A inserção do tema nanotecnologia a partir de atividades investigativas no ensino de Química.** Dissertação de Mestrado em Ensino - Universidade do Estado do Rio Grande do Norte, Pau dos Ferros, 2016.
- FURLAN, P. Y. Engaging students in early exploration of nanoscience topics using hands-on activities and scanning tunneling microscopy. **Journal of Chemical Education**, 86(6), p. 705-711, 2009.
- GAMA, C. F. **Uma proposta para o ensino de nanociência e da nanotecnologia, em aula de física do ensino médio.** Dissertação de Mestrado em Ensino de Ciências - Universidade de São Paulo, São Paulo, 2013.
- GATOO, M. A.; NASEEM, S.; AARTFAT, M. Y.; DAR, A. M.; QASIM, K.; ZUBAIR, S. Physicochemical properties of nanomaterials: implication in associated toxic manifestations. **BioMed Research International**, 2014, p. 1-8, 2014.
- GOMES, F. G.; COSTA, N. R. V.; MOHALLEM, N. D. S. Os tecidos e a nanotecnologia. **Química Nova na Escola**, 38(4), p. 288-296, 2016.
- HOHENDORFF, R. V.; COIMBRA, R.; ENGELMANN, W. As nanotecnologias, os riscos e as interfaces com o direito à saúde do trabalhador. **RIL Brasília**, 3(209), p. 151-172, 2016.
- INVERNIZZI, N. **Visões de Futuro: Nanociência e Nanotecnologia no Jornal da Ciência.** In: VII Jornadas Latinoamericanas de Estudios Sociales de la Ciencia y Tecnología, 2008. **Anais...** Rio de Janeiro, RJ, 2008.
- JESUS, I, P.; HIGA, I. **Nanotecnologia e ensino médio: uma revisão bibliográfica sobre propostas didáticas.** In: IV Simpósio Nacional de Ensino de Ciência e Tecnologia, 2014. **Anais...** Paraná, PR, 2014, p. 1-12.
- JOACHIM, C.; PLEVERT, L. **Nanociências - a revolução do invisível.** Rio de Janeiro: Zahar, 2009.
- KASAMA, D. Y.; ZAVAGLIA, C.; ALMEIDA, G. M. B. Do termo à estruturação semântica: representação ontológica do domínio da Nanociência e Nanotecnologia utilizando a estrutura Qualia. **LinguaMÁTICA**, v. 2, n. 3, p. 43-58, 2010.
- LEITE, I. S.; LOURENÇO, A. B.; LÍCIO, J. G.; HERNANDES, A. C. Uso do método cooperativo de aprendizagem Jigsaw adaptado ao ensino de nanociência e nanotecnologia. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, 35(4), p. 4504, 2013.
- LEONEL, A. A. **Nanociência e nanotecnologia: uma proposta de ilha interdisciplinar de racionalidade para o ensino de física moderna e contemporânea no ensino médio.** Dissertação de Mestrado em Educação Científica e Tecnológica - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2010.
- \_\_\_\_\_; SOUZA, C. A. Nanociência e Nanotecnologia para o Ensino de Física Moderna e Contemporânea na perspectiva da Alfabetização Científica e Técnica. In: VII Encontro Nacional de Pesquisa em Educação e Ciências, 2009. **Anais...** Florianópolis, SC, 2009.
- LIMA, L. 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**, 34(4), p. 1-9, 2012.
- LOURENÇO, A. B.; JUNIOR, P. D. C.; LÍCIO, J. G.; OVIGLI, D. F. B. A nanotecnologia na concepção de estudantes do ensino médio: o desenho como ferramenta de análise. **Revista Góndola, Enseñanza e Aprendizaje de las Ciencias**, 12(1), p. 27-42, 2017.
- MARTINEZ, D. S. T.; ALVES, O. L. Interação de nanomateriais com biosistema e a nanotoxicologia: na direção de uma regulamentação. **Ciência e Cultura**, 65(3), p. 32-36, 2013.

MOREIRA, F. B. **Os valores-notícia no jornalismo impresso**: análise das 'características substantivas' das notícias nos jornais Folha de São Paulo, o Estado de São Paulo e O Globo. Dissertação de Mestrado em Comunicação e Informação - UFRGS, Porto Alegre, 2006.

NOVO, M. S. **Nanociências, Nanotecnologia**: uma visão desde seu nascimento até a apresentação das temáticas à sociedade. Tese de Doutorado em Educação em Ciências - Universidade Federal do Rio Grande, Rio Grande, 2013.

PEREIRA, C. R. S. **Nanotecnologia e citologia**: perspectivas para o ensino de biologia no século XXI. Dissertação de Mestrado em Educação em Ciências e Matemática - PUCRS, Porto Alegre, 2009.

