

História da Ciência: Reflexões sobre o estudo da Nanociência e da Nanotecnologia em Física

Marília Enelicam Elias Albuquerque e Andréa Melo Guimarães

Especialização em Ensino de Ciências com Ênfase em Física, Universidade Federal do Pará, 68746-360, Castanhal-PA, Brasil

Prof. Dr. Carlos Alberto Brito da Silva Júnior (Orientador)

Faculdade de Física, Universidade Federal do Pará, 67130-660, Ananindeua-PA, Brasil

Resumo — A importância da popularização da Nanociência e da Nanotecnologia (N&N) é crucial para que o professor tenha meios de trabalhar com esse tema em sala de aula. Por isso, o ensino da N&N por meio da sua história, é uma metodologia eficaz para o aprendizado do aluno do ensino básico. Este artigo está voltado para os alunos do ensino médio, com a finalidade de mostrar a aplicação dessa área da Física e contextualizá-la em sala de aula. Relacionando assim, o conhecimento prévio desses alunos com o conhecimento científico, analisando a aprendizagem dos alunos por meio da história da Física.

Palavras-chave — Ensino; História da Física; Nanociência; Nanotecnologia.

I. INTRODUÇÃO

A discussão sobre a miniaturização de componentes eletrônicos em computadores a máquinas de produção de diversos itens tem aumentado. Haja vista que, na literatura há uma inquietação sobre a produção de materiais na escala nanométrica ou atômica [1]. A partir destes trabalhos é possível levar tal discussão para os alunos do ensino médio, pois possuem curiosidade sobre a produção e aplicação desses nanomateriais. Em contrapartida, muito deles não sabem como esses nanomateriais funcionam ou como foram desenvolvidos. Assim, o estudo da história da Nanociência e Nanotecnologia (N&N) tem grande relevância na metodologia empregada pelo professor da educação básica, especificamente para o ensino médio, com o intuito de analisar o conhecimento científico adquirido por eles posteriormente. Além disso, é possível ressaltar como ocorre o desenvolvimento de uma ciência (Nanociência) juntamente com o seu desenvolvimento tecnológico (Nanotecnologia) para ver como ocorreu a sua aplicação ao longo dos anos.

Por isso, o objetivo desse trabalho é mostrar como o professor pode ensinar aos alunos do ensino médio, como os nanomateriais surgiram através dos estudos da N&N por meio da história da Física, relacionando o conhecimento prévio dos alunos com o conhecimento científico abordado pelo professor. Ou seja, é investigar os conhecimentos dos alunos acerca do tema proposto em sala de aula, e ensinar através da história como essa ciência se desenvolveu, bem como incentivar o professor de Física a adotar nas suas aulas o ensino por meio da História da Ciência, no caso da N&N, não fundamentando-se apenas nas equações matemáticas. Haja vista que, este método é muito utilizado pela maioria

dos professores do ensino da educação básica, principalmente quando o estudo está direcionado para o vestibular.

Atualmente, muitos professores e alunos buscam textos relacionados à N&N de forma geral e ilustrativa [2]. Isso ocorre, pois a aplicação dessa área da física na sociedade está cada vez mais presente no dia a dia de forma direta e indireta, relacionado com outras áreas de aplicação como a medicina, biologia, química, engenharia, entre outras. Esse é um dos motivos que torna esse tema interessante para a discussão em sala de aula, com a finalidade de divulgar e popularizar a N & N, mostrando a sua importância e aplicação para os alunos.

Para que isso ocorra, a abordagem adotada em sala de aula é feita em cima do ensino da história da N&N, bem como suas reflexões sobre o estado da arte, descrita na seção a seguir.

A. História da Nanociência e da Nanotecnologia

O termo nano aparece com frequência em nosso dia a dia através dos meios de comunicação, com o intuito de mostrar como a N&N pode melhorar a qualidade de vida das sociedades futuras. Pois, a nanotecnologia consiste na habilidade de manipular a matéria em nanômetros para criar estruturas com uma organização molecular diferenciada [2].

Para chegar nessa definição, houve o desenvolvimento da N & N a partir da 2ª metade do século XX, e se deu principalmente através da evolução da eletrônica e seus dispositivos, causando verdadeiras revoluções, não apenas nos materiais, mas também em modos de produção industriais, como foi dito anteriormente. Também aconteceram impactos relevantes na sociedade, considerando a grande presença de smartphones e outros dispositivos com componentes eletrônicos que tiveram seu desenvolvimento possível através da evolução da N&N. O impacto dessas novas tecnologias trazia preocupações para os pesquisadores da área de Ensino de Física como aponta os autores [3], que enfatizam

“a necessidade de abordar a física do século XX em sala de aula, para além daquela produzida nos séculos anteriores, de modo a dar um tratamento sistemático no âmbito da educação escolar de conhecimentos com os quais os alunos convivem, quer devido a constância com que são citados na mídia, quer pela sua presença nas novas tecnologias, que cada vez mais estão presentes na vida dos cidadãos”.

