

Divulgando a nanotecnologia: marcos históricos e iniciativas de popularização

Felipe Gustavo Silva de Abreu

Natasha Midori Suguhiro

Monica M Lacerda

Resumo

A divulgação científica tem o compromisso de aproximar o público leigo dos resultados da ciência obtidos por pesquisadores em seus ambientes acadêmicos. Numa linguagem acessível, transporta o conhecimento, cria pontes entre o público e os centros de pesquisa. Sua importância reside na aculturação científica da sociedade, permitindo-lhe adotar as bases científicas como parâmetros para tomada de decisões que impactam seu cotidiano. Neste contexto, a nanociência e a nanotecnologia trazem contribuições significativas para o dia-a-dia da população que, em geral, apresenta uma percepção positiva sobre seu uso em diversas áreas do conhecimento. Neste trabalho empregamos a abordagem histórica, descritiva, que contribui para mostrar a evolução da ciência na nanoscala antes e após a famosa palestra de Richard Feynman em 1959, considerado o pai da nanotecnologia por sua visão do potencial científico da manipulação atômica. Apontamos marcos históricos relevantes para o desenvolvimento e aplicação da ciência do mundo nanométrico e apresentamos diferentes iniciativas que levam o conhecimento a um público curioso empregando-se uma linguagem acessível através, principalmente, da rede mundial de computadores em larga escala.

Palavras-chave: divulgação científica, cultura científica, nanotecnologia

Abstract

Scientific dissemination is committed to bringing the scientific results obtained by researchers in their academic environments closer to the lay public. Using an accessible language, it communicates knowledge and builds bridges between the public and research centers. Its importance lies in the scientific acculturation of society, allowing it to adopt scientific bases as parameters for decision-making that impacts its daily life. In this context, nanoscience and nanotechnology bring significant contributions to the lifestyle of the population, which generally has a positive perception of their use in various areas of knowledge. In this work, we use a historical, descriptive approach that helps to show the evolution of science at the nanoscale before and after the famous lecture by Richard Feynman in 1959, considered the father of nanotechnology for his vision of the scientific potential of atomic manipulation. We point out relevant historical milestones for the development and application of science in the nanometric world and present different initiatives that bring knowledge to a curious public using accessible language, mainly through the world wide web.

Keywords: scientific dissemination, scientific culture, nanotechnology

Comunicação Científica

A frase em latim “verba volant, scripta manent” (a palavra voa, a escrita permanece) pautou, por séculos, a transmissão oral da informação nas áreas de ciências e filosofia. Na Grécia antiga, a oralidade era valorizada pelos grandes filósofos. Sócrates menosprezava a escrita, assim como Platão que a criticava, pois estaria sujeita a interpretações singulares, possivelmente equivocadas, em relação ao que o autor desejaria comunicar. E foi a partir do período do Renascimento que a comunicação científica, influenciada pelos escritos de Aristóteles, se desenvolveu na Europa Ocidental e na cultura árabe. A partir de nomes como Francis Bacon, Descartes, Galileu e Newton, a ciência passou a ser fundamentada em evidências empíricas e na aplicação do conhecimento¹. Seu conceito é diverso, embora, para alguns, limitado ao conteúdo e ao público a que se destina. Na literatura encontram-se definições como “a forma de estabelecer diálogo com o público da comunidade científica - comunicação entre pares”² e como “transferência de informações científicas, tecnológicas ou associadas a inovações a que se objetiva aos especialistas em certas áreas do conhecimento”³. A comunicação científica, também, é entendida de forma mais abrangente e que necessariamente deve considerar seus resultados na sociedade. Burns e colaboradores⁴ aprofundaram a discussão ao responder a questão “Para que fazer comunicação científica?” e consideraram que o propósito da comunicação científica é alcançado quando o público-alvo responde à informação com pelo menos uma das cinco atitudes sobre as ciências - a conscientização, a diversão, o interesse, a opinião e a compreensão. Denominada pelos autores como Analogia das Vogais (AEIOU, *awareness, enjoyment, interest, opinion and understanding*) busca-se medir a efetividade da comunicação em ciências que envolve a população jovem ainda na fase educacional, a população em geral, o

¹ Rosa, F & Barros, S. (2018). Comunicação científica: reflexões preliminares para o GT Relevância dos livros acadêmicos na comunicação da pesquisa. *SciELO 20 Anos*, revisado em 7 de agosto de 2018, https://www.scielo20.org/redescielo/wp-content/uploads/sites/2/2018/07/ROSA-F_-BARROSS.-Comunicacao-Cientifica.pdf.

² Valerio, P. M. & Pinheiro, L. V. R. (2008). Da comunicação científica à divulgação. *TransInformação* 20, no. 2: 159-69.

³ Bueno, W.C, Comunicação Científica e Divulgação Científica: Aproximações e Rupturas Conceituais. *Informação & Informação* 15, n. esp. (2010): 1-12, <https://www.brapci.inf.br/index.php/res/v/33484>.