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

PYRRHO, M.; SCHRAMM, F. R. A moralidade da nanotecnologia. **Cad. Saúde Pública**, 28(11), p. 2023-2033, 2012.

PORTER, A.; YOUTIE, J. How interdisciplinarity is nanotechnology? **J NanoPart Res**, 11, p. 1023-1041, 2009.

REBELLO, G. A. F.; ARGYROS, M. M.; LEITE, W. L. L.; SANTOS, M. M.; BARROS, J. C.; SANTOS, P. M. L.; SILVA, J. F. M. Nanotecnologia, um tema para o ensino médio usando a abordagem CTSA. **Química Nova na Escola**, 4(1), p. 3-9, 2012.

ROSSI-BERGMANN, B. A nanotecnologia: da saúde para além do determinismo tecnológico. **Ciência e Cultura**, 60(2), p. 54-57, 2008.

SANTOS, M. S.; AMARAL, M. L. C.; MACIEL, M. D. Temas Sociocientíficos "sabão e detergente" em aulas práticas de Química na Educação Profissional: uma abordagem CTS. **REnCiMa**, v. 3. n. 3, p. 405-418, 2012.

SANTOS, W. L. P.; MORTIMER, E. F. Abordagem de aspectos sociocientíficos em aulas de Ciências: possibilidades e limitações. **Investigações em Ensino de Ciências**, 14(2), p. 191-218, 2009.

SCHULZ, P. A. B. O que é nanociência e para que serve a nanotecnologia? **Física na escola**, 6(1), p. 58-62, 2005.

\_\_\_\_\_. **A encruzilhada da nanotecnologia**: inovação, tecnologias e riscos. Rio de Janeiro: Vieira & Lent, 2009.

SILVA, M. B. Nanotecnologia: novas questões éticas para o Brasil, dimensões legais e sociais numa abordagem interdisciplinar. **Cadernos de Pesquisa Interdisciplinar em Ciências Humanas**, 4(46), p. 2-17, 2003.

SILVA, P. R.; LOPES, J. G. S. **Análise da abordagem do tema Nanociência e Nanotecnologia em livros didáticos de Química do Ensino Médio**. In.: XVIII ENCONTRO NACIONAL DE ENSINO DE QUÍMICA, 2016, Florianópolis. **Anais...** Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina, 2016.

\_\_\_\_\_; \_\_\_\_\_. Investigando a mobilização de Saberes Docentes em propostas de ensino sobre Nanociência e Nanotecnologia. **REDEQUIM**, v. 5, n. 2, p. 151-164, 2019.

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 na Escola**, 31(3), p. 172-178, 2009.

SIQUEIRA-BATISTA, R.; MARIA-DA-SILVA, L.; SOUZA, R. R. M.; PIRES-DO-PRADO, H. J.; SILVA, C. A.; RÔÇAS, G.; OLIVEIRA, A. L.; HELAYEL-NETO, J. A. Nanociência e nanotecnologia como temáticas para a discussão de Ciência, Tecnologia, Sociedade e Ambiente. **Ciência e Educação**, 16(2), p. 479-470, 2010.

STRAVOU, D.; MICHAILIDI, E.; SGOUROS, G.; DIMITRIADI, K. Teaching high-school students nanoscience and nanotechnology. **LUMAT**, 3(4), p. 501-511, 2015.

TANIGUSHI, N. On the basic concept of nanotechnology. **Proceedings of the International Conference of Production Engineering**, p. 18-23, 1974.

TASCA, R. A.; ALMEIDA, J. R. L.; SILVA, D. G.; MELO, F. M.; TOMA, H. E. Desenvolvendo habilidades e conceitos de nanotecnologia no ensino médio por meio de experimento didático envolvendo preparação e aplicação de nanopartículas superparamagnéticas. **Química Nova na Escola**, 37(3), p. 236-240, 2014.

TOMA, H. E. A nanotecnologia das moléculas. **Química Nova na Escola**, 21, p. 3-9, 2005.

\_\_\_\_\_. **O mundo nanométrico: a dimensão do novo século**. 2ª edição. São Paulo: Oficina de Textos, 2009.

TOMKELSKI, M. L.; SCREMIN, G.; FAGAN, S. B. Ensino de Nanociência e Nanotecnologia: perspectivas manifestadas por professores da educação básica e superior. **Ciência & Educação**, v. 25, n. 3, p. 665-683, 2019.

ZARBIN, A. J. G.; OLIVEIRA, M. M. Nanoestruturas de carbono (nanotubos, grafeno): quo vadis? **Química Nova**, 36(10), p. 1533-1539, 2013.