



JOSÉ MÁRCIO DE LIMA OLIVEIRA

**NANOCIÊNCIA E NANOTECNOLOGIA NO ENSINO MÉDIO:
LEITURAS DE TEXTOS DE DIVULGAÇÃO CIENTÍFICA
NA PRODUÇÃO DE SIGNIFICADOS SOBRE
FÍSICA MODERNA E CONTEMPORÂNEA**

**CAMPINAS
2013**



UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
FACULDADE DE EDUCAÇÃO

JOSÉ MÁRCIO DE LIMA OLIVEIRA

**NANOCIÊNCIA E NANOTECNOLOGIA NO ENSINO MÉDIO:
LEITURAS DE TEXTOS DE DIVULGAÇÃO CIENTÍFICA
NA PRODUÇÃO DE SIGNIFICADOS SOBRE
FÍSICA MODERNA E CONTEMPORÂNEA**

Dissertação apresentada à Faculdade de Educação da
Universidade Estadual de Campinas como parte dos
requisitos exigidos para a obtenção do título de Mestre
na área de Ensino de Ciências e Matemática.

Orientadora: Profa. Dra. Maria José P. M. de Almeida

ESTE EXEMPLAR CORRESPONDE À
VERSÃO FINAL DA DISSERTAÇÃO
DEFENDIDA PELO ALUNO JOSÉ MÁRCIO
DE LIMA OLIVEIRA E ORIENTADA PELA
PROFA. DRA. MARIA JOSÉ P. M. DE
ALMEIDA.

CAMPINAS
2013

Ficha catalográfica
Universidade Estadual de Campinas
Biblioteca da Faculdade de Educação
Rosemary Passos - CRB 8/5751

OL4n Oliveira, José Márcio de Lima, 1984-
Nanociência e nanotecnologia no ensino médio : leituras de textos de divulgação científica na produção de significados sobre física moderna e contemporânea / José Márcio de Lima Oliveira. – Campinas, SP : [s.n.], 2013.

Orientador: Maria José Pereira Monteiro de Almeida.
Dissertação (mestrado) – Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Educação.

1. Divulgação Científica. 2. Ensino Médio. 3. Nanotecnologia. I. Almeida, Maria José P. M. de (Maria José Pereira Monteiro de), 1944-. II. Universidade Estadual de Campinas. Faculdade de Educação. III. Título.

Informações para Biblioteca Digital

Título em outro idioma: Nanoscience and nanotechnology in high school : readings of scientific dissemination texts to production of significations about modern and contemporary physics

Palavras-chave em inglês:

Scientific Dissemination

High School

Nanotechnology

Área de concentração: Ensino de Ciências e Matemática

Titulação: Mestre em Multiunidades em Ensino de Ciências e Matemática

Banca examinadora:

Maria José Pereira Monteiro de Almeida [Orientador]

Maria Consuelo Alves Lima

Adriana Vitorino Rossi

Data de defesa: 18-11-2013

Programa de Pós-Graduação: Multiunidades em Ensino de Ciências e Matemática

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
FACULDADE DE EDUCAÇÃO

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

**NANOCIÊNCIA E NANOTECNOLOGIA NO ENSINO MÉDIO:
LEITURAS DE TEXTOS DE DIVULGAÇÃO CIENTÍFICA
NA PRODUÇÃO DE SIGNIFICADOS SOBRE
FÍSICA MODERNA E CONTEMPORÂNEA**

Autor: José Márcio de Lima Oliveira

Orientadora: Profa. Dra. Maria José P. M. de Almeida

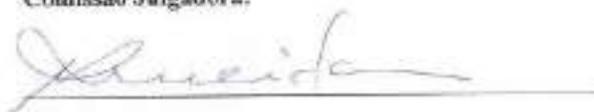
Este exemplar corresponde à versão final da Dissertação defendida pelo aluno José Márcio de Lima Oliveira e aprovada pela Comissão Julgadora.

Data: 18/11/13

Orientadora:



Comissão Julgadora:







2013

RESUMO

Este trabalho tem como objetivo compreender interpretações de alunos do ensino médio, feitas a partir de textos de divulgação científica sobre nanociência e nanotecnologia – N&N – em aulas de física, verificando alguns limites e possibilidades dessas leituras, com foco na questão de estudo levantada: Como alunos do ensino médio produzem significados ao ler textos de divulgação científica relacionados à nanociência e à nanotecnologia? Para atingir o objetivo inicialmente proposto e responder à questão de estudo, foi elaborada uma unidade de ensino composta por quatro textos que abordam o conjunto N&N – um introdutório e três que tratam o tema de forma controversa. Essa unidade foi aplicada no primeiro bimestre letivo de 2013 entre alunos do 3º ano do ensino médio de uma escola pública da região de Campinas – SP, durante cinco aulas de física, em que os textos foram lidos pelos estudantes e discutidos a partir de ações de mediação. As respostas dos alunos dadas a oito questões propostas em três atividades escritas foram analisadas com a utilização de aportes da análise do discurso, na vertente iniciada por Michel Pêcheux na França, principalmente a partir de textos de Eni P. Orlandi. De acordo com essa vertente teórica, são consideradas relevantes as condições em que o discurso é produzido e a linguagem não é considerada como transparente, do que deriva o discurso como efeito de sentidos entre interlocutores. O conteúdo das respostas variou em relação ao que os alunos conheciam sobre nanotecnologia, o que permitiu categorizá-las. A análise das respostas revela que a abordagem da física moderna e contemporânea, através da divulgação científica, possibilitou que os estudantes tomassem posicionamentos que seriam dificultados numa aula de física pautada, em sua grande parte, na linguagem matemática. O desenvolvimento da pesquisa e os resultados obtidos permitem compreender melhor o processo complexo de produção de sentidos numa aula de física, em que diferentes leitores e condições amplas estão presentes.

Palavras-chave: Divulgação Científica. Ensino Médio. Nanotecnologia.

ABSTRACT

This work aims to understand interpretations made by high school students based on scientific dissemination texts related to nanoscience and nanotechnology – N&N – in Physics classes, examining some limits and possibilities of these readings, focused on the study question raised: How do high school students produce significations reading scientific dissemination texts related to nanoscience and nanotechnology? To achieve the goal initially proposed and answer the study question, was created an unity of study that comprises four texts that approach the set of N&N – one is introductory and three of them discourse about N&N in a controversial way. The unity of study was placed in the first two months of the school year 2013, among students of the 3rd year of high school in a public school in the region of Campinas – SP, in five Physics classes, in which the texts were read and discussed by students from mediation actions. The responses gave by students to eight questions in three writing activities were analyzed using the contributions of discourse analysis, in a field of study initiated by Michel Pêcheux in France, especially from texts of Eni P. Orlandi. According to this Theory, are significant the conditions in which the discourse is produced and the language is not considered transparent, from which results the discourse as a production of significations among interlocutors. The content of the responses varied in relation to what the students knew about nanotechnology, what allowed categorized them. The analysis of the responses show that the approach of modern and contemporary Physics, through the scientific dissemination, enabled the students to take position that would be difficult in a Physics class based on the mathematical language in a major way. The research development and its results allow us to understand better the complex process of production of significations in a Physics class, in which different readers and broad conditions are present.

Key-words: Scientific Dissemination. High School. Nanotechnology.

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO	23
1 FÍSICA MODERNA E CONTEMPORÂNEA – FOCO NA NANOCIÊNCIA E NA NANOTECNOLOGIA.....	31
1.1 JUSTIFICATIVAS PARA A INSERÇÃO DE FMC NO EM: ASPECTOS TECNOLÓGICOS E SOCIAIS	31
1.2 ORIENTAÇÕES SOBRE O CURRÍCULO DE FÍSICA DO ENSINO MÉDIO	36
1.3 A ESCALA NANOMÉTRICA	38
1.3.1 O discurso de Feynman	39
1.3.2 Nanociência e nanotecnologia.....	42
1.3.3 A produção de dispositivos nanométricos.....	43
1.3.4 Simulações computacionais	45
1.3.5 O aumento da área superficial	46
1.3.6 Aplicações das nanopartículas	46
1.3.7 A nanotecnologia e a nanotoxicologia	49
1.4 REVISÃO DA LITERATURA	51
1.4.1 Apresentação de conceitos e definições relacionados ao conjunto N&N	60
1.4.2 Proposta para abordagem de tópicos de N&N em situações de ensino	61
1.4.3 Revisão sobre o conjunto N&N	62
1.4.4 Implementação de conteúdos de N&N em espaços não formais de ensino	64
1.4.5 Implementação de conteúdos de N&N em espaços formais de ensino.....	64
1.4.6 Implementação de conteúdos de N&N na formação de professores.....	70
1.4.7 Considerações.....	73
2 A LEITURA DE TEXTOS DE DIVULGAÇÃO CIENTÍFICA E AS CONTROVÉRSIAS NO ENSINO.....	75
2.1 A DIVULGAÇÃO CIENTÍFICA EM FOCO	77

2.2 A LEITURA EM AULAS DE FÍSICA.....	85
2.3 CONTROVÉRSIAS NAS AULAS DE CIÊNCIAS NATURAIS.....	86
3 APOIO TEÓRICO-METODOLÓGICO E CONDIÇÕES DE PRODUÇÃO DA PESQUISA.....	91
3.1 A ANÁLISE DO DISCURSO: ALGUMAS CONSIDERAÇÕES	91
3.1.1 Distinção entre discursos	94
3.1.2 Modos de repetição.....	97
3.1.3 O texto de divulgação científica e a interpretação.....	98
3.2 CONDIÇÕES DE PRODUÇÃO DOS DISCURSOS DOS ALUNOS.....	99
3.2.1 A unidade de ensino.....	100
3.2.2 A escola	103
3.2.3 As aulas de física	104
3.3 COLETA DE INFORMAÇÕES	111
4 A PRODUÇÃO DE SIGNIFICADOS DOS ESTUDANTES.....	117
4.1 MANIFESTAÇÕES DE ALGUNS ALUNOS	122
4.2 ACOMPANHANDO ALGUNS ALUNOS	128
4.2.1 A produção de significados de Júlio.....	129
4.2.2 A produção de significados de Flávia.....	136
4.2.3 A produção de significados de Guilherme.....	140
4.2.4 A produção de significados de Ana.....	148
CONSIDERAÇÕES FINAIS	159
REFERÊNCIAS.....	165
ANEXO	175

Aos meus pais, Sebastião Júlio e Ana Marta,
à minha irmã, Juliana,
ao meu sobrinho, César
e à minha avó, Aparecida,
por entenderem a escola como instituição capaz de mudar as pessoas.