⁴ Burns, T. W., O'Connor, D. J. & Stocklmayer, S. M.. Science Communication: A Contemporary Definition. *Public Understanding of Science* 12 (2003): 183-202, <https://doi.org/10.1177/09636625030122004>.

agente legislador formulador de políticas públicas, pesquisadores e, mais recentemente, os influenciadores nas redes sociais.

A contribuição da divulgação científica (DC) se dá no processo de construção da cultura científica, peça necessária para a ascensão da formação cidadã e, recentemente, necessária para combater a desinformação e para ampliar a credibilidade nas ciências.

Parte do entendimento do processo que envolve a divulgação científica, como um todo, se faz através da compreensão do chamado sistema da ciência que é formado por cientistas, por seus processos de produção, por seus produtos, pela comunicação primária (associada às características da linguagem científica) e pela comunicação secundária (relativa à linguagem coloquial), considerando-se o contexto histórico, político, econômico e social do conteúdo científico⁵. O modelo da “Espiral da Cultura Científica”, criado por Vogt, representa as conexões temporal e espacial entre as partes envolvidas e que resultaria na formação de pessoas críticas, que reconhecem e avaliam conteúdos falsos ou míticos sobre ciências. Para o autor,

“A expressão ‘cultura científica’ soa mais adequada por englobar ... a visão da ciência como formadora da cultura – seja do ponto de vista da sua produção, da sua difusão entre os pares ou na dinâmica social do ensino e da educação, bem como da sua divulgação na sociedade para o estabelecimento das relações críticas necessárias entre o cidadão e os valores culturais de seu tempo e de sua história”⁶

O objetivo maior da divulgação científica é a democratização do acesso ao conhecimento científico, estabelecendo condições para a construção da alfabetização científica⁷. A ideia de adaptar informações para que seja possível atender a um público leigo, divulgando e compartilhando conhecimentos científicos sobre um determinado tema, através de suas descobertas e evidências, torna-se um processo de recodificação quando possibilita que uma linguagem especializada se torne uma linguagem não especializada.

A divulgação científica requer que a linguagem especializada de pesquisadores e cientistas seja simplificada para melhor compreensão pelo público

⁵ Epstein, I. (2002). Divulgação científica: 96 verbetes. Campinas: Pontes p. 287.

⁶ Vogt, C. (2003). A Espiral da cultura científica". *ComCiência - Cultura Científica*, n. 45 <http://www.comciencia.br/reportagens/cultura/cultura01.shtml>.

⁷ Muller, S. P. M. & Caribé, R. C. V. (2020). Comunicação científica para o público leigo: breve histórico. *Informação & Informação* 15, n. esp.: 13-20. <https://doi.org/10.5433/1981-8920.2010v15n1espp13>

leigo⁸. Uma linguagem simples e acessível, às vezes pictórica, e livre de jargões contribui para que o conteúdo transmitido alcance um número maior de interessados⁹.

Há tempos que a divulgação científica vem fazendo uso de variados meios como jornais, revistas e, de forma mais recente, do espaço da web, alcançando um público maior e menos seletivo. Com a expansão da tecnologia da informação, cresceu a divulgação científica feita pelas redes sociais, porém pesquisadores, criadores/desenvolvedores de conhecimento, ainda contribuem pouco nessas plataformas^{10,11}. As mídias sociais tornaram-se importantes meios de divulgação e potencializaram o acesso às notícias e informações e a disseminação das chamadas “fake news” (notícias falsas). Como resultado provocaram nos jovens uma crise de confiança por se sentirem inseguros a respeito da credibilidade das informações recebidas e por apresentarem dificuldades para distinguir o falso do verdadeiro¹². No entanto, está no grupo de adultos a maior dificuldade em distinguir e identificar notícias falsas¹³.

Neste trabalho apresentamos, através de uma abordagem descritiva, a história da divulgação científica no Brasil, os personagens, a evolução temporal da nanociência e da nanotecnologia no mundo e ações de popularização da ciência e da tecnologia em nanoescala disponíveis na rede mundial (www) para o público leigo. Os destaques, marcos científicos, descritos neste artigo foram escolhidos considerando, principalmente, mas não exclusivamente, o papel da física e dos físicos na ciência desenvolvida majoritariamente nos últimos 100 anos. Ciência essa que tem sua estrutura alicerçada em trabalhos desenvolvidos há dois milênios, que impacta o

⁸ Porto, C. M. (2011). Um olhar sobre a definição de cultura e de cultura científica. *Diálogos entre ciência e divulgação científica: leituras contemporâneas*, org. Cristiane de Magalhães Porto, Ana Maria P. Brotas, e Sueli T. Bortoliero (Salvador: EDUFBA), 93-122, <https://books.scielo.org/id/y7fvr/pdf/porto-9788523211813-06.pdf>

⁹ Martins, H. T., Silva, A. R. & Cavalcanti, M.T.. Linguagem Simples: Um Movimento Social por Transparência, Cidadania e Acessibilidade. *Cadernos do Desenvolvimento Fluminense*, n. 25 (2023): 64-80. <https://doi.org/10.12957/cdf.2023.80489>

¹⁰ Almeida, R. B. F. (2019) *Proposição de estratégias de marketing digital para pesquisadores utilizarem as redes sociais como forma de divulgação científica*. 2020. 138 f. (Dissertação de Mestrado Profissional) Universidade Federal de Alagoas, Maceió..