É nesse contexto que se encontra a importância do ensino de N&N, por meio de um conhecimento multidisciplinar, associado a uma relevância social, econômica e ambiental, com a geração de novos avanços e produtos cada vez mais tecnológicos e avançados. Conforme a ref. [4], que ressalta o caráter interdisciplinar da N&N, e, portanto, a indispensabilidade do constante debate entre ciência, academia e sociedade, ou melhor, poder abordar o contexto da Ciência, Tecnologia e Sociedade (CTS).

Além disso, ao pensarmos sobre a história da N&N, um dos nomes mais citados é do cientista americano Richard Feynman, que em dezembro de 1959 expôs ao mundo seus conceitos sobre o assunto, na sua palestra intitulada: “*There is plenty of room at the bottom*” (Há mais espaços lá embaixo). Devido à popularidade de sua palestra, Feynman é reconhecido por muitos como o criador da N&N. Contudo, é importante ressaltar que as ideias propostas por ele em sua palestra são o resultado da influência de várias concepções difundidas por outros cientistas, inserido no contexto histórico ao qual Feynman se encontrava. Por exemplo, um ano antes da palestra de Feynman, em 1958, o físico e engenheiro americano Jack Kilby, ganhador do prêmio Nobel em Física pela invenção do circuito elétrico integrado (CI), já havia pensado na possibilidade de miniaturização de componentes eletrônicos ao relatar em seu caderno de laboratório que seria possível confeccionar componentes elétricos, como resistores e capacitores, em um pequeno pedaço de silicone [5]. Outro foi o físico Arthur Von Hippel, que em 1956 publicou o artigo intitulado “*Molecular Engineering*” (Engenharia Molecular), onde a ideia da construção de materiais a partir de átomos e moléculas foi discutida pela primeira vez [6].

Em seu artigo, Hippel também destacou a importância da interdisciplinaridade no estudo e desenvolvimento da ciência e tecnologia dos nanomateriais [5]. Além disso, relatos sobre Nanotecnologia e aplicação de miniaturização de partículas, bem como de sistemas de drug delivery, podem ser rastreados desde 1908, quando o cientista alemão Paul Ehrlich ganhou o prêmio nobel em medicina pelo seu trabalho intitulado “*Drugs that go only and directly to ill cells*” (Medicamentos que afetam diretamente células não saudáveis) [5]. Entretanto, o termo “Nanotecnologia” só foi existir em 1974, quando o Prof. Dr. Norio Taniguchi publicou um artigo intitulado “*On the Basic Concept of Nanotechnology*” (O conceito básico de Nanotecnologia). Neste artigo, ele afirmou que a Nanotecnologia consiste, basicamente, do processo e separação, consolidação e deformação de materiais por uma molécula ou átomo [7].

Somente uma década depois, no ano de 1986, o termo tornou-se popularmente conhecido devido à publicação do livro “*Engines of creation*” (Motores da criação) pelo engenheiro americano Eric Drexler. Entretanto, torna-se importante ressaltar que o grande marco para o desenvolvimento da N&N, foi à criação do Microscópio de Tunelamento por Varredura (STM, do inglês Scanning Tunneling Microscope) em 1981. Além de possibilitar a visualização de um único átomo, o equipamento comprovou ser possível o desenvolvimento de nanoestruturas a partir da manipulação de átomo por átomo, ideia apresentada por A. Von Hippel há 25 anos atrás.

Infelizmente, mesmo com toda a sua relevância e o potencial em contribuir com a formação científica e tecnológica [8], o tema só começou a ganhar destaque na área da educação brasileira em 2006, onde o tópico

Nanotecnologia (como um dos ramos da Física Moderna e Contemporânea – FMC) é apontado nas Orientações Curriculares para o Ensino Médio, na área de Ciências Naturais e Matemática [9], como sugestão de tema relevante para ser abordado em sala de aula. Dessa maneira, somam-se a este os demais parâmetros nacionais, diretrizes educacionais, propostas curriculares estaduais e mais recentemente a última versão da Base Nacional Comum Curricular (BNCC), documento de caráter normativo, proposto em 2018, no que tange a abordagem de temas atuais que contemplam a aplicação e implicações do conhecimento científico e tecnológico. Segundo a BNCC, os alunos devem ser capazes de:

“Analisar situações-problema e avaliar aplicações do conhecimento científico e tecnológico e suas implicações no mundo, utilizando procedimentos e linguagens próprios das Ciências da Natureza, para propor soluções que considerem demandas locais, regionais e/ou globais, e comunicar suas descobertas e conclusões a públicos variados, em diversos contextos e por meio de diferentes mídias e tecnologias digitais de informação e comunicação” [10].