AGRADECIMENTOS

Assim como quem se alegra com a beleza do nascer do dia, e se depara com a luz do sol, nesse momento de agradecer a todos que acompanharam minha trajetória na elaboração desta dissertação de mestrado, também me alegro de estar nesse processo de aprendizagem e de crescimento acadêmico e pessoal, que me conduz a uma espécie de iluminação constante.

Primeiramente, sinto-me grato a Deus pela vida, por me permitir encontrá-IO nos pequenos acontecimentos que perpassam minha existência e por me fazer entender que, enquanto criatura, devo amar incondicionalmente.

À Professora Maria José, a Zezinha, minha orientadora, que merece toda a minha admiração pela sensibilidade, competência e seriedade com que trabalha. Ela sabe entender os meus limites e, com paciência e amizade, me instrui quanto ao ofício de ser professor.

Aos Professores Jorge Megid e Maurício Kleinke pelo comprometimento com o PECIM, um programa de pós-graduação diferenciado com foco no professor, objetivando seu aperfeiçoamento/aprimoramento/formação e, possivelmente, a atuação na carreira acadêmica.

Às Professoras Beth Barolli e Sílvia Figueirôa pelas instruções nos trabalhos acadêmicos. Contribuições que se mostraram necessárias e sempre bem-vindas!

Ao Professor Peter Schulz pelas contribuições durante o Exame de Qualificação e às Professoras Adriana Rossi e Maria Consuelo por terem aceitado participar da banca de defesa e cooperado com a finalização do trabalho.

Aos meus pais, Sebastião Júlio e Ana Marta, por me mostrarem um caminho e me ensinarem a trilhá-lo dia a dia. Certamente, eles constituem forças que me motivam a ir além. Os dias de descontração em Minas Gerais me ajudaram a renovar as energias e aguçar ainda mais os sentidos: olfato, paladar, visão, audição e tato, que representam muito para mim, em termos de estar conectado à vida.

À minha irmã, Juliana, e ao meu sobrinho, César, por tornarem os meus dias em família mais completos.

À minha avó Aparecida e, nesse ponto, gostaria de homenagear e agradecer, *in memoriam*, aos meus avós Domingos, Geralda e Joaquim, pilares com quem aprendi (e ainda aprendo)

valores que são impossíveis de não serem praticados. Meus avós, meus grandes mestres! Com eles, e com a memória que trago deles em mim, aprendo a re-significar a mim mesmo.

Gostaria de fazer um agradecimento especial à tia Regina, ao Lineu, ao Linquinho, ao Fernando, à Rosa, ao tio Paulo, à tia Mônica, ao tio João Carlos, à tia Mauricéa, à Mariana e ao Diego pelo incentivo e apoio em momentos alegres e tristes durante todos esses anos.

Agradeço, também, a todos os outros tios e primos, companheiros assíduos, que ainda hoje me fazem perceber a família como uma grande escola.

Aos colegas do gepCE, de forma especial à Glória, Cris, Thirza e Maira, ao Leandro, Valter, Aldo, Cassiano, Ricardo, David e André pelas contribuições teóricas e discussões nem sempre só acadêmicas. E à Rosane, pelos conselhos e pelas conversas oriundas de vários cafés tomados em quase todas as cantinas da Unicamp, na tentativa infrutífera de encontrarmos o melhor café do campus.

Aos colegas do PECIM: Ana Paula, Marta, Luciana, Sueli, Deborah, Carol, Patrícia, Cláudia e Lester pelos momentos de descontração nos corredores e na cantina da FE, momentos em que os afazeres pareciam ficar mais leves.

Aos verdadeiros amigos conquistados ao longo do tempo – aqui prefiro não mencionar nomes – pelo companheirismo frequente e preocupação com o meu bem estar. É incrível como eu amo todos vocês! As relações humanas me serviram como uma ponte que me levou a encontrar sentidos, quando em vários momentos me vi como se estivesse no alto de uma escada que não leva a lugar algum ou à espera, em vão, de um ônibus em um ponto onde nunca passam ônibus... Houve pedras no caminho, como diria o poeta – mineiro com eu –, mas a simplicidade dos dias e das tardes me fazia rever o significado desse percurso acadêmico.

Às funcionárias da Biblioteca Central “Cesar Lattes”: Valéria, Heloísa, Joana, Dani – hoje em outra biblioteca – e, de forma especial, aos funcionários da DINF pelo apoio e carinho com que me receberam e me trataram desde os primeiros anos de graduação.

À Fernanda, uma pessoa especial que conheci aos quarenta e quatro do segundo tempo e que, com toda competência, colaborou com a revisão e edição da última versão do texto.

Aos funcionários do SAE pelo apoio, grande ajuda e disposição em colaborar quando, incansavelmente, eu buscava auxílio.

À CAPES pela concessão da bolsa de Mestrado.

À Jane, Silvana, Ana Paula, ao Professor Gustavo e a todos os professores e funcionários da escola estadual “Professor João Lourenço Rodrigues” por me permitirem adentrar a escola e, uma vez nela, descobrir o universo que estava além de seus muros.

Meus sinceros agradecimentos aos alunos dos 3^{os} anos do ensino médio da Escola Estadual “Professor João Lourenço Rodrigues”, que contribuíram com a pesquisa e permitiram que suas reflexões fossem analisadas. Obrigado pela compreensão e colaboração.

A todos com quem convivi e que deixaram marcas indeléveis e, assim, estiveram por perto, ainda que por pouco tempo, diria que vocês se foram, mas sem ter ido, verdadeiramente, porque continuam aqui nas minhas saudosas lembranças, que seguirão comigo pela vida afora. Não me restam outras palavras a não ser: **MUITO OBRIGADO!**

Ao ver esta dissertação pronta, vejo que ela representa para mim – depois de inúmeras caminhadas por dias e tardes –, o cair da noite, quando somos tomados pela sensação do dever cumprido, depois de um dia de trabalho árduo, mas que se torna valoroso quando se olha para o céu e se vê uma lua esplendorosa. Para enfeitar a noite. Ou para enfeitar a vida!

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - <i>Periódicos, eventos e sítios eletrônicos pesquisados na revisão da literatura</i>	52
Quadro 2 – <i>Trabalhos encontrados durante revisão da literatura com respectivos autores, local e ano de publicação</i>	54
Quadro 3 – <i>Trabalhos analisados na revisão da literatura com respectivas categorias</i>	57
Quadro 4 – <i>Distribuição dos alunos por níveis de ensino e séries</i>	103
Quadro 5– <i>Planejamento das aulas para coleta de informações</i>	111
Quadro 6– <i>Respostas dadas à primeira parte da primeira questão da Atividade 1</i>	117
Quadro 7 – <i>Respostas dadas à segunda parte da primeira questão da Atividade 1</i>	118
Quadro 8 – <i>Tipos de leitura que agradavam os estudantes</i>	118
Quadro 9 – <i>Respostas dadas à primeira parte da segunda questão da Atividade 1</i>	119
Quadro 10 – <i>Respostas dadas à segunda parte da segunda questão da Atividade 1</i>	120
Quadro 11 – <i>Respostas dadas às duas últimas perguntas da segunda questão da Atividade 1</i> ..	122

LISTA DE SIGLAS

- AD** – Análise do Discurso
- AFM** – Atomic Force Microscope
- CTS** – Ciência, Tecnologia e Sociedade
- CTSA** – Ciência, Tecnologia, Sociedade e Ambiente
- DC** – Divulgação Científica
- ECT** – Educação Científica e Tecnológica
- EM** – Ensino Médio
- EPEF** – Encontro de Pesquisa em Ensino de Física
- ENEQ** – Encontro Nacional de Ensino de Química
- ENPEC** – Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências
- FMC** – Física Moderna e Contemporânea
- gepCE** – Grupo de Estudo e Pesquisa em Ciência e Ensino
- HFC** – História e Filosofia da Ciência
- MCT** – Ministério da Ciência e Tecnologia
- MCTI** – Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação
- N&N** – Nanociência e Nanotecnologia
- PIBID** – Programa Institucional de Bolsa de Iniciação à Docência
- SCIELO** – Scientific Electronic Library Online
- SIMPEQUI** – Simpósio Brasileiro de Educação Química
- SNEF** – Simpósio Nacional de Ensino de Física
- STM** – Scanning Tunneling Microscopy
- TDC** – Textos de Divulgação Científica

INTRODUÇÃO

Após o término do curso de graduação em Licenciatura em Física, tendo desenvolvido projetos de pesquisa de iniciação científica e começado a lecionar física no nível médio, em escolas públicas, observei que essa atuação fez sobressair o problema do distanciamento entre a universidade e a escola. Apesar da existência de grande número de trabalhos publicados na área de ensino, com recomendações por conteúdos e formas para um efetivo ensino de física, foi possível notar que poucos resultados produzidos em âmbito acadêmico adentravam a sala de aula, constituindo efetivamente as práticas dos professores.