¹¹ Souza, J. B., Dale, C. S. Divulgação científica nas mídias sociais - desafios e oportunidades. *Brazilian Journal of Physics*. 2024, v.7:e20240035.

¹² Fagundes, V. O., Massarani, L., Castelfranchi, Y., Mendes, I. M., Carvalho, V.B., Malcher, M. A., Miranda, F. C. & Lopes, C. L. (2021). Jovens e sua percepção sobre fake news na ciência. *Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi. Ciências Humanas* 16 (1): e20200027. doi:10.1590/2178-2547-BGOELDI-2020-0027

¹³ Doss, C., Mondschein, J. Shu, D., Wolfson, T., Kopecky, D., Fitton-Kane, V. A., Bush, L. & Tucker, C. (2023). Deepfakes and Scientific Knowledge Dissemination. *Scientific Reports* 13: 13429. <https://doi.org/10.1038/s41598-023-39944-3>

cotidiano da sociedade em diversos aspectos, da saúde à comunicação, porém pouco reconhecida e entendida pela população em geral. O material de referência foi obtido através de buscas nas plataformas “scientific electronic library online” (SCIELO) e GOOGLE, além da plataforma de dissertações e teses da CAPES. As iniciativas nacionais de popularização da nanociência e da nanotecnologia, apresentadas neste trabalho, têm origem em universidades. São resultados de trabalhos de pesquisa realizados por professores e pós-graduandos de áreas das ciências da natureza, pesquisadores que promovem pontes entre a sociedade e o mundo acadêmico, visto como “...um arquipélago de ilhas espalhadas, populadas por especialistas em campos crescentemente mais limitados”¹⁴.

Breve Histórico da Divulgação Científica

A primeira informação científica veiculada na imprensa foi uma breve notícia sobre a epidemia de febre amarela de 1690, publicada no Estado de Boston, EUA. Desde então, a criação de sessões e atas para os jornalistas especializados progrediu contribuindo assim para o desenvolvimento do jornalismo científico¹⁵.

No Brasil, entre os séculos XVI e XVIII, a demanda científica era técnica ou militar, não havendo imprensa ou atividades científicas¹⁶. Já no início do século XIX foi criada a Imprensa Régia e os primeiros livros e jornais foram publicados. A Gazeta do Rio de Janeiro, O Patriota e o Correio Braziliense trouxeram as primeiras publicações com artigos e notícias científicas¹⁷.

Ainda no final daquele século, o engenheiro e astrônomo Henrique Morize, fundador-diretor do Imperial Observatório do Rio de Janeiro, primeiro presidente da Sociedade Brasileira de Ciências, divulgava a ciência junto à população, especialmente em áreas como física e astronomia¹⁸.

¹⁴Bensaude-Vincent, B. (2009). A historical perspective on science and its others. *Isis* 100: 359 -368. hal-00925427. <https://paris1.hal.science/hal-00925427v1/document>

¹⁵Muller, S. P. M. & Caribé, R. C. V. (2020). "Comunicação científica para o público leigo: breve histórico," *Informação & Informação* 15, n. esp.: 13-20. <https://doi.org/10.5433/1981-8920.2010v15n1espp13>

¹⁶Moreira, I. C., & Massarani, L. (2002). Aspectos históricos da divulgação científica no Brasil. In I. Massarani, I. C. Moreira, & F. Brito (Org.). Ciência e Público: caminhos da divulgação científica no Brasil (pp. 43-64). Casa da Ciência.

¹⁷Caribé, R. C. do V. (2011). *Comunicação científica para o público leigo no Brasil*. Brasília. 320 f. Tese (Doutorado em Ciência da Informação)- Faculdade de Ciência da Informação, Universidade de Brasília.

¹⁸Barboza, C. H. (2004). Henrique Morize e o ideal de ciência pura na República Velha. *Revista da SBHC*. Rio de Janeiro, v. 2, n. 2, p. 171-174. https://www.sbhc.org.br/arquivo/download?ID_ARQUIVO=153

Na década de 1920, a divulgação científica era tratada como uma “vulgarização científica” ao possibilitar à população os conhecimentos advindos da produção científica no país, por meio de jornais, revistas, livros e conferências periódicas abertas ao grande público. Em 1923, foi criada a primeira rádio brasileira, a Rádio Sociedade do Rio de Janeiro fundada por Edgard Roquette-Pinto. Pioneiro em utilizar o rádio como instrumento de divulgação científica e considerado o pai da radiodifusão brasileira, Roquette-Pinto se dedicou a mostrar que o conhecimento científico fazia parte do conjunto de programas dedicados a educar o povo¹⁹.

Dentro deste breve histórico destaca-se a importância de um dos maiores difusores da ciência e tecnologia desse país: o médico José Reis (1907-2002). Considerado o pai da divulgação científica no Brasil, divulgou a ciência por diversos meios como revistas e programas de rádio, e foi presidente da Associação Brasileira de Jornalismo Científico (ABJC) e da Associação Brasileira de Divulgação Científica (ABRADIC)²⁰.