Assim, é evidente que, por possuir um aspecto sociocientífico e cultural, o tema N&N é extremamente importante para a sociedade e deveria ser discutido em sala de aula. Entretanto, antes de planejar as aulas, é importante que os professores possuam uma ideia de como abordar este tema tão controverso em sala de aula. Por isso, a revisão literária apresentasse como uma boa ferramenta para o atendimento desta demanda para o ensino da educação básica. Segundo Echer (2001) [11], para a elaboração de um trabalho científico, ou planejamento de uma aula, é necessário possuir uma ideia clara do assunto a ser discutido. Portanto, a revisão bibliográfica torna-se fundamental, visto que orienta o professor em relação ao que já é conhecido e informa acerca de temas e problemas pouco abordados, servindo, assim, como fonte de inspiração para novas investigações.

B. A importância do Ensino por meio da História da Física – “*estudo da arte*”

Como foi dito anteriormente, é de fundamental importância o professor realizar uma revisão bibliográfica sobre o tema que será trabalhado em sala de aula, inspirando-se para novas investigações e, deixando os alunos cada vez mais curiosos.

De acordo com Penha (2001) [12], uma forma de instigar os alunos é realizar o estudo do tema através da História da Física. Pois, a história da descoberta de um conceito mostra como tal conceito foi criado e o seu porque, a história também mostra as questões para cujas soluções o conceito foi criado, revelando o que o conceito traz na teoria, informando a sua função e o seu significado.

Assim sendo, a história revive os elementos do pensar de uma época, indicando os ingredientes do pensamento que poderia ter contado na época em que determinada conquista foi feita. Desvendando também, a lógica da construção conceitual, ou melhor, revela os “buracos lógicos” que o conceito preenche, revivendo o próprio ato intelectual da criação científica [12].

Para aprofundamento desse estudo, foi realizada a análise bibliográfica acerca do assunto que possa auxiliar o professor nas suas aulas sobre N&N, e posteriormente a avaliação dos alunos das escolas de Icoaraci perante o tema abordado em

sala de aula, este por sua vez, foi descrito com mais detalhes na metodologia abordada para a coleta de dados.

Em contrapartida, a revisão bibliográfica possui o intuito de adquirir uma ampla visão acerca dos principais enfoques expostos pelos trabalhos científicos que abordam o tema N & N no Brasil, além de identificar as principais contribuições e desafios atribuídos à abordagem do tema no ensino de Física. Assim, esta pesquisa consiste de uma revisão bibliográfica realizada em trabalhos publicados entre os anos de 2008 a 2019. Embora o tema “Nanotecnologia” tenha aparecido pela primeira vez nas Orientações Curriculares para Ensino Médio no ano de 2006, a escolha do período de análise foi realizada levando em consideração que os primeiros trabalhos inspirados pelo tema, e sua presença no documento do Ministério da Educação (MEC), começaram a ser apresentados e/ou publicados somente no início de 2008. Sabe-se que a repercussão destes documentos norteadores em sala de aula, dificilmente é imediata. E, apesar de entender que a própria presença do tema no documento em questão tenha influência das pesquisas da área de Ensino de Ciências anteriormente realizadas, as pesquisas relacionadas com o ensino do tema demandaram tempo para serem publicadas. Dessa forma, temos como base os artigos entre os anos de 2008 a 2019.

C. O que é Nanociência e Nanotecnologia (N & N)?

O prefixo “Nano” possui origem grega e significa um bilionésimo (0,000000001) de algo. Portanto, um nanômetro significa um bilionésimo do metro, usualmente representado por 10^{-9} m, ou pela unidade de medida 1nm. Prosseguindo, um nanosegundo nada mais é que um bilionésimo de segundo, e pode ser representado por 10^{-9} s ou 1ns, e assim por diante. Sendo assim, o estudo de estruturas atômicas e moleculares que possuem dimensões na escala nanométrica, é chamado de Nanociência. Por outro lado, a manipulação e aplicação industrial dessas estruturas nanométricas, é denominado Nanotecnologia. N&N 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. Ou seja, não se fala simplesmente de miniaturizar algo grande para algo muito pequeno [2].

Mesmo antes dos termos “N&N” existirem, nanomateriais já eram sintetizados, ou obtidos de alguma outra maneira, e utilizados na sociedade para fabricação de alguns materiais e utensílios. Devido suas propriedades ópticas e químicas diferenciadas, nanopartículas de ouro e prata, com diferentes tamanhos, eram utilizadas pelos vidreiros medievais para produzir os vitrais de várias igrejas da Europa. Além de serem responsáveis pelas diferentes cores observadas nos vitrais, as nanopartículas também eram responsáveis pela purificação do ar.