Nesse ínterim, pretendendo contribuir com o ensino de física, comecei a delimitar um tema para o projeto de mestrado considerando, também, que a partir da segunda metade da década dos anos 1990 publicações como os Parâmetros Curriculares Nacionais para o Ensino Médio e as Orientações Educacionais Complementares aos Parâmetros Curriculares trouxeram em suas páginas dizeres que rediscutem a função do ensino médio – EM – recomendando, dentre outras, a formação de um aluno/cidadão.

A esse respeito, entendo que a formação escolar básica, com a devida conclusão ao final do EM, deva ser pautada num currículo que contemple conteúdos que colaborem para que o estudante entenda aspectos de seu dia a dia e concordo com Valente (2009, p. 22) que esta mesma formação básica deve permitir que o aluno “[...] saiba se comunicar, argumentar, enfrentar problemas cotidianos, posicionando-se e elaborando críticas sobre eles”.

Referente à física e seus conteúdos, a inserção de tópicos de física moderna e contemporânea¹ – FMC – no EM certamente é um forte colaborador para o alcance dos objetivos que se pretende atingir com a educação básica. Trata-se de uma temática cujos variados conteúdos, como a teoria da relatividade restrita e a física quântica, têm sido recomendados para serem inseridos no currículo do ensino básico sob as mais diversas justificativas.

Alveti e Delizoicov (1998) reforçam a necessidade da abordagem da física moderna na sala de aula para que os alunos possam compreender seu funcionamento em tecnologias, cada vez mais presentes em suas vidas:

¹ Apesar de haver distinções entre o que é física moderna e o que é física contemporânea, sendo essa última, a física desenvolvida a partir dos anos quarenta do século XX (OSTERMANN; MOREIRA, 2000), neste trabalho adoto o termo *física moderna e contemporânea* para designar a física desenvolvida desde o final do século XIX.

Enfatiza-se 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. (ALVETTI; DELIZOICOV, 1998, p. 1).

As explicações de fenômenos que a física clássica não consegue elucidar são lembradas por Pinto e Zanetic (1999) para justificarem a necessidade de se mudar o ensino tradicional da física:

É preciso transformar o ensino de Física tradicionalmente oferecido por nossas escolas em um ensino que contemple o desenvolvimento da Física Moderna, não como uma mera curiosidade, mas como uma Física que surge para explicar fenômenos que a Física Clássica não explica, constituindo uma nova visão de mundo. (PINTO; ZANETIC, 1999, p.7).

A importância dos estudantes terem acesso àquilo que se faz em pesquisa hoje é lembrada por Ostermann e Moreira (2000):

Despertar a curiosidade dos estudantes e ajudá-los a reconhecer a Física como um empreendimento humano e, portanto, mais próxima a eles; os estudantes não têm contato com o excitante mundo da pesquisa atual em Física, pois não veem nenhuma Física além de 1900. Esta situação é inaceitável em um século no qual ideias revolucionárias mudaram a ciência totalmente; é do maior interesse atrair jovens para a carreira científica. Serão eles os futuros pesquisadores e professores de Física. (OSTERMANN; MOREIRA, 2000, p. 24).

No ensino de FMC os aspectos da teoria quântica são de grande interesse para serem abordados, pois grande parte da tecnologia presente nos aparatos usados atualmente provém de aplicações dessa teoria, possibilitando que haja a contextualização do saber escolar com aquilo que o aluno tem contato, seja de forma rotineira, esporádica, ou mesmo através dos diferentes tipos de mídia. Isso favorece o enlace da física da sala de aula com os aspectos do dia a dia e propicia a formação do aluno/cidadão como é sugerido em várias publicações acadêmicas e nos documentos curriculares.

A nanociência e a nanotecnologia são campos cujas aplicações e avanços baseiam-se principalmente em conceitos da teoria quântica. Ao mesmo tempo abrange questões polêmicas, multidisciplinares e instigantes e se trata de um tema, aparentemente, de relevante interesse atual, tanto na esfera tecnológica e econômica, quanto na esfera social, incluindo suas possíveis implicações ambientais, o que me permite afirmar que o debate da nanociência e da nanotecnologia na educação básica estabelece um contexto que permite a abordagem de questões que envolvem o estudante e suas relações com os avanços tecnológicos e com a sociedade.

Com base nestas alegações e após ter cursado, ainda na graduação, a disciplina *Práticas Pedagógicas em Física*, ministrada pela Professora Maria José em conjunto com a pós-doutoranda, Professora Maria Consuelo – as quais desenvolveram um trabalho abordando a nanociência e a nanotecnologia (N&N) e suas possíveis abordagens no EM pelos licenciandos, adotando textos diferenciados, na linguagem considerada comum – e também ter desenvolvido um projeto de iniciação científica no último ano de graduação, é que escolhi a nanociência e a nanotecnologia como conteúdos relacionados à física contemporânea para serem abordados no EM.

Tão importante quanto a delimitação do conteúdo, é a delimitação da forma como este conteúdo pode ser abordado em sala de aula. De fato, variadas estratégias de abordagem de conteúdos têm sido investigadas na área de pesquisa em ensino de física. A História e Filosofia da Ciência – HFC – o movimento Ciência, Tecnologia e Sociedade – CTS – além de estratégias relacionadas à linguagem, têm motivado pesquisadores a investigarem seus potenciais para a inserção e abordagem de determinados conteúdos na escola.

Pesquisas envolvendo o funcionamento de textos de divulgação científica e suas potencialidades no auxílio à produção de sentidos sobre conteúdos das ciências da natureza vêm sendo feitas no Grupo de Estudo e Pesquisa em Ciência e Ensino – gepCE – da Faculdade de Educação – FE – da Universidade Estadual de Campinas – Unicamp – há alguns anos. Entre os trabalhos realizados destacam-se as dissertações de mestrado: Gama (2005); Lança (2005); Giraldelli (2007); Dias (2009) e Silva (2012). O desenvolvimento deste estudo segue essa mesma perspectiva.

Gama (2005) teve como objetivo analisar o funcionamento da leitura de dois livros de divulgação científica em classes do ensino médio de uma escola pública do interior do Estado de São Paulo. Os livros utilizados na pesquisa foram: *Isaac Newton e sua maçã*, da autoria de Kjartan Poskitt, e *Albert Einstein e seu universo inflável*, escrito por Mike Goldsmith. A autora partiu da hipótese de que a diversidade de informações permite que se abra uma vasta gama de interpretações, possibilita a contraposição de visões e tende a facilitar a manifestação pelos estudantes de suas opiniões. Utilizando como referencial teórico a análise do discurso originada por Michel Pêcheux, na França, para analisar as informações coletadas no estudo, a autora concluiu que a utilização dos livros permitiu a construção de contextos de leitura pelos quais foram produzidos diferentes sentidos favorecendo a aquisição de novas práticas de leitura.

Lança (2005) verificou o funcionamento da leitura das leis de Newton a partir do livro de divulgação científica *Isaac Newton e sua maçã*, citado acima, com alunos do ensino médio de uma escola da rede pública em uma cidade no interior do Estado de São Paulo. A pesquisadora procurou aliar o ensino da física à prática de leitura, considerando as condições de produção e suas mediações ocorridas durante o desenvolvimento das aulas assumidas por ela. Para analisar os dados, a autora utilizou como referencial teórico a análise do discurso originada por Michel Pêcheux. Segundo ela, os processos de produção de sentidos ocorreram de maneira específica para cada aluno, desencadeando interpretações que dependeram das condições de produção que ela estabeleceu e das histórias de vida dos estudantes, indivíduos inseridos em determinado espaço social.

Giraldelli (2007) teve por objetivo compreender o funcionamento, em situação escolar, de um texto com características de divulgação científica, intitulado *Tem um cabelo na minha terra! - uma história de minhoca*, com crianças da quarta série do ensino fundamental de uma escola pública, também no interior de São Paulo. O aporte teórico utilizado pela autora na análise dos sentidos dados pelas crianças a partir do texto fundamentou-se nas considerações sobre análise do discurso, tendo como referencial as publicações de Eni P. Orlandi, no Brasil; em concepções sobre aprendizagem histórico-culturais, pautadas em L. S. Vygotsky e sobre a construção do conhecimento científico, como entendido em G. Bachelard. Ela notou que muitas crianças interpretaram a história de acordo com a proposta do autor do texto, inclusive havendo historicização em seus dizeres. Além disso, notou que o texto foi mediador de um processo que suscitou algumas questões referentes à construção de conhecimentos científicos, construiu significações e tornou possíveis gestos de interpretação sendo que, em alguns momentos, sua mediação foi mais significativa.