Do final do século XX até o momento atual, a divulgação científica no Brasil vem se tornando mais abrangente. Meios de comunicação como rádio, televisão, imprensa e até mesmo o cinema foram fundamentais para o processo de democratização científica. A internet conseguiu aumentar ainda mais a velocidade na divulgação da ciência possibilitando a fusão das variadas formas de comunicação em um único meio. Por exemplo, páginas como Ciência Hoje *on-line*, o *ScienceNet*, o Portal de Jornalismo Científico, e o Canal Ciência são pioneiros em fazer divulgação científica na *World Wide Web* no nosso país²¹.

Nanotecnologia

A nanociência pode ser entendida como o estudo, descoberta e entendimento da matéria com manifestações características das dimensões predominantes em nanoscalas, entre 1 nanômetro e 100 nanômetros, o que no Sistema Internacional de Unidades (S.I.) está compreendido entre 1 bilhão de vezes a 10 milhões de vezes

¹⁹ Rocha, M. V. (2010). *A Rádio Sociedade e a Educação para Roquette-Pinto*. Dissertação.

Programa de Pós-Graduação em Educação, Conhecimento e Inclusão Social, Faculdade de Educação da UFMG, Belo Horizonte. Disponível em:

<https://repositorio.ufmg.br/bitstream/1843/BUOS-8PKLTO/1/dissertao.pdf>

²⁰ Abdala-Mendes, M. F. (2021) José Reis e uma vida dedicada a divulgar ciência. Resenha de *História, Ciências, Saúde - Manguinhos* (Rio de Janeiro), v. 28, n. 2: 607-610.

²¹ França, A. A. (2015). *Divulgação científica no Brasil: espaços de interatividade na Web*. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de São Carlos, 13/6 f.

menor do que a unidade métrica²². Já a nanotecnologia corresponde a compreensão e controle da matéria e de processos em nanoscalas, em dimensões menores que 100 nanômetros em uma ou mais dimensões, criando materiais, dispositivos e sistemas que exploram suas propriedades²³.

Breve Histórico da Nanotecnologia

Um dos marcos mais relevantes para o tema aconteceu em dezembro de 1959, quando o físico norte-americano *Richard Feynman* apresentou, em um encontro realizado pela *American Physical Society*, em Pasadena Califórnia, a palestra intitulada “*There is plenty of room at the bottom*” (“Tem muito espaço lá embaixo”)²⁴. O cientista versou sobre a possibilidade da ciência explorar o campo da *miniaturização, manipulação e controle* de materiais em uma pequena escala, como escrever todos os 24 (vinte quatros) volumes da Enciclopédia Britânica na cabeça de um alfinete. Para Feynman, o processo de miniaturização de computadores, por exemplo, possibilitaria maior rapidez de processamento. Da mesma forma, a ideia de reorganizar a estrutura atômica implicaria na ideia de manipulação e de síntese de materiais em escala atômica ou molecular. A figura 1 resume importantes marcos da nanotecnologia considerando a palestra de Feynman como determinante para seu desenvolvimento.

O termo nanotecnologia foi introduzido em 1974, pelo professor japonês *Norio Taniguchi*, da Universidade de Ciências de Tóquio, que o definia como processos de manipulação de um átomo ou uma molécula e o associava a uma nova tecnologia que iria além do controle de materiais e da engenharia em microescala²⁵.

Com a necessidade de aumentar a resolução da microscopia para visualizar e manipular os átomos individualmente, em 1982 os físicos *Gerd Binnig* e *Heinrich Rohrer* criaram nos laboratórios de pesquisa da IBM em Rüschlikon, na Suíça, o

²² International Organization for Standardization (ISO). Nanotechnologies – Vocabulary – Part 4. www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso:ts:80004:-4:ed-1:v1:en.

²³ Ibid.

²⁴ Feynman, R. P. (1959). "Plenty of Room at the Bottom" (palestra apresentada no encontro anual da American Physical Society, Caltech, Pasadena, CA, 29 de dezembro. https://web.pa.msu.edu/people/yang/RFeynman_plentySpace.pdf.

²⁵ Schulz, P. (2013). "Nanotecnologia: uma história um pouco diferente," *Ciência Hoje* 308, <https://cienciahoje.org.br/artigo/nanotecnologia-uma-historia-um-pouco-diferente/>.

microscópio eletrônico de tunelamento, que possibilita estudar a superfície dos materiais em escala atômica (STM, *Scanning Tunneling Microscope*)²⁶.

Figura 1: Marcos do desenvolvimento da Nanociência e Nanotecnologia considerando como ponto de partida a palestra de Richard Feynman realizada em 1959.



Fonte: autores do artigo.²⁷

Três anos depois, o inglês *Harold Kroto* e os americanos *Robert Curl* e *Richard Smalley*, descobriram uma forma alotrópica do carbono denominada *fulereno* que tem diversas aplicações em áreas como Química, Física e Matemática, por exemplo, na construção de novos materiais com a formação de nanomoléculas esferoidais constituídas por 60 (sessenta), ou mais, átomos de carbono²⁸. O nome *fulereno* se

²⁶Galembek, F. (2013). "Microscopia de sondas: uma caixa de ferramentas da nanotecnologia". *Ciência e Cultura* 65, nº 3: 37-43. <http://dx.doi.org/10.21800/S0009-67252013000300013>.