Segundo Deshmukh *et al.* (2019) [13], nanopartículas de prata, ao serem energizadas pela luz do Sol, funcionam como fotocatalizadores naturais, sendo responsáveis pela purificação do ar. Outro exemplo é a taça de Lycurgus, um artefato do Império Romano (Séc. IV) constituída por nanopartículas de ouro e de prata, conferindo-lhe diferentes colorações dependendo da localização da fonte de luz. Quando a fonte luminosa é externa à taça, a mesma apresenta coloração verde, referente às nanopartículas de prata; por outro lado, quando a fonte luminosa é interna, uma coloração avermelhada, referente às nanopartículas de ouro, é observada, conforme os autores [2, 14, 15].

A importância dos materiais com dimensões nanométricas está no fato dos mesmos possuírem algumas de suas propriedades físicas e químicas alteradas. Muitas das leis da Física Clássica não são válidas para estes sistemas, logo passam a comportar-se segundo as leis da Física Quântica [16]. Já as nanopartículas esféricas de ouro, por exemplo, possuem coloração dependente do tamanho, e podem apresentar cores variando em todo o espectro visível (400nm-700nm ou do violeta ao vermelho) [17].

A alteração das propriedades físicas dos nanomateriais estão relacionadas basicamente a dois fatores: (i) as interações com o meio; e (ii) a área superficial do nanomaterial. Os nanomateriais podem ser afetados de diversas maneiras pelo meio, um exemplo disso, é o fenômeno óptico denominado Ressonância Plasmônica de Superfície Localizada (LSPR, do inglês *Localized Surface Plasmon Resonance*) que acontece quando uma onda eletromagnética (luz) incide sobre nanoestruturas metálicas. Este fenômeno é caracterizado pela ressonância dos elétrons livres da superfície do nanomaterial com a onda eletromagnética incidente, gerando um aumento na intensidade do campo elétrico na superfície do material metálico, e alterando as propriedades ópticas do mesmo. Estas propriedades variam conforme o tamanho, formato, e material das nanoestruturas utilizadas [18]. O aumento da área superficial dos nanomateriais é uma característica que influencia significativamente nas propriedades dessas partículas, tornando-as muito mais reativas [8, 19]. Por consequência, essas estruturas possuem suas propriedades térmicas alteradas, absorvendo calor muito mais rapidamente e conseqüentemente alterando suas temperaturas de transição de fase. Além disso, à medida que aumenta a área superficial de uma estrutura, aumenta, também, sua interação com o meio. Assim sendo, nanopartículas são cada vez mais desejáveis para aplicação em sensores biológicos e químicos, podendo ser utilizadas como detectores de vírus, no auxílio de remoção de gases tóxicos, e até mesmo como auxiliadoras no transporte de medicamentos no organismo [17].

A obtenção de sistemas em escala nanométrica pode ocorrer de duas maneiras distintas: (i) de baixo para cima (do inglês *bottom-up*); e (ii) de cima para baixo (do inglês *top-down*). No primeiro método, os átomos e moléculas são ligados quimicamente de maneira a formar agregados auto organizados, chamados de “blocos de construção”, os quais são utilizados para aplicação em dispositivos nanométricos. No método *top-down*, um material em escala macro (ou micro) é reduzido até chegar à dimensão nano; assim os “blocos de construção” são removidos consecutivamente da macroestrutura para a obtenção do sistema em escala nano. Fazendo uma analogia, o método *top-down* é semelhante a esculpir um bloco de pedra para formar uma imagem, enquanto que o método *bottom-up* é semelhante à construção de uma casa de tijolos, onde cada tijolo é disposto de maneira a formar uma estrutura maior [2, 20]. Em relação aos dispositivos nanométricos, como chips, transistores e processadores, são obtidos quando pelo menos uma de suas dimensões possui escala nanométrica, ou quando são utilizadas estruturas nanométricas na sua composição.

Segundo Melo e Pimenta (2017) [21], o grande desafio da atualidade é diminuir, cada vez mais, esses dispositivos eletrônicos. A importância na diminuição de componentes eletrônicos está no fato dos mesmos terem que cobrir áreas cada vez menores. Como exemplo, eles citam os microprocessadores de computadores, os quais são compostos por séries de transistores impressos em blocos de

silício, quanto mais transistores na placa, maior é a capacidade de processamento do microprocessador.

D. N & N nas Escolas

É muito importante que a população seja informada acerca dos prós e contras relacionada ao uso da Nanotecnologia. Neste sentido, a escola possui um papel fundamental, pois, para muitos ela continua sendo o único, ou principal, espaço de acesso ao conhecimento. Além disso, em tempo de *Fake News (notícias falsas)* e de grandes mudanças na sociedade, causadas em grande parte pelo desenvolvimento das Tecnologias Digitais da Informação e Comunicação (TDICs), é importante e necessário que a escola assuma a formação científica e tecnológica como um de seus compromissos principais, conscientizando a população em relação aos empreendimentos aderidos pela ciência e a tecnologia.