Dias (2009) objetivou compreender interpretações de licenciandos em física que cursavam uma disciplina proposta para o primeiro semestre do curso ao lerem textos de divulgação científica publicados nas revistas *Ciência Hoje* e *Pesquisa Fapesp*, bem como compreender aspectos do imaginário desses estudantes sobre a possibilidade de trabalho utilizando esses textos no ensino médio. Para analisar as interpretações dos licenciandos, o autor apoiou-se em especificidades do campo jornalístico e do jornalismo científico e em noções da análise do discurso, na vertente originada por Michel Pêcheux, principalmente a partir de textos de Eni P. Orlandi, tais como as condições de produção e as categorias de repetição: empírica, formal e

histórica. Ele notou como características do discurso jornalístico tiveram capacidade de proporcionar condições para o estabelecimento de sentidos pelos estudantes e como essas condições contribuíram para que eles manifestassem os três tipos de repetição, o que evidenciou a multiplicidade de modos de leitura.

Silva (2012) objetivou evidenciar que textos de divulgação científica podem contribuir significativamente para melhorar as interpretações de estudantes a respeito de elementos da teoria da relatividade de Albert Einstein, se aliados à mediação do professor. O trabalho contou com a participação de alunos das três séries do ensino médio de duas escolas públicas localizadas no interior do Estado de São Paulo, com os quais foi abordado um capítulo do livro *Albert Einstein e seu universo inflável*, já citado anteriormente. Pretendendo uma maior reflexão relativa às informações contidas no texto, foram aplicadas questões abertas, cujas respostas foram analisadas mediante categorização e baseando-se em algumas noções da análise do discurso, como visto nos trabalhos anteriores e como vários membros do gepCE vêm utilizando como aporte teórico-analítico. O autor concluiu que houve deslocamentos no conhecimento sobre a figura de Albert Einstein e sobre alguns pontos da teoria da relatividade.

Baseando em trabalhos que recomendam a inserção de conteúdos de FMC no EM, naqueles que analisam o funcionamento da divulgação científica no ensino de ciências e sabendo que, aparentemente, poucos resultados das pesquisas acadêmicas da área de ensino de física adentram a sala de aula do EM, este trabalho foi realizado na tentativa de colaborar com as práticas nesse nível de ensino. Para tal, propus-me a analisar as interpretações e os posicionamentos de alunos do 3º ano do EM de uma escola pública da região de Campinas – SP ao lerem textos de divulgação científica sobre nanociência e nanotecnologia durante cinco aulas de física no primeiro bimestre letivo de 2013.

Tendo acompanhado as turmas de terceiro ano, com autorização do professor, inicialmente num processo de observação e familiarização, montei uma unidade de ensino e, posteriormente, propus uma intervenção, com a qual foi possível coletar as informações acerca do funcionamento de textos para a produção de significados sobre o tema abordado.

Para a análise dos dados, adotei a análise do discurso – AD – iniciada na França por Michel Pêcheux, por notar que este referencial teórico fornece noções de interpretação que podem me auxiliar na compreensão dos discursos proferidos pelos estudantes após o trabalho com os textos. Além disso, esse referencial teórico também ajuda a compreender elementos do

imaginário dos estudantes acerca das aplicações da nanotecnologia, bem como dos possíveis riscos associados a ela. Nesse sentido, selecionei o conteúdo utilizando textos controversos.

De acordo com seu funcionamento, o discurso pode ser classificado sob três tipos: autoritário, polêmico e lúdico (ORLANDI, 1998). Essa tipologia permitiu-me partir da hipótese de que a leitura de textos de divulgação científica pode promover a passagem do discurso presente na escola, considerado autoritário, para o discurso polêmico, em que o aluno pode ser autor.

Acredito que a realização das atividades elaboradas visando à produção de significados sobre nanociência e nanotecnologia e a tentativa de compreender como os alunos produziram seus discursos durante a implementação da unidade de ensino proporcionaram-me oportunidades de analisar o modo como os estudantes percebem e lidam com os avanços tecnológicos e com a própria ciência num modelo escolar em que poucos fenômenos associados à FMC são abordados.

Objetivo do trabalho e questão de pesquisa

O objetivo deste trabalho foi compreender interpretações de alunos do ensino médio, feitas a partir de textos de divulgação científica sobre nanociência e nanotecnologia em aulas de física, verificando alguns limites e possibilidades dessas leituras. Baseando-me nesse objetivo, levantei a seguinte questão de estudo: *Como alunos do ensino médio produzem significados ao ler textos de divulgação científica relacionados à nanociência e à nanotecnologia?*

Estrutura da dissertação de mestrado

Apresento, a seguir, algumas considerações acerca do texto, capítulo a capítulo, de forma bem resumida.

No capítulo 1, enfoco os argumentos favoráveis à inserção de tópicos de FMC no EM para embasar a escolha da temática nanociência e nanotecnologia, buscando referências na literatura. Focalizo, principalmente, as justificativas que se baseiam em aspectos tecnológicos e sociais. Apresento também uma parte teórica referente à escala nanométrica e ao desenvolvimento das pesquisas na nanoescala, bem como aplicações das nanopartículas e os embates relacionados a estas aplicações. Em seguida, exponho uma revisão bibliográfica feita na

área de ensino de ciências sobre a temática abordada, com as respectivas categorizações dos vários trabalhos encontrados.

No capítulo 2, aponto a estratégia selecionada para a abordagem do tópico escolhido em sala de aula: a leitura de textos de divulgação científica. Apresento o modo como estou adotando a divulgação científica neste trabalho, além de mostrar resultados de algumas pesquisas que analisaram a leitura da divulgação científica no ensino de ciências.

Apresentando o referencial teórico adotado, no capítulo 3 exponho algumas considerações acerca da AD a partir, principalmente, de textos de Eni P. Orlandi, publicados no Brasil. Inicialmente são feitas algumas considerações de forma a mostrar ao leitor de onde parti e os aportes desse apoio teórico que estou adotando, como a não transparência da linguagem, a necessidade da ideologia para a relação pensamento/linguagem/mundo e a tipologia de discursos que utilizei para esboçar a hipótese inicial. Adotei, ainda, as noções de repetição (empírica, formal e histórica) para analisar os discursos dos estudantes.

No capítulo 3 ainda apresento as condições de produção da pesquisa realizada. Abordo, sucintamente, algumas pesquisas cujo enfoque é dado às controvérsias científicas em aulas de ciências naturais, de forma a embasar a escolha dos textos da unidade, e apresento características da escola onde foram coletadas as informações, das aulas de física acompanhadas antes da intervenção e dos textos lidos pelos alunos.

Analisando as respostas dadas pelos estudantes às questões das atividades propostas durante a implementação da unidade de ensino, no capítulo 4 exponho algumas reflexões e tentativas de compreensão do modo como essas respostas foram elaboradas. Utilizando aportes da AD, classifico as manifestações de alguns alunos, além de analisar todas as respostas dadas por quatro estudantes ao conjunto de perguntas que compuseram as atividades, de forma a responder a questão de estudo desta pesquisa.

Ao final, aponto algumas considerações e as conclusões atingidas com o trabalho realizado.

1 FÍSICA MODERNA E CONTEMPORÂNEA – FOCO NA NANOCIÊNCIA E NA NANOTECNOLOGIA

Os argumentos em defesa da inserção de conteúdos de física moderna e contemporânea – FMC – no ensino médio – EM – vêm sendo publicados há bastante tempo na área de pesquisa em ensino de física. Valente (2009) analisou artigos em periódicos da área, trabalhos apresentados em encontros e congressos e dissertações de mestrado para identificar as expectativas esperadas pelos pesquisadores com a inserção da FMC no EM, pois, segundo ela, as justificativas para as abordagens de tais conteúdos nos diversos trabalhos produzidos na área eram, aparentemente, muito diversificadas.

De acordo com a autora, três conjuntos de expectativas foram identificados, os quais privilegiaram diferentes aspectos, com ênfases, respectivamente, em questões da própria ciência, aspectos de caráter tecnológico e implicações sociais desses novos conhecimentos. Início esse estudo adotando principalmente as justificativas que focalizam a tecnologia e aquelas que se baseiam em aspectos relacionados às questões sociais embutidas na abordagem dos tópicos de FMC.

1.1 JUSTIFICATIVAS PARA A INSERÇÃO DE FMC NO EM: ASPECTOS TECNOLÓGICOS E SOCIAIS

Terrazzan (1992), há mais de duas décadas, notou que a história e os avanços da física ficaram excluídos do currículo da escola básica, percepções que, mesmo passado algum tempo, continuam atuais:

Na verdade, a prática escolar usual exclui tanto o nascimento da ciência, como a entendemos, a partir da Grécia Antiga, como as grandes mudanças no pensamento científico ocorridas na virada deste século [XX] e as teorias daí decorrentes. A grande concentração de tópicos se dá na física desenvolvida aproximadamente entre 1600 e 1850. (TERRAZZAN, 1992, p. 209-210).

O mesmo autor ressalta a importância de que os conteúdos de desenvolvimentos mais recentes da física adentrem a sala de aula para que os estudantes compreendam avanços

tecnológicos e fenômenos presentes em seu cotidiano: “[...] aparelhos e artefatos atuais, bem como fenômenos cotidianos em uma quantidade muito grande, somente são compreendidos se alguns conceitos estabelecidos a partir da virada deste século [XX] forem utilizados”. (TERRAZZAN, 1992, p. 210).