²⁷ Fonte: autores do artigo

²⁸ Corrêa, T. H. B. & Reis, J. D. S. (2017). Estrutura de fulerenos: estabelecendo interfaces no ensino de matemática e química em nível superior. *Química Nova* 40, nº 8: 963-69.

deve à homenagem feita ao arquiteto americano Richard Buckminster Fuller, que tem nas suas obras estruturas characteristicamente esféricas.

Em 1989 o físico *Donald Eigler* escreveu o logotipo da empresa IBM com átomos individuais de xenônio utilizando a tecnologia de microscopia de tunelamento (*scanning tunneling microscopy* - STM) com um arranjo de 35 (trinta e cinco) átomos organizados²⁹. Esta manipulação foi considerada, efetivamente, a primeira demonstração na habilidade de mover e configurar os átomos, sendo possível por conta do avanço tecnológico.

Em 1991, o físico japonês *Sumio Iijima* publicou na *Nature* o artigo intitulado *Helical microtubules of graphitic carbon* (Microtubos helicoidais de carbono grafítico - tradução livre dos autores) com a primeira descrição da existência de estruturas de carbono em forma de nanotubos³⁰ e em 1999 o biofísico holândes, *Cees Dekker*, demonstrou em seu artigo publicado na *Physics Today* com o título *Carbon nanotubes as molecular quantum wires* (Nanotubos de carbono como fios quânticos moleculares) que os nanotubos poderiam ser usados como transistores ou outros dispositivos eletrônicos³¹.

A partir dos anos 2000 o avanço da nanociência e da nanotecnologia cresceu abundantemente, possibilitando avanços significativos em várias áreas do conhecimento. A descoberta do grafeno em 2004 impactou pesquisas em Física e Química e o desenvolvimento de produtos e processos em Engenharia³². Os físicos *Geim* e *Novoselov* conseguiram formar estruturas isoladas de monocamadas de carbono através do processo de esfoliação mecânica realizada com fita adesiva. A criatividade e o pioneirismo lhes renderam o prêmio Nobel de Física em 2010^{33, 34}.

²⁹ IBM, The Scanning Tunneling Microscope.

<https://www.ibm.com/history/scanning-tunneling-microscope>.

³⁰ Iijima, S. (1991). Helical Microtubules of Graphitic Carbon. *Nature* 354: 56-58.

<https://doi.org/10.1038/354056a0>.

³¹ Dekker, C. (1999). Carbon Nanotubes as Molecular Quantum Wires. *Physics Today* 52, no. 5 22-28. DOI: 10.1063/1.882658.

³² Bayda, S., Adeel, M., Tuccinardi, T., Cordani, M. & Rizzolio, F. (2020) The History of Nanoscience and Nanotechnology: From Chemical-Physical Applications to Nanomedicine. *Molecules* 25, no. 1. <https://www.mdpi.com/1420-3049/25/1/112>

³³ Geim, A. K., Novoselov, K. S. (2007). The Rise of Graphene. *Nature Materials* 6: 183-91, <https://doi.org/10.1038/nmat1849>.

³⁴ Zarbin, A. J. G. & Oliveira, M. M. (2013). Nanoestruturas de Carbono (Nanotubos, Grafeno): Quo Vadis?," *Química Nova* 36, no. 10: 1533-39, <https://doi.org/10.1590/S0100-40422013001000009>.

Os diversos métodos de preparação de nanopartículas, principalmente aqueles que utilizam rota química, propiciaram pesquisas em Biologia, Farmácia e Medicina, que resultaram no entendimento de toxicidade e funcionalidade e que convergiram em produtos e procedimentos menos invasivos e mais eficientes. Na área de Informática, produtos cada vez mais velozes, com capacidade de armazenamento cada vez maior e que ocupam espaços cada vez menores são resultados de dispositivos eletrônicos, como transistores, em escala nanométrica. Produtos em escala nano como nanopartículas, nanofitas, pontos quânticos e nanoconchas estão presentes em cosméticos, em novos medicamentos, em chips de computadores, telas de TV e de celular, baterias, tintas, peças automotivas e tantos outros produtos do cotidiano³⁵.

Porém, o desenvolvimento da ciência é um processo evolutivo e é a comunicação científica entre pares, principalmente, que permite sua continuidade. Quando Feynman levantou a possibilidade de manipular átomos e moléculas e de escrever uma grande quantidade de dados em uma pequena superfície, diversos pesquisadores no mundo inteiro haviam desenvolvido ou desenvolviam tecnologias, produtos, novos materiais e métodos que hoje são considerados parte da história da nanociência.

A figura 2 apresenta alguns exemplos que representam outros marcos, como o experimento de soluções coloidais de ouro realizado por Faraday no fim do século XIX; as monocamadas obtidas por Langmuir e Blodgett na década de 20 e a microscopia de campo iônico de Muller no início da segunda metade do século XX³⁶.