Pensando no ensino da N&N nas escolas de ensino básico no Brasil, a Física, enquanto ciência e componente curricular, tem muito a contribuir com o entendimento do mesmo. Assim, seria papel, principalmente, mas não exclusivamente, dos professores de Física abordarem este tópico nas aulas, o que pode contemplar o conteúdo programático de FMC. Desta maneira, os professores de Física seriam os principais responsáveis por instigarem um olhar mais crítico dos alunos, incentivando os mesmos a refletirem e interpretarem acerca dos avanços tecnológicos e o papel da ciência e da sociedade neste contexto.

“No ensino da nanotecnologia é fundamental uma abordagem crítica e reflexiva, a fim de contribuir com a formação cidadã dos estudantes. Além disso, o ensino da nanotecnologia não deve se restringir à apresentação das aplicações dessa tecnologia e à preparação dos estudantes para o mundo do trabalho a ela relacionado, mas também deve auxiliá-los na construção de um pensamento crítico a respeito da nanotecnologia em seu cotidiano e contribuir para que possam se posicionar perante esse processo” [22].

Infelizmente, a situação citada acima, não é a realidade observada nas salas de aula do ensino básico, pelo fato do professor não obter uma metodologia a ser trabalhada perante este tema, pois estes, por sua vez, não possuem muitas fontes bibliográficas voltadas a este tema para o ensino de Física e nem formação continuada na área que auxilie os licenciados a trabalharem com esta temática em sala de aula. Além disso, a maior parte da Física abordada nas escolas ainda está relacionada com a Física construída antes do século XX, ou seja, com pouca ou nenhuma relação com o grande desenvolvimento tecnológico atual. Além disso, vários autores apontam que os alunos não são incentivados a pesquisar, estudar e discutir temas que envolvam tecnologia dentro de sala de aula [23].

II. METODOLOGIA

O presente trabalho foi desenvolvido a partir de pesquisas realizadas sobre o “estado da arte” do tema em questão. De acordo com Ferreira (2002) [24], esse tipo de trabalho tem por objetivo realizar levantamento do que se conhece sobre um determinado assunto a partir de estudos e análises feitas em uma determinada área. Dessa forma, buscou-se fazer um levantamento de trabalhos sobre a presente linha de pesquisa e fazer uma análise sobre o tema, buscando sua melhor compreensão. Segundo ele, as pesquisas de caráter

bibliográfico, com o objetivo de inventar e sistematizar a produção em determinada área do conhecimento, chamadas, usualmente, de pesquisas do “estado da arte”. Segundo Cronemberguer *et al.* (2017) [25] são, sem dúvida, de grande importância, pois podem conduzir à plena compreensão do estado atingido pelo conhecimento a respeito de determinado tema, sua amplitude, tendências teóricas, vertentes metodológicas.

Contudo, objetivou-se enfocar trabalhos que pudessem demonstrar tendências e possibilidade de pesquisa dentro da temática do presente trabalho, e realizar um levantamento de dados sobre o que os alunos já possuem conhecimento com o tema trabalhado em sala de aula por meio da aplicação do questionário online.

Após o levantamento bibliográfico, para a realização dessa pesquisa foram escolhidas duas escolas do Distrito de Icoaraci (PA), ambas de rede pública estadual. Uma escola foi representada pelo número 1 e a outra pelo número 2, as duas escolas possuem o Ensino Fundamental II e Médio, além do EJA – Ensino de Jovens e Adultos.

No primeiro momento, foi aplicado um questionário relacionado ao tema de N&N para os alunos do Ensino Médio (1º, 2º e 3º ano Regular e EJA), com a finalidade de levantar dados sobre o quanto esses alunos conhecem e acham importante o tema para a sociedade. O formulário por sua vez, foi feito online através do Google Formulários, ver **Fig. 1**, enquanto que o questionário era composto de 4 questões dissertativas e 1 objetiva, conforme mostra a **Fig. 2**.

Fig. 1. Formulário do Google – Preenchimento de Dados.

Fig. 2. Formulário do Google – Questionário.

A partir dos dados obtidos, a proposta de ensino para popularizar a N&N foi baseada no ensino por meio da História da Física. Dessa forma, os alunos podem conhecer como foi desenvolvida essa ciência e qual a sua finalidade para a sociedade.

Assim, a metodologia ficou dividida da seguinte forma: (i) aplicou-se o questionário para os alunos no laboratório de informática da escola 1, e para os alunos do 3º ano da escola 2 o questionário foi aplicado via mobile, através de smartphones, pois a mesma não possui o laboratório de informática. Contudo, o questionário foi aplicado para 132 alunos para o levantamento de dados. Após a aplicação do questionário nas escolas, (ii) foi ministrada uma aula relacionada ao tema proposto ao questionário com duração de 50 minutos. A aula teve o objetivo de mostrar aos alunos o conhecimento da N&N e sua aplicação na sociedade.