Também defende a necessidade dessa inserção para que o estudante possa usufruir de seu papel de membro inserido em uma sociedade que se transforma e é transformada pelos avanços da ciência:

A influência crescente dos conteúdos de Física Moderna e Contemporânea para o entendimento do mundo criado pelo homem atual, bem como a inserção consciente, participativa e modificadora do cidadão neste mesmo mundo, define, por si só, a necessidade de debatermos e estabelecermos as formas de abordar tais conteúdos na escola de 2º grau. (TERRAZZAN, 1992, p. 210).

Ressalta, ainda, a necessidade da abordagem de tais conteúdos sem a exigência de alto rigor matemático e a importância, ao inseri-los, da consideração do cotidiano e da realidade social e econômica dos estudantes, muitos dos quais, mesmo ingressando em curso de nível superior, terão contato com a física somente no EM. Além disso, manifesta a responsabilidade da escola na formação de cidadãos:

[...] neste nível de escolaridade devemos estar formando um cidadão, pronto para sua participação na sociedade. Sua formação deve ser global, pois sua capacidade de intervenção na realidade em que está imerso tem relação direta com sua capacidade de compreensão desta mesma realidade. (TERRAZZAN, 1992, p. 213).

Valadares e Moreira (1998), de forma bem didática, apresentam três tópicos relacionados aos conteúdos de FMC, a saber: o efeito fotoelétrico, o *laser – Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation* (amplificação da luz pela emissão estimulada de radiação) – e a emissão do corpo negro. Nesse contexto, mostram algumas de suas aplicações através de exemplos e experiências consideradas simples.

Os autores defendem a introdução de conteúdos de física moderna no EM como via para o entendimento da tecnologia presente na sociedade:

É imprescindível que o estudante do segundo grau conheça os fundamentos da tecnologia atual, já que ela atua diretamente em sua vida e certamente definirá o seu futuro profissional. Daí a importância de se introduzir conceitos básicos de Física Moderna e, em especial, de se fazer uma ponte entre a física da sala de aula e a física do cotidiano. (VALADARES; MOREIRA, 1998, p. 122).

Cavalcante, Jardim e Barros (1999) expõem uma proposta experimental para o estudo de fenômenos de interferência utilizando material de uso caseiro. Basicamente, o trabalho é

apresentado em duas etapas: na primeira é oferecido um embasamento teórico, abordando o processo de emissão de raios *laser* de rubi, de gás e de semicondutor e informando princípios de funcionamento dos materiais utilizados no desenvolvimento do aparato experimental, como o CD – *Compact Disk*. Na segunda etapa, eles apresentam os resultados obtidos com o equipamento montado com material de baixo custo aliada a uma proposta de abordagem no EM.

Para os autores, “[...] o entendimento da Física Moderna aparece como uma necessidade para compreender os fatos, os equipamentos e a tecnologia do cotidiano dos estudantes”. (CAVALCANTE; JARDIM; BARROS, 1999, p. 154).

Ostermann e Moreira (2000) apresentam uma revisão bibliográfica sobre o tema ‘física moderna e contemporânea no ensino médio’ que envolve consultas a artigos em periódicos, livros didáticos, dissertações, teses e projetos, todos direcionados ao ensino de física.

Os autores classificaram os trabalhos encontrados em seis grupos. Em um deles, são apontadas três vertentes de abordagens metodológicas para a introdução de conteúdos de FMC no EM, a saber: a exploração dos limites dos modelos clássicos, vertente pela qual os defensores recomendam uma abordagem construtivista para o ensino de FMC, sugerindo uma revisão das principais contribuições da física clássica. Outra vertente, oposta ao modelo anterior, é a não utilização de referências aos modelos clássicos, pela qual seus autores consideram que a aprendizagem de tópicos de física moderna é atravancada por analogias clássicas. A última vertente é a escolha de tópicos essenciais. Seus autores entendem que poucos conceitos de física moderna devam ser abordados no ensino médio com sua devida sustentação na física clássica.

Ao analisar coleções de livros didáticos, Ostermann e Moreira (2000, p. 42) mencionam que uma delas traz uma contribuição importante para o ensino de física por abordar temas de FMC à luz da ênfase “Ciência, Tecnologia e Sociedade”. Nesse sentido, eles defendem que, com tal abordagem, os alunos podem perceber que é possível a compreensão da tecnologia que os cerca com o estudo de conteúdos de FMC.

Carvalho e Zanetic (2004), ao buscarem estabelecer uma ponte concreta entre ciência e arte, entre razão e imaginação, desenvolvem essa ideia em sala de aula do ensino médio adotando a leitura de textos de livros escritos por cientistas e de livros considerados mais simples e acessíveis, destinados, principalmente, para o público jovem.

Os autores concordam que o diálogo dos alunos com fenômenos físicos que explicam o funcionamento de aparatos com os quais eles têm familiaridade é uma forte justificativa para sua inserção no EM:

[...] não podemos demonstrar empiricamente aos alunos o que é viajar à velocidade da luz nem mostrar o que acontece no interior de um átomo, no entanto, nossa vida, hoje em dia, é permeada por instrumentos que só foram desenvolvidos através destes conhecimentos, como o computador, o controle remoto, o aparelho de CD, o laser, a tomografia computadorizada, dentre tantos outros. Pensar a vida hoje sem esses aparatos é difícil, daí uma forte razão da importância de conhecermos esses ‘novos’ ramos da Física, que já têm cerca de 100 anos. (CARVALHO; ZANETIC, 2004, p. 6).

Os mesmos autores realçam a relevância desse diálogo como facilitador da análise de implicações da ciência e das novas tecnologias na sociedade, possibilitando uma posterior tomada de posturas éticas e políticas:

A importância de se fazer essa relação é candente para o estudante/cidadão, pois através dela é possível analisar algumas implicações da ciência no aspecto social, cultural, ecológico, enfim, global. Conhecendo essas implicações é possível adotar posturas éticas e políticas, cada vez mais necessárias, quanto ao uso das modernas tecnologias que o avanço da ciência possibilita. (CARVALHO; ZANETIC, 2004, p. 2).

Machado e Nardi (2006) analisam como um *software* educacional desenvolvido para o ensino de física moderna pode contribuir para a construção de conceitos científicos e noções sobre a natureza da ciência.

Os autores mencionam a ausência de tópicos de física moderna na educação básica e reforçam que os conteúdos de física propostos a partir do final do século XIX constituem-se em conhecimentos que abalaram as estruturas da física clássica:

Em particular, o conjunto de ideias reunidas sob a denominação *física moderna*, desenvolvida desde o final do século XIX até o período contemporâneo - englobando a teoria da relatividade, a mecânica quântica, a física nuclear, a física de partículas, a física da matéria condensada e a cosmologia - quase não é abordado no Ensino Médio. [...] A revolução desencadeada pela física moderna atingiu, por exemplo, as concepções de espaço, tempo, massa e energia, o entendimento quanto à estrutura do átomo e a compreensão sobre a própria origem e evolução do Universo. (MACHADO; NARDI, 2006, p. 474).

Considerando a necessidade de atualização curricular na física escolar, os autores entendem que os conteúdos a serem incluídos devem contribuir para uma formação ampla do estudante, de tal forma que ele possa acompanhar criticamente assuntos envolvendo inter-relações entre questões científicas, tecnológicas, sociais, ambientais e culturais:

Sendo a Ciência um empreendimento marcado por inovações constantes e reformulações de pontos de vista, atuando sobre a Tecnologia, a Sociedade, o Ambiente e a Cultura, e recebendo também influências desses elementos, é essencial que o currículo escolar propicie saberes para os estudantes poderem acompanhar criticamente os desdobramentos dessas inter-relações mesmo após a conclusão de sua educação formal. (MACHADO; NARDI, 2006, p. 474).

Oliveira e Almeida (2012), após analisarem alguns argumentos que defendem a inserção de conteúdos de FMC no EM, sintetizam e complementam as justificativas baseando-se em aspectos que focalizam o aluno/cidadão:

Numa tentativa de síntese e como justificativa do interesse que podem ter pesquisas dessa natureza, tendo em vista subsidiar o currículo escolar, ressaltamos que tópicos de FMC, além de serem os abordados pelas pesquisas mais recentes na física, comumente são propícios ao tratamento de questões polêmicas e multidisciplinares e, muitas vezes, instigantes. Estudar temas de FMC no EM certamente possibilita que sejam abordados: elementos de construção da ciência e questões de política científica; questões sobre os avanços tecnológicos (e suas consequências), a sociedade e o ambiente. Enfim, possibilita discussões acerca da validade e dos limites dos avanços tecnológicos e científicos atuais. Abordagem que permite, de maneira mais direta, o foco no aluno/cidadão. (OLIVEIRA; ALMEIDA, 2012, p. 3).