³⁵Ganguly, S. & Mukhopadhyay, K. (2011). Nano Science and Nanotechnology: journey from past to present and prospect in veterinary science and medicine. *International Journal of Nanoscience and Nanotechnology*, vol 2, number 1, 79-83.

³⁶National Nanotechnology Initiative, NNI Timeline. <https://www.nano.gov/timeline>.

Figura 2: Trabalhos que mostram a evolução da ciência e têm papel importante no desenvolvimento da nanotecnologia.



Fonte: autores do artigo.³⁷

Antes mesmo do avanço da área da microscopia e do estudo sistemático de preparação de nanomateriais, vidraceiros medievais fabricantes de vitrais de igrejas europeias, hoje sabe-se, utilizavam nanopartículas de cobre para alterar as cores das vidraças, como os da igreja de Sainte-Chapelle em Paris, França, construída em meados do século XIII³⁸.

Outro exemplo famoso vem da Roma do século IV a.C, o conhecido Cálice de Licurgo (Lycurgus Cup) que apresenta cor esverdeada quando observado por reflexão e avermelhada quando observado pela transmissão da luz³⁹. Um estudo sistemático, recente, identificou nanopartículas com diferentes composições em vidraria de uma vila romana construída no segundo século D.C. As peças analisadas possuem diferentes tonalidades de vermelho que foram associadas à presença de nanopartículas de cobre metálico de diferentes tamanhos⁴⁰. Esses e outros exemplos mostram que o que chamamos hoje de nanotecnologia faz parte da história da ciência.

³⁷ Fonte: autores do artigo.

³⁸ Hunault, M.O.J.Y., Bauchau, F., Boulanger, K., Hérold, M., Calas, G., Lemasson, Q., Pichon, L., Pacheco, C. & Loisel, C. (2021). Thirteenth-Century Stained Glass Windows of the Sainte-Chapelle in Paris: An Insight into Medieval Glazing Work Practices. *Journal of Archaeological Science: Reports* 35: 102753, <https://doi.org/10.1016/j.jasrep.2020.102753>

³⁹ Alves, O.L. (2004). Nanotecnologia, nanociência e nanomateriais: quando a distância entre presente e futuro não é apenas questão de tempo. *Parcerias Estratégicas*, no. 18.

⁴⁰ Bandiera, M., Lehuédé, P., Verità, M., Alves, L., Isabelle Biron, I. & Vilarigues, M. (2019)

Divulgação Científica sobre Nanotecnologia

Em 1966, o filme *Fantastic Voyage* (Viagem Fantástica), romantizado em livro pelo escritor de ficção científica *Isaac Asimov*, mesmo fora da escala nanométrica, é a primeira obra de ficção que mergulha na temática da miniaturização abordada por Feynman em 1959, e conta a estória de um grupo de cirurgiões que tem a missão de viajar dentro das veias de um paciente em direção ao cérebro em uma nave de um pouco mais de 1 µm (micrômetro)⁴¹.

A nanotecnologia saiu dos limites acadêmicos quando foi divulgada amplamente pelo engenheiro americano *Eric Drexler* em 1986, tornando-a mais popular através da publicação da sua obra *Engines Of Creation – The Coming Era of Nanotechnology* (Motores da criação - A nova era da Nanotecnologia, tradução livre dos autores), que descreve e ilustra a metodologia de processamento envolvendo a manipulação átomo a átomo e suas possíveis consequências em diferentes áreas do conhecimento como medicina e economia.

Na literatura nacional, *O mundo nanométrico: a dimensão do novo século* de Henrique Eisi Toma é uma obra importante que, além de apresentar temas e propostas futuras, descreve o início da nanotecnologia. Publicada pela primeira vez em dezembro de 2009, tornou-se uma referência dentro do campo introdutório da nanotecnologia⁴².

A divulgação científica voltada para a nanociência e a nanotecnologia ocorre em vários meios que contribuem para a construção do entendimento desta área interdisciplinar da ciência. Revistas, cartilhas, *sites*, *blogs*, canais de vídeos, postagens em redes sociais, *podcasts* e livros constituem um considerável acervo para aproximar a sociedade deste universo. Como exemplos, a cartilha “*Nanotecnologia para Todos!*”⁴³ que está disponível no “site” *Ensinano*⁴⁴. Lançado

Nanotechnology in Roman Opaque Red Glass from the 2nd Century AD. Archaeometric Investigation in Red Sectilia from the Decoration of the Lucius Verus Villa in Rome. *Heritage* 2, nº 3: 2597-2611, <https://doi.org/10.3390/heritage2030159>.

⁴¹ Fleischer, R. (1966). Viagem fantástica citado em Bartira Rossi-Bergmann, A nanotecnologia: da saúde para além do determinismo tecnológico. *Ciência e Cultura* 60, nº 2 (2008): 54-57, acessado em 4 de abril de 2023, http://cienciaecultura.bvs.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0009-67252008000200024&lng=en&nrm=iso.

⁴² Toma, H.E. (2009). “O mundo nanométrico: a dimensão do novo século.” São Paulo: Oficina de Textos.