III. RESULTADOS

Os levantamentos bibliográficos demonstram como o estudo sobre o tema abordado relacionado ao ensino de Física, iniciou anos depois de sua implementação nos currículos escolares do ensino básico, mas percebe-se que podemos obter diversas propostas de ensino acerca do tema proposto em sala de aula, desde o ensino da notação científica até como funciona os nanomateriais, apesar dos trabalhos divulgados serem dos anos de 2008 até 2019.

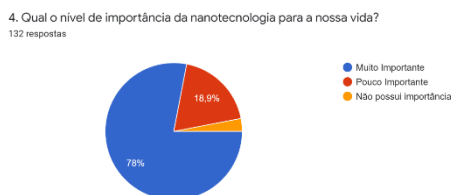
Em relação aos resultados obtidos pelo questionário aplicado, estes demonstram como os alunos não possuem a capacidade de definir o que seria N&N de acordo com a pergunta 1, apesar dos mesmos possuírem uma ideia sobre o assunto.

Na pergunta 2, foi pedido para que os alunos respondessem exemplos de aplicações da N&N e percebe-se pelas respostas que 90% dos alunos não sabiam exemplificar tais aplicações, mas obtinham uma vaga ideia sobre essas aplicações considerando-as importantes na sociedade como mostra os dados coletados na pergunta 4 que será discutido posteriormente.

Por meio da pergunta 3, poucos conseguiram associar a N&N com outra área, apenas aqueles que já sabiam um pouco sobre o tema conseguiram relacionar de forma explícita a relação desta ciência com outras áreas como, a Física, Biologia, Química, Engenharia, Medicina, Computação e Eletrônica.

Também foi possível analisar através do formulário online a afinidade dos alunos a respeito do tema, como mostra a **Fig. 3** do gráfico abaixo referente a pergunta 4.

Fig. 3. Gráfico da pergunta 4.



Apesar da maioria dos alunos não conseguirem definir o que seria N&N, eles a consideram importante pelas aplicações desta ciência na sociedade por meio da medicina, engenharia e computação, conforme foi discutido em sala de aula.

Por fim, através da pergunta 5 como foi previsto, os alunos tiveram pouco contato com esse tema. Cerca de 90% tiveram contato com o assunto pela primeira vez através desta pesquisa, os outros 10% já tiveram contato com o tema através de fontes como a internet, noticiários de TV e artigos científicos. Sendo que estes 10%, conseguiram responder com facilidade as perguntas do formulário online, após a aula proposta, os participantes conseguiram relacionar o tema e associa-lo às aplicações na sociedade no decorrer da história e como surgiram. Contudo, percebe-se que os alunos conseguiram obter uma aprendizagem significativa perante o tema abordado e conseguiram fazer mais indagações de sua importância para o futuro da humanidade.

IV. OBSERVAÇÕES FINAIS

De forma geral, os trabalhos analisados evidenciam a potencialidade e a característica interdisciplinar do tema, apontando para a possibilidade de correlação com as áreas de Física, Biologia, Química, Ciências da Saúde e Engenharias. A aplicação tecnológica da N&N no tratamento de doenças, fabricação de materiais com propriedades nunca observadas, e, até mesmo, na fabricação de cosméticos, também é destacado por muitos trabalhos. Entretanto, devido à falta de conhecimento quanto aos efeitos causados pela utilização inadequada dos nanomateriais, o tema ainda gera muita polêmica. Desta forma, muitos trabalhos apontam para a necessidade de tratar as questões sociais, éticas, políticas e econômicas intrínsecas ao tema, tendo cuidado para não reforçar a visão de neutralidade e salvacionista que muitos indivíduos trazem acerca da tecnologia.

Com relação ao ensino da N&N, a análise dos trabalhos selecionados mostra um cenário ainda bastante preocupante. Entre as principais dificuldades, percebe-se destaque na isenção do tema na formação inicial dos professores, e na desatualização dos currículos, tanto de nível médio como superior. Além disso, a falta de materiais didáticos de qualidade, que abordem o tema de maneira ampla, enfatizando os aspectos positivos e negativos, e as questões sociais, éticas, políticas e econômicas relacionadas ao tema, representa mais um grande obstáculo para o ensino de N&N no Brasil.