Referente à nanociência, considerando as justificativas que se baseiam em aspectos tecnológicos e sociais para a inserção da FMC no EM, a necessidade da divulgação do avanço científico e tecnológico ao cidadão comum e a importância social desta divulgação, destaco o seguinte trecho de Schulz (2007):

[...] a percepção da nanociência é muitas vezes associada à imagem de que se trata de uma atividade humana desenvolvida em laboratórios demasiadamente sofisticados e caros. Associações desse tipo podem criar barreiras à predisposição de crianças, jovens e adultos leigos em se deixar instigar pelo tema, que pode ser considerado interessante em si, mas cuja compreensão mais aprofundada é socialmente relevante e constitui uma nova oportunidade para fortalecer o debate público de novas tecnologias. Avanços importantes vêm ocorrendo no cenário brasileiro de difusão pública da ciência nos últimos anos. (SCHULZ, 2007, p. 4).

Lima e Almeida (2012, p. 4401-1) notam que “[...] no campo de ação da ciência e da tecnologia, a nanociência e a nanotecnologia vêm se estabelecendo como engenhosidade emergente com grande potencial para a solução de problemas presentes na nossa sociedade”. Por outro lado, e como justificativa que este trabalho possa ter ao abordar a nanociência e a nanotecnologia em sala de aula de nível médio, na tentativa de que os conteúdos de física abordados nesse nível de ensino auxiliem na formação de um aluno/cidadão, as mesmas autoras

entendem a necessidade da sociedade estar consciente dos efeitos das nanotecnologias na saúde, na segurança e no meio ambiente:

[...] a sociedade precisa estar preparada técnica e culturalmente para conviver com possíveis efeitos que o uso dessas novas tecnologias poderá trazer para a saúde, para a segurança e para o meio ambiente: será necessário, entre outras atitudes, participar de debates; tomar decisões sobre o que pesquisar; e, principalmente, exigir transparência de informações das pesquisas em novas tecnologias, notadamente, em relação às nanotecnologias. (LIMA; ALMEIDA, 2012, p. 4401-3).

1.2 ORIENTAÇÕES SOBRE O CURRÍCULO DE FÍSICA DO ENSINO MÉDIO

Atualmente, o currículo de física do ensino médio, como se apresenta, já exhibe conteúdos de FMC para serem lecionados. Além disso, exames seletivos também apresentam questões relacionadas aos avanços mais modernos da física.

No entanto, a forma como esses conteúdos são apresentados e os métodos pelos quais podem ser ministrados variam, dependendo do material utilizado. Assim, dependendo do livro didático e da apostila utilizada em sala de aula, dentre outros, a abordagem poderá ser diferente.

Em muitos casos, os conteúdos são apresentados, tanto nos livros didáticos quanto nas apostilas, de tal forma que parece suficiente ao aluno decorar as fórmulas e definições para que haja aprendizagem.

Se o objetivo do ensino de física no ensino médio for o treino para o vestibular, a resolução de listas com inúmeros exercícios que exigem a aplicação de fórmulas é um bom método. Contudo, é necessária a formação de um estudante que pense sobre ciência. É necessário dar condições para que o estudante desenvolva uma autonomia crítica sobre aquilo que estuda.

Assim, os métodos de abordagem dos diversos conteúdos de física devem ser planejados na tentativa de contribuir para a necessária formação da autonomia do estudante e, nesse caso, os métodos de ensino, por vezes ultrapassados dependendo dos objetivos ao lecionar física, necessitam de novos olhares, precisam ser revisados ou mesmo modificados:

É importante que os métodos de ensino sejam modificados, capacitando o aluno a responder a perguntas e a procurar as informações necessárias, para utilizá-las nos contextos em que forem solicitadas. Na escola, uma das características mais

importantes do processo de aprendizagem é a atitude reflexiva e autocrítica diante dos possíveis erros. Essa forma de ensino auxilia na formação das estruturas de raciocínio, necessárias para uma aprendizagem efetiva, que permita ao aluno gerenciar os conhecimentos adquiridos. (MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO, 2006, p. 45-46).

Quanto aos conteúdos, em publicações relativas às orientações para a prática docente em sala de aula são apresentadas, assim como em publicações acadêmicas, como já mencionadas, recomendações para a inserção de tópicos de FMC no EM.

A proposta curricular para o Estado de São Paulo (SÃO PAULO, 2011), menciona o distanciamento entre o que se aborda nas aulas de física no EM e aquilo que se pesquisa hoje em dia:

Os currículos e programas de Física destinados ao Ensino Médio, tradicionalmente, têm seguido uma estrutura conceitual linear e hierárquica, sem transpor as fronteiras das teorias clássicas produzidas até o século XIX, insuficientes assim para contemplar os desafios da sociedade moderna, por exemplo, para a compreensão dos recursos tecnológicos envolvidos na produção de energia e alimentos, na preservação do meio ambiente, nos diagnósticos de saúde e em incontáveis equipamentos de informação e lazer. (SÃO PAULO, 2011, p. 96).

Diante desse contexto, a tecnologia também tem sido focalizada nos documentos curriculares como um dos conteúdos que devem ser abordados no ensino básico. Tratando-se de uma atividade humana, as dimensões prática, social e científica não podem ser banalizadas nessa abordagem, como apontam as Orientações Curriculares para o Ensino Médio (MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO, 2006):

A tecnologia merece atenção especial, pois aparece nos Parâmetros Curriculares como parte integrante da área das Ciências da Natureza. Observa-se que nos livros didáticos os conteúdos disciplinares selecionados e trabalhados pouco têm a ver com a tecnologia atual, ficando essa, na maioria das vezes, como simples ilustração. Deve-se tratar a tecnologia como atividade humana em seus aspectos prático e social, com vistas à solução de problemas concretos. Mas isso não significa desconsiderar a base científica envolvida no processo de compreensão e construção dos produtos tecnológicos. (MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO, 2006, p. 46-47).

É nesse sentido que a nanotecnologia é tratada como um tema relevante e atual que merece atenção (MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO, 2006). Assim sendo, uma formação crítica exige mais do que conhecer aspectos científicos e tecnológicos dos aparatos. A possibilidade de que tais conhecimentos adentrem em instâncias éticas e, até mesmo, políticas e econômicas deve ser facilitada visando ao alcance dos objetivos do ensino de física no ensino médio.

Entendo que o ensino de física deve ser pensado na tentativa de contribuir para que os estudantes compreendam o mundo que os cerca e durante a abordagem de determinados conteúdos que envolvem tecnologia, possam compreendê-la incluindo, ainda, suas relações com esse mesmo mundo, de tal forma que esses conhecimentos, ao constituírem saberes culturais apreendidos na escola, possam ser resgatados/aproveitados/utilizados fora da sala de aula.

Dessa forma, o ensino de física não deve estar voltado para o encontro de respostas a todas as perguntas, mesmo porque nem todas as perguntas foram feitas, mas deve instigar a busca a partir da dúvida, o questionamento através do que é proposto, deve permitir que o estudante pense.

E, assim, sem desconsiderar o papel da matemática na construção do conhecimento sobre a física, a forma de abordagem dos conteúdos, apresentados segundo uma sequência que parece imposta, não deve privilegiar apenas a resolução de exercícios com aplicação de fórmulas que, muitas das vezes, faz pouco ou nenhum sentido para os estudantes, pelo contrário, deve fornecer subsídios para que esse mesmo estudante adquira uma cultura científica que lhe permita atuar/intervir/opinar sobre a realidade em que está inserido.

1.3 A ESCALA NANOMÉTRICA

O avanço da ciência e da tecnologia tem proporcionado cada vez mais a miniaturização dos aparatos, ocasionando aumento das pesquisas na escala nanométrica. O termo *nano*, do grego ‘anão’, é um prefixo no Sistema Internacional de Unidades – SI – e o termo nanômetro (abreviado nm) é a bilionésima parte do metro, ou seja, 10^{-9} metro, sendo ainda o número $1\text{m} / 1.000.000.000$, ou mesmo $0,000\,000\,001\text{ m}$. A escala nanométrica é determinada 1000 vezes abaixo da escala micrométrica, a dos *chips* de computadores ou das hemácias, os glóbulos vermelhos do sangue.

Alves (2004, p. 27) mensura alguns objetos na nanoescala, mostrando os seguintes exemplos:

- um fio de cabelo humano tem cerca de 50.000 nanômetros;
- a célula de uma bactéria tem cerca de algumas centenas de nanômetros;

- os chips comercializados em 2004 *tinham* padrões menores que 100 nanômetros;
- as menores coisas observáveis a olho nu têm cerca de 10.000 nm;
- 10 átomos de hidrogênio, alinhados, perfazem 1 nanômetro.

A investigação na escala nanométrica abriu as possibilidades de manipular átomos e moléculas em laboratórios, gerando perspectivas para a obtenção de “[...] novos materiais, novos medicamentos, a cura de doenças, a solução dos problemas energéticos [...]”. (TOMA, 2009, p. 11).

O mesmo autor menciona que a transição do universo micrométrico para o nanométrico é considerada uma ruptura de paradigmas por dois motivos. O primeiro deles refere-se ao fato de que a nanociência constitui-se num campo multidisciplinar pela abrangência de áreas que contribuem para seu desenvolvimento: físicos, químicos, biólogos, engenheiros, médicos, cientistas de materiais, dentre outros, contribuem para o aperfeiçoamento das pesquisas em escala nanométrica. O segundo relaciona-se à questão filosófica, ou seja, na escala nanométrica, alguns fenômenos observados são explicados pela mecânica quântica. Há remodelações dos conceitos de espaço e tempo, energia e matéria.