⁴³ Silva, D. G. & Toma, H. E. (2018). “Nanotecnologia para todos! Cartilha educativa para divulgação e ensino da nanotecnologia.” São Paulo: Edição dos autores.

⁴⁴ ENSINANO. (2017). Plataforma de Ensino da Nanotecnologia. <https://www.ensinano.com.br>.

em 2016 pela Fundação Nacional em Ciência (NSF) americana, o livro *DYN-Nano: Do-it-yourself science activities* (em tradução livre significa *Atividades de Ciências Faça Você Mesmo*) tem como objetivo oferecer para pais atividades investigativas lúdicas e experimentais de fácil reprodução que podem ser realizadas em casa⁴⁵. Além dos dois exemplos anteriores, o livro *Nanotecnologia Experimental* apresenta experimentos voltados para os princípios da nanotecnologia e que utilizam materiais e instrumentos de fácil aquisição⁴⁶.

Dentro do contexto de empoderamento feminino encontra-se o guia “Meninas nas exatas: aprendendo nanotecnologia”⁴⁷. O guia foi escrito e ilustrado por quatro estudantes, duas de graduação e duas da educação básica, com o objetivo de apresentar, para o público em geral, os princípios da nanociência, exemplos de aplicações e práticas experimentais empregando a linguagem coloquial usada pelas meninas. Neste trabalho, utiliza-se a analogia como metodologia para explicar os fenômenos relacionados à escala nanométrica e, por exemplo, à relação área-volume em nanociência.

Levando em consideração o fácil acesso à internet, o site “Nanotecnologia no Ensino de Ciências”⁴⁸, conta um pouco da história, apresenta experimentos e disponibiliza material de apoio sobre as bases e aplicações de materiais nanométricos. Além de contribuir para dissociar a ficção científica da nanotecnologia, pois deixa claro que a aplicamos no presente, o conteúdo do site promove a popularização do conhecimento sobre os conceitos básicos da nanociência.

O quadro 1 resume as iniciativas de divulgação científica apresentadas acima a fim de que se possa comparar os anos de lançamento, se nacional ou internacional, se digital ou impresso e os diferentes canais de acesso. Observa-se que nos últimos 10 anos cresceu o número de agentes que atua na exposição de conteúdos sobre nanotecnologia, sob a perspectiva de popularizar e diminuir o desconhecimento sobre o tema.

⁴⁵ DIY Nano: Do-It-Yourself Science Activities. (2022) (National Science Foundation, 2016). <https://www.nisenet.org/sites/default/files/catalog/uploads/DIY%20Nano%20HRsm.pdf>.

⁴⁶ Toma, H. E., Silva, D. G. & Condomitti, U. (2016). *Nanotecnologia Experimental* (São Paulo: Editora Blucher).

⁴⁷ Autor (2022).

⁴⁸ Autor (2023)

Quadro 1: Resumo dos diferentes canais de divulgação científica sobre nanotecnologia abordados neste trabalho.

DIVULGAÇÃO CIENTÍFICA EM NANOTECNOLOGIA							
	ANO	NACIONAL	INTERNACIONAL	SITE	GUIA	LIVRO	FILME
<i>Fantastic Voyage (viagem fantástica)</i>	1966		X			impresso	X
<i>Engines of Creation</i>	1986		X			impresso	
<i>O mundo nanométrico</i>	2009					impresso	
<i>DIY-nano</i>	2016		X	X			
<i>Nanotecnologia experimental</i>	2016	X				impresso	
<i>Ensinano</i>	2017	X		X			
<i>Nanotecnologia para todos</i>	2018	X				digital	
<i>Meninas nas exatas aprendendo nanotecnologia</i>	2020	X			digital		
<i>Nanotecnologia no ensino de Ciências</i>	2023	X		X			

Fonte: Autores do artigo⁴⁹

As iniciativas de DC em rede social/internet apresentadas aqui têm dois pontos em comum. O primeiro encontra-se no uso de experimentos químicos, físicos ou análogos para a compreensão dos fenômenos que descrevem o universo nanoscópico. O segundo é a realização dos experimentos em espaços não formais, como consequência do uso de materiais simples e seguros.

Contudo, torna-se imprescindível entender se os meios de divulgação, e seus conteúdos, de fato contribuem para o desenvolvimento da educação científica ou a compreensão da ciência. Entende-se que Ensino de Ciências e Divulgação Científica em Ciências têm os mesmos objetivos, educar, engajar e, também, divertir seus públicos⁵⁰. O trabalho de Lo e Ku (2021)⁵¹, realizado com estudantes dos anos iniciais do ensino fundamental, traz contribuições importantes sobre a eficiência da

⁴⁹ Fonte: autores do artigo.

⁵⁰ Barm-Tsabari, A. & Osborne, J. (2015). Bridging Science education and Science Communication Research. *Journal of Research in Science Teaching*. Vol 52 No. 2, 135 - 144.