Contudo, o caminho a ser percorrido para que o tema seja amplamente trabalhado nas escolas ainda é longo, principalmente se aderir o ensino através da História da Física, e os desafios a serem superados são numerosos. Assim, o número de pesquisas e propostas didáticas com o tema “N&N” vem crescendo a cada ano, tanto na formação docente, inicial e continuada, quanto nas atividades curriculares desenvolvidas na educação básica. Ou seja, percebe-se que a temática da N&N aparece em várias publicações, de maneira explícita ou não, trazendo conceitos pertencentes à temática, ou relacionando conceitos de diversas áreas, assuntos e tópicos curriculares, como foi discutido anteriormente.

Por isso quando os artigos trazem a temática relacionada a conteúdos estabelecidos e bem trabalhados no Ensino Médio, percebe-se que há influência do tema no contexto sócio-econômico do país.

Já a abordagem mais utilizada, e talvez a mais direta de ser trabalhada e iniciar o ensino da N&N, com ensino de escalas, de ordens de grandeza e notação científica. Trabalhar com esses números de maneira contextualizada pode trazer diversos benefícios aos alunos, que veem no conteúdo uma lógica no que é ensinado, dando significado aos ensinamentos

escolares. Mas não há apenas esta abordagem, pode-se trabalhar a temática em diversas apresentações, tanto no Ensino Fundamental quanto no Ensino Médio.

A N&N, como conhecimento a ser ensinado, apresenta diversas alternativas de abordagens de conteúdo e metodológicas. No entanto, para que os professores estejam prontos para se utilizar de novas práticas, é necessário que sua formação inicial seja ampliada, ou seja, não abrindo mão da formação atual, mas complementando-a com as visões integradoras, inovadoras e contemporâneas que a N&N exige para que seja ensinada de maneira eficiente. Os licenciados devem estar atentos às mudanças de paradigma, investindo em formação continuada para que sua prática docente esteja sempre alinhada ao contexto escolar contemporâneo, de forma interdisciplinar, multidisciplinar e contextualizado.

Em relação à pesquisa realizada nas escolas de Icoaraci, a proposta de continuação para trabalhos futuros, é realizar uma nova aplicação de pesquisa com o mesmo questionário aplicado antes e depois das aulas sobre N&N, para avaliar a evolução dos alunos acerca do tema aprendido em sala de aula.