Ainda referente ao caráter multidisciplinar a que se refere o conjunto N&N entendo que, na multidisciplinaridade, há contribuições de várias áreas do conhecimento, neste caso, para um novo campo de conhecimento, sem que haja relações específicas entre elas, ou seja, há contribuições da física, da química, da medicina, da computação, das engenharias para o desenvolvimento da nanociência e das nanotecnologias sem que haja a necessidade dos pesquisadores e profissionais de áreas específicas adentrarem em campos, domínios e mesmo em linguagens que não lhes são peculiares.

1.3.1 O discurso de Feynman

É difícil estabelecer um marco para o início das pesquisas com nanociência e nanotecnologia a nível mundial pelo fato de existir a possibilidade de se deparar com algum acontecimento anterior ao estabelecido que, porventura, possa ser o precursor deste campo de pesquisa.

Para alguns pesquisadores é atribuído a Richard Phillips Feynman o pioneirismo da nanotecnologia. Seu discurso proferido em 29 de dezembro de 1959, numa conferência no encontro anual da *American Physics Society* (Sociedade Americana de Física) e intitulado *There's plenty of room at the bottom* (Há muito espaço lá embaixo), há pouco tempo foi registrado sobre uma placa de ouro utilizando uma técnica que permitiu que o texto ficasse com apenas 400 nanômetros de largura.

Ainda no início da conferência, Feynman perguntou: “Por que não podemos escrever os 24 volumes inteiros da Enciclopédia Britânica na cabeça de um alfinete?” e no decorrer do discurso desenvolveu um raciocínio de forma a encaminhar uma resposta para esta pergunta.

Se para alguns pesquisadores este discurso é tido como o marco inicial das nanotecnologias, outros concordam que ele sequer influenciou as pesquisas na área de nanociência. Joachim e Plévert (2009, p. 26) afirmam que “[...] se esse discurso precedeu os sucessos das nanotecnologias, não os engendrou, sequer influenciou”. Ainda sobre o discurso e, mais especificamente sobre Feynman, logo adiante os autores salientam que “[...] nos anos seguintes, suas afirmações não tiveram maior impacto, caindo no esquecimento”.

Em 1981, Binnig e Rohrer construíram no laboratório da IBM a primeira ferramenta que possibilitou mover átomos individuais, o microscópio de varredura por tunelamento (*Scanning Tunneling Microscopy – STM*). Este microscópio é constituído por uma ponta bem fina, de aspecto quase atômico, que faz a varredura da superfície de uma amostra qualquer. Aplica-se uma pequena diferença de potencial e há passagem de uma corrente, chamada corrente de tunelamento, entre a ponta e a amostra. Com a medida dessa corrente, que depende da distância entre a ponta e a amostra, é possível fornecer uma imagem tridimensional da superfície. A invenção do STM e do microscópio de força atômica (*Atomic Force Microscope – AFM*), este último no final da década de 80, abriu a via para a manipulação, o controle e a exploração de materiais na nova escala – a nanoescala.

Segundo Joachim e Plévert (2009), os criadores do microscópio de varredura por tunelamento sequer conheciam o discurso de Feynman. Nessa mesma perspectiva, Fernandes e Filgueiras (2008, p. 2206), enfatizam que “[...] a síntese química (feita por químicos) e o auto-ordenamento, que se acredita hoje como os pilares da nanotecnologia real nos dias de hoje, não apareceram no discurso de 1959”.

Mas do que se trata a corrente de tunelamento mencionada anteriormente? Este é um efeito explicado pela mecânica quântica e constitui-se num movimento de elétrons por um espaço vazio mensurado na nanoescala, como se houvesse um túnel, quando uma sonda se aproxima de uma superfície condutora.

Tanto o STM quanto o AFM são microscópios de varredura de sonda. O STM utiliza como sonda uma ponta condutora movida por um aparato piezoelétrico. O AFM utiliza como sonda uma ponta sustentada por um braço de material semiconductor.

A partir da década de 80, com a criação do microscópio de varredura por tunelamento (STM) e do microscópio de força atômica (AFM), os investimentos na área foram aumentando a cada ano em países como os Estados Unidos. Nesse ínterim, houve uma reação dos países da Comunidade Europeia e do Japão, que montaram programas nacionais acreditando que os investimentos em nanotecnologia seriam importantes. Atualmente, esses países são os maiores investidores no setor. Empresas oriundas desses países, com planejamento estratégico objetivando investir na área, passaram a contratar cientistas de diferentes campos de conhecimento.

Quanto à movimentação, no Brasil, para o fomento às investigações em nanociência e nanotecnologia, Fernandes e Filgueiras (2008) comentam que,

[...] no final do ano 2000, o Ministério da Ciência e Tecnologia (MCT) convocou uma reunião com pesquisadores que já atuavam ou tinham interesse na área. O primeiro edital específico sobre o tema foi lançado em 2001 e resultou na formação de quatro Redes Cooperativas de Pesquisa: *Materiais Nanoestruturados*, sediada na Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS); *Nanotecnologia Molecular e de Interfaces*, sediada na Universidade Federal de Pernambuco (UFPE); *Nanobiotecnologia*, sediada na Universidade Estadual de Campinas (Unicamp); e *Nanodispositivos Semicondutores e Materiais Nanoestruturados*, também sediada na UFPE. (FERNANDES; FILGUEIRAS, 2008, p. 2207).

No entanto, mesmo antes das ações do então MCT a partir da primeira década do século XXI, hoje MCTI (Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação), os mesmos autores salientam que pesquisadores brasileiros já tinham entrado em contato com esta temática no exterior e que já eram feitas pesquisas envolvendo nanotecnologia em institutos e universidades no Brasil.

Comparados à grande quantidade de investimentos feita no setor de nanotecnologia em países desenvolvidos, nos países da América Latina tais investimentos ainda são considerados discretos. Um dos fatores que pode ser contribuinte para esta grande diferença de investimentos deve-se ao descompasso existente entre as pesquisas feitas nas universidades/institutos de

pesquisa e aquelas feitas no setor produtivo/industrial. Toma (2009, p. 94) considera que os investimentos do setor empresarial nos países latino-americanos são pequenos “[...] em virtude do desconhecimento do assunto por parte dos empresários, e também pela falta de políticas adequadas de apoio à inovação”.

1.3.2 Nanociência e nanotecnologia

Até agora, os termos nanociência e nanotecnologia foram abordados sem distinção alguma entre eles. No entanto, aqui procuro diferenciá-los: a nanociência refere-se a uma área de conhecimento com foco nos fenômenos e propriedades de estruturas cujas dimensões estão compreendidas entre cerca de 1 e 100 nanômetros. Já a nanotecnologia constitui-se num conjunto de conhecimentos que focalizam as aplicações dessas estruturas, formando um conjunto de técnicas baseado nas propriedades que os materiais apresentam na escala nanométrica.

Fernandes e Filgueiras (2008), citando trechos de uma cartilha publicada pela *Royal Society* e pela *Royal Academy of Engineering*² também diferenciam os dois termos, relatando que:

[...] nanociência é “o estudo dos fenômenos e a manipulação de materiais nas escalas atômica, molecular e macromolecular, onde as propriedades diferem significativamente daquelas em uma escala maior”, enquanto nanotecnologias são “o design, a caracterização, a produção e a aplicação de estruturas, dispositivos e sistemas controlando forma e tamanho na escala nanométrica”. (FERNANDES; FILGUEIRAS, 2008, p. 2205).

Os mesmos autores mencionam que, mesmo referindo-se a coisas diferentes, é usado o termo nanotecnologia quando se quer reportar ao conjunto N&N.

Um termo que também é usado quando há referências a essa temática é a nanotecnociência, fusão dos termos nanotecnologia e nanociência. Alves Filho (2008) considera que “[...] o termo nanotecnociência foi cunhado recentemente, em razão de os pesquisadores entenderem que nesse segmento não é possível dissociar ciência e tecnologia”.

² THE ROYAL SOCIETY & THE ROYAL ACADEMY OF ENGINEERING. **Nanoscience and nanotechnologies: opportunities and uncertainties.** Plymouth: Latimer Trend Ltd, 2004, 127p.

Na nanoescala, as propriedades dos materiais são diferentes, nesse caso, para haver nanotecnologia é preciso que sejam exploradas as propriedades e os fenômenos que as estruturas apresentam na escala nanométrica. Nesse sentido, Alves (2004, p. 29) salienta que “[...] o ‘tipo especial de ser pequeno’ é, portanto, no contexto da nanotecnologia, um paradigma da maior importância, na medida em que nem tudo que tem dimensões nanométricas é, necessariamente, nanotecnológico”.

Fernandes e Filgueiras (2008), refletindo sobre o discurso de Richard Feynman e sua provável consideração como marco inicial das pesquisas em N&N, também enfocam que a nanotecnologia vai além da redução das dimensões até a escala nanométrica. Segundo eles,

[...] pode-se suspeitar de que Feynman não seria um precursor da nanotecnologia, pelo menos não como ela é entendida hoje. Alguns trechos do discurso de 1959 transmitem a impressão de que tudo seria uma questão de reduzir a escala, mas a nanotecnologia é muito mais do que diminuir o tamanho – ela é, sobretudo, explorar os fenômenos e as propriedades que a matéria apresenta na nanoescala. (FERNANDES; FILGUEIRAS, 2008, p. 2206).