⁵¹ Lo, Y. W., Ku, C-H. (2021). Exploring the effectiveness and impacts of different types of media in science learning. *Proceedings of the 4th International Baltics STE*.

aprendizagem utilizando-se vídeos, revistas em quadrinho e desenhos animados. Todos os recursos empregados pelos pesquisadores são considerados material de divulgação científica, e através da metodologia AEIOU⁵² seus resultados mostraram que os meios utilizados contribuíram para a conscientização, a diversão, o interesse e o entendimento da ciência.

Considerações Finais

A opinião pública sobre a nanotecnologia sofre influência de diversos fatores culturais, da crença nas ciências e, principalmente, de como os meios de divulgação apresentam as notícias relacionadas ao tema⁵³. Disseminar seus conceitos básicos promove a compreensão desse conhecimento que, no médio prazo, pode contribuir para preparar a sociedade para as mudanças advindas dela, pois o modelo de disseminação do conhecimento entende que o público interessado tem uma atitude positiva sobre as ciências⁵⁴.

O termo nano é encontrado em embalagens de diversos produtos, de tecnologia ou não, em títulos de livros de diferentes conteúdos, como esotérico, infantil e científico e, no entanto, seu significado é pouco conhecido do público em geral. Crianças e adolescentes, principalmente, reconhecem a palavra, mas não seu significado, e a associam a coisas pequenas e invisíveis aos olhos. Suas fontes de conhecimento limitam-se a TV e a filmes de ficção⁵⁵. Discussões sobre nanotecnologia em mídias sociais, especialmente no twitter (atual X), são mediadas, majoritariamente, por influenciadores e não por especialistas, e resultam numa percepção de risco positiva sobre seus benefícios para a sociedade e para a economia. Contudo, discussões que associam a nanociência a doenças endêmicas,

⁵² Burns, T. W., O'Connor, D. J. & Stocklmayer, S. M. (2003). Science Communication: A Contemporary Definition. *Public Understanding of Science* 12: 183-202, <https://doi.org/10.1177/09636625030122004>.

⁵³ Rathore, A. & Mahesh, G. (2021) Public Perception of Nanotechnology: A Contrast Between Developed and Developing Countries. *Technology in Society* 67: 101751, <https://doi.org/10.1016/j.techsoc.2021.101751>

⁵⁴ Bensaude-Vincent, B. (2012). Nanotechnology: A New Regime for the Public in Science?. *Scientiae Studia* (São Paulo) 10, nº especial: 85-94, <https://doi.org/10.1590/S1678-31662012000500005>

⁵⁵ Knobel, M., Murriello, S. E., Bengtsson, A., Cascón, A. & Zysler, R. D. (2010). The Perception of Nanoscience and Nanotechnology by Children and Teenagers. *Journal of Materials Education* 32, nº 1-2 (2010): 29-38.

por exemplo, podem resultar numa percepção negativa que impacta profundamente os usuários/seguidores da plataforma⁵⁶.

A abrangência e democratização da internet propiciam acesso e ampliação do público interessado em ciências, onde encontram-se iniciativas que traduzem trabalhos acadêmicos para uma linguagem coloquial, acessível a todos, e beneficiam a sociedade em geral, tornando-a mais consciente e apta para avaliar o que lê e ouve, para tomar decisões baseadas em fatos e em dados científicos, e para facilitar o reconhecimento de notícias falsas.

Em resumo, a divulgação científica tem um papel histórico na sociedade, pois contribui para promover a ciência em ambientes e grupos populares. A nanociência e a nanotecnologia, apesar da recente nomenclatura, têm sua origem reconhecida em produtos desenvolvidos há milhares de anos e se consolidaram em áreas relacionadas ao bem-estar da sociedade como medicina, farmácia, meio ambiente e tecnologia. Neste trabalho apresentamos um pouco do contexto evolutivo e da importância em divulgar nanociências e suas aplicações. A evolução tecnológica acompanhou e estimulou o acesso ao mundo nanoscópico que, por sua vez, exigiu e exige uma compreensão cada vez maior dos fenômenos observados nessa escala métrica. E o material desenvolvido em ambiente aberto na internet, não comercial e com rigor científico, populariza as bases conceituais da nanociência e aponta aplicações da nanotecnologia no cotidiano da sociedade.

Agradecimentos

Os autores agradecem ao Professor Antônio Carlos Fontes pela revisão e considerações sobre o texto e à FAPERJ pelo financiamento do projeto número E-26/210.868/2021.

Sobre os autores:

Felipe Gustavo Silva de Abreu

Universidade Federal do Rio de Janeiro

felipedabreu@xerem.ufrj.br

⁵⁶ Murphy, F., Alavi, A., Mullins, M., Furxhi, I., Kiad, A. & Kingston, M. (2022). The Risk Perception of Nanotechnology: Evidence from Twitter. *RSC Advances* 12 (2022): 11021, <https://doi.org/10.1039/D1RA09383E>

Natasha Midori Suguhiro
Universidade Federal do Rio de Janeiro
nmsuguhiro@gmail.com

Monica M Lacerda
Universidade Federal do Rio de Janeiro
monicad.mlacerda@gmail.com

Artigo recebido em 09 de junho de 2025
Aceito para publicação em 16 de dezembro de 2025



Todo conteúdo desta revista está licenciado em Creative Commons CC By 4.0.