REFERÊNCIAS

- [1] K.V. Pina *et al.*, “Nanotecnologia e nanobiotecnologia: estado da arte, perspectivas de inovação e investimentos”, Porto Alegre: XXV Encontro Nacional de Engenharia de Produção - ENEGEP, 2005. Disponível em: <https://pdfs.semanticscholar.org/e691/be1b06c46e70d69c825fb7fe506f4f4a55d9.pdf>.
- [2] S.L.A. Silva *et al.*, “Afinal, o que é Nanociência e Nanotecnologia? Uma Abordagem para o Ensino Médio”, V Encontro Paulista de Pesquisa em Ensino de Química. Revista Química Nova na Escola, vol. 31, nº 3, p.172-178, 2009. Disponível em: http://qnesc.sbq.org.br/online/qnesc31_3/04-QS-7808.pdf.
- [3] M.A.S. Alvetti; D. Delizoicov. “O ensino de Física Moderna e Contemporânea e a revista Ciência Hoje”, In: Encontro de Pesquisa Em Ensino De Física, Florianópolis: UFSC, 1998.
- [4] P.A.B. Schulz, “A encruzilhada da nanotecnologia: inovação, tecnologia e riscos”, Rio de Janeiro: Vieira & Lent, p.128, 2009.
- [5] P. Schulz, “Nanotecnologia – uma história um pouco diferente”. Ciência Hoje, v. 308, p. 26-29, outubro, 2013.
- [6] P.A. Schulz, “Há mais história lá embaixo – um convite para rever uma palestra”, Revista Brasileira de Ensino de Física, v. 40, n. 4, p. 1-5, julho, 2018. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1590/1806-9126-rbef-2017-0375>.
- [7] S. Edwards, “Who invented nano? The Nanotech Pioneers, Us”, vol. 1, nº 1, p.87-87, nov. 2006. Disponível em: <https://www.nature.com/articles/nano.2006.115.pdf>.
- [8] A.A. Leonel, “Nanociência e Nanotecnologia: Uma proposta de ilha interdisciplinar de racionalidade para o ensino de Física moderna e contemporânea no Ensino Médio”, 2010, 215 f, Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2010. Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/bitstream/handle/123456789/94571/276442.pdf>.
- [9] Brasil, Ministério da Educação, “Orientações curriculares para o ensino médio: Ciências da natureza, matemática e suas tecnologias”, 2ª ed., Brasília: Secretaria da Educação Básica, 2006, p.135. Disponível em: http://portal.mec.gov.br/seb/arquivos/pdf/book_volume_02_internet.pdf.
- [10] Base Nacional Comum Curricular, Base Nacional Comum Curricular, de 2018, “Ministério da Educação”, Brasil, 2018. Disponível em: http://basenacionalcomum.mec.gov.br/wp-content/uploads/2018/06/BNCC_EnsinoMedio_embaixa_site_1_10518.pdf.
- [11] I.C. Echer, “A revisão de literatura na construção do trabalho científico”, Revista Gaúcha de Enfermagem, Porto Alegre, vol. 22, nº 2, p. 5-20, julho, 2001. Disponível em: <https://lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/23470/000326312.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.
- [12] M.C.D. Penha, “A (Im)Pertinência da História ao Aprendizado da Física (um Estudo de Caso)”, Revista Brasileira de Ensino de Física, vol. 23, nº 2, p.227, junho, 2001.
- [13] S. P. Deshmukh *et al.*, Silver nanoparticles as an effective disinfectant: A review, “Materials Science And Engineering: C”, [s.l.], vol. 97, p. 954-965, abril, 2019, Elsevier BV. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.msec.2018.12.102>.
- [14] I. Freestone *et al.*, “The Lycurgus Cup - A Roman Nanotechnology. Gold Bulletin”, Reino Unido, vol. 4, nº 40, p.270-277, janeiro, 2007. Disponível em: <https://link.springer.com/content/pdf/10.1007/BF03215599.pdf>.
- [15] G. J. Hutchings, “Heterogeneous Gold Catalysis”, Acs Central Science, [s.l.], vol. 4, nº 9, p. 1095-1101, julho, 2018. American Chemical Society (ACS). Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1021/acscentsci.8b00306>.
- [16] F. G. Soares; C. A. de Almeida; J. R. N. da Silva, “A física do impossível: nanotecnologia, metamateriais e invisibilidade na sala de aula”, In: Simpósio Nacional de Ensino de Física, 22, 2017, São Carlos, Anais, São Carlos: 2017. p. 1-8. Disponível em: http://www1.sbfisica.org.br/eventos/snef/xxii/sys/resumos/T113_0-1.pdf.
- [17] N. Elahi; M. Kamali; M. H. Baghersad, “Recent biomedical applications of gold nanoparticles: A review”. Talanta, [s.l.], vol. 184, p.537-556, julho, 2018, Elsevier BV. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.talanta.2018.02.088>.
- [18] B. Wu; N. Mathews; T. Sum, “Plasmonic Organic Solar Cells”, Springerbriefs In Applied Sciences And Technology, [s.l.], p. 0-114, 2017, Springer Singapore. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1007/978-981-10-2021-6>.
- [19] L. Su *et al.*, “A new instrument prototype to measure the geometric surface area of nanoparticles with a time resolution of 1s”. Journal Of Aerosol Science, [s.l.], vol. 132, p. 32-43, junho, 2019, Elsevier BV. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jaerosci.2019.03.007>.
- [20] P. Iqbal; J. A. Preece; P. M. Mendes, “Nanotechnology: The ‘Top-Down’ and ‘Bottom-Up’ Approaches”, Supramolecular Chemistry, [s.l.], p. 1-14, 15 março, 2012, John Wiley & Sons, Ltd. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1002/9780470661345.smc195>.
- [21] C. P. de Melo; M. Pimenta, “Nanociências e nanotecnologia”, Parcerias Estratégicas, Sp, vol. 45, nº 22, p. 9-21, dezembro, 2017. Disponível em: <file:///G:/IC-Dados/TCC/Capitulo1e2/130-506-1-PB.pdf>.
- [22] I. P. Jesus; I. Higa; L. Lorenzetti, “A abordagem CTS em propostas de ensino de nanotecnologia”, In: Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências, vol. 10, 2015, Águas de Lindóia, Anais, Águas de Lindóia: 2013, p. 1-8. Disponível em: <http://www.abrapecnet.org.br/enpec/x-enpec/anais2015/resumos/R1200-1.PDF>.
- [23] D. M. Santos; L. Londero, “Uma Discussão sobre Nanociência e nanotecnologia em aulas de física da educação básica”, In: Simpósio Nacional de Ensino de Física, vol. 21, 2015, Uberlândia, Anais, Uberlândia: 2015. p. 1-8. Disponível em: <http://www.sbf1.sbfisica.org.br/eventos/snef/xxi/sys/resumos/T0152-1.pdf>.
- [24] N.S.A. Ferreira, “As pesquisas denominadas estado da arte”, Educação & Sociedade, ano 23, nº 79, p. 257-272, agosto, 2002.
- [25] A.G. Cronemberger *et al.*, “Reflexões sobre o uso de tecnologias móveis como ferramenta de ensino”, Scientia Plena: I Workshop sobre Pesquisas na Amazônia e I Encontro do MNPEF da UNIFESSPA, vol. 13, nº 1, p.2, 2017. Disponível em: <https://www.scientiaplenu.org.br/sp/article/view/3507/1634>.