1.3.3 A produção de dispositivos nanométricos

Gordon Moore, em uma entrevista dada em 1965, disse que era possível integrar 60 componentes eletrônicos em um chip. Mais que isso, disse que a capacidade de integração duplicaria a cada ano e que em dez anos, 1975, chegaria a 60.000 transistores. Esse discurso realmente se confirmou e ficou conhecido como Lei de Moore.

Com os dispositivos sendo mensurados na escala nanométrica, a Lei de Moore poderá não ser mais válida por causa dos fenômenos quânticos e problemas de origem térmica. Para contornar esses obstáculos, as alternativas propostas encontram outros problemas, como os de ordem financeira, pois o aperfeiçoamento das tecnologias empregadas gera um alto custo. Para Toma (2009, p. 19) “[...] será o fim de linha, interrompendo a atual evolução da microeletrônica de silício, no sentido da miniaturização *top-down* (de cima para baixo)”.

O processo *top-down* também pode ser utilizado na construção de dispositivos nanométricos. Como mencionado, é um processo com influências das miniaturizações provenientes da microeletrônica e, também, das engenharias e da física.

Outro processo de construção de dispositivos nanométricos é o *bottom-up* (de baixo para cima), com vistas a desenvolver estruturas a partir de átomos e moléculas. A partir desse processo, com influências da química e da biologia, é que tem se desenvolvido a nanotecnologia molecular.

Toma (2009, p. 19) enfatiza que, com o aperfeiçoamento da técnica *bottom-up*, a primeira patente em eletrônica molecular provavelmente foi registrada pelos feitos de Ari Aviram e Phillip Seiden, ao demonstrarem a possibilidade de utilizar moléculas em operações de propagação e chaveamento de sinais em 1974.

Motivado por perspectivas relacionadas ao planejamento de materiais desenvolvidos a partir de moléculas, em publicação de 1981, o pesquisador Eric Drexler teorizou sobre a possibilidade de construção de máquinas moleculares inteligentes. No entanto, as características dos átomos e moléculas devem ser consideradas quando se planeja utilizá-los em processos de montagens, pois há especificidades que podem inviabilizar tais processos. As ideias de Drexler foram rebatidas por Whitesides (2001), um professor do departamento de química da *Harvard University*.

O processo de automontagem, pelo qual moléculas associam-se espontaneamente, é o que vem oferecendo melhores perspectivas na obtenção de materiais mensurados na nanoescala. Ainda de acordo com Toma (2009, p. 20), “[...] no limite chegaremos a uma tecnologia baseada em moléculas discretas (*Single Molecule Technology*). Não é ficção, pois já é possível visualizar átomos e moléculas, bem como colocá-las em posições desejadas, e investigar suas propriedades individuais”.

Alves (2004, p. 24) lança um questionamento interessante a respeito das nanotecnologias: “[...] a nanotecnologia é um conhecimento totalmente novo, ou se trata de ideias que se constroem há muito tempo”?

Como resposta a essa pergunta, cabe ressaltar que, apesar das pesquisas em nanociência e nanotecnologia terem sido iniciadas no século passado, os efeitos das nanopartículas são conhecidos pelo homem há bastante tempo. A coloração de vitrais de igrejas da Idade Média, por exemplo, era obtida a partir de soluções contendo nanopartículas de ouro. Alves (2004) analisa a coloração do vidro denominado *Ruby Gold Glass* a partir de nanopartículas. Segundo ele,

[...] pequenas partículas metálicas, dispersas no vidro, absorvem a luz e, desta maneira, podem apresentar cores vivas. Tal vidro é conhecido desde o século XVII (o que mostra que a nanotecnologia não é tão jovem!) [...] O tamanho das

partículas de ouro (que, agora sabemos, são nanopartículas) influencia a absorção da luz. Partículas maiores que 20 nm de diâmetro deslocam a banda de absorção para comprimentos de onda maiores que 530 nm, ao passo que partículas menores geram um efeito contrário, ou seja: deslocam a absorção para menores comprimentos de onda. Assim, graças ao tamanho, é possível ter partículas com diferentes cores (laranja, púrpura, vermelho ou verde), desde que seja capaz de controlar a distribuição do seu tamanho. A cor característica do vidro *ruby* é a vermelha, que corresponde a uma absorção de comprimento de onda por volta de 530 nm, logo com partículas da ordem de 20 nm. (ALVES, 2004, p. 28).

Ainda nesse sentido, ao passo em que o homem está tentando criar máquinas moleculares, elas não são novidades no campo biológico. Como exemplo, citam-se as proteínas, as enzimas, que constituem nanomáquinas que convertem uma substância em outra e o DNA (ácido desoxirribonucleico).

1.3.4 Simulações computacionais

Atualmente, grande parte da investigação em física se faz por meio de simulações computacionais e a nanotecnologia também se desenvolve a partir de sistemas simulados. Sofisticados computadores permitem a simulação de propriedades dos materiais, que estruturas moleculares sejam determinadas e que algoritmos sejam elaborados de forma a alcançar a geometria de uma nanoestrutura. Experimentos complexos envolvendo a mecânica quântica também podem ser simulados, prevendo o comportamento de nanoestruturas e nanomáquinas.

De fato, a mecânica quântica envolve cálculos complexos, necessários à compreensão do comportamento de sistemas nanoestruturados. Os métodos computacionais, ao realizarem cálculos em curto espaço de tempo e preverem resultados, são essenciais nas pesquisas em nanociência e nanotecnologia. Mas os modelos teóricos envolvidos na construção dos algoritmos não são somente aqueles embasados pela mecânica quântica. Há fundamentação também na mecânica clássica para a obtenção de informações acerca de propriedades energéticas dos modelos utilizados nas simulações.

1.3.5 O aumento da área superficial

O aumento da área de contato em relação ao volume de determinado material é uma propriedade importante no campo da nanotecnologia visto que, por ela, reações químicas, processos físicos e ações de medicamentos podem se tornar mais rápidas e surtirem melhores efeitos.

De acordo com Schulz (2009, p. 51), a uniformidade do tamanho das nanopartículas, determina a uniformidade do processo químico ou físico. Nesse sentido, quanto menor for a partícula, maior será sua reatividade. Um bom exemplo citado pelo autor refere-se à ação de germicidas, pois quando “[...] dividido em nanopartículas, a ação será muito mais efetiva do que a mesma quantidade de material distribuída em partículas maiores”. Por outro lado, segundo o mesmo autor, “[...] uma substância não tóxica em dimensões micrométricas pode passar a ser tóxica se estiver dividida em pedacinhos menores. Por quê? Porque a reatividade pode ser bem maior e assim a dose efetiva passa a ser maior”. (Schulz, 2009, p.51).

1.3.6 Aplicações das nanopartículas

As nanopartículas podem ser associadas a polímeros e resinas para a obtenção de novos materiais, os nanocompósitos. Utilizados na área de embalagens, por exemplo, proporcionam maior resistência e leveza. Os nanocompósitos também podem ser empregados na indústria automotiva e aeronáutica e serem utilizados para a fabricação de materiais também mais leves e resistentes. Nanopartículas com capacidade de bloquear radiações também podem ser associadas a polímeros e serem utilizados para a confecção de trajes protetores.

Por não serem visíveis a olho nu, algumas partículas nanométricas são incorporadas aos sólidos e líquidos sem alterar sua transparência, mas com capacidade de alterar suas propriedades físicas. São partículas que eliminam reflexos em óculos e em retrovisores.

Na área de cosméticos, nanopartículas são usadas em cremes para a pele e condicionadores de cabelo. Toma (2009, p. 15) menciona que nanopartículas de dióxido de

titânio estarão no mercado de protetores solares por possuírem alto poder de absorção da radiação ultravioleta, atuando como filtro solar. Além disso, tais nanopartículas favorecem o desaparecimento da aparência esbranquiçada causada pelo espalhamento da luz após a aplicação de protetores solares. O mesmo autor realça que

[...] as nanopartículas permitem controlar o grau de penetração dos cremes na pele [...] Essa estratégia permite, ainda, a inclusão de fármacos nas nanopartículas para promoverem a liberação lenta do produto para a pele. Nessa linha existem investimentos em produtos com hormônio (estrógeno) para aliviar os problemas da menopausa e em cremes que garantem a proteção imediata contra agentes químicos ou biológicos [...] (TOMA, 2009, p. 15).

Materiais nanoparticulados específicos ainda podem ser utilizados em revestimentos de cascos de navios para auxiliar na diminuição da corrosão; em lubrificantes, para melhorar seu desempenho, permitindo que operem em temperaturas elevadas; e ainda na indústria farmacêutica.

Devido ao progresso das técnicas da nanotecnologia, principalmente através da microscopia de varredura de sonda, a Embrapa – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – em parceria com a Escola Politécnica da Universidade de São Paulo – USP – e com a USP de São Carlos, por meio do Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação e do Instituto de Física desenvolveu a chamada “língua eletrônica”. Trata-se de um sensor bem mais sensível que o paladar humano e utilizado para verificar com precisão a existência, por exemplo, de substâncias contaminantes e metais pesados na água, além de avaliar a qualidade de outras bebidas, como o vinho, o leite e o café.

Também foi desenvolvida no Brasil uma solução com nanopartículas magnéticas, atuando juntamente com polímeros, para ser utilizada na limpeza da água quando poluída com o derramamento de óleo.

A utilização de nanopartículas magnéticas para a condução de medicamentos com o auxílio de ímãs é outra aplicação curiosa e que tem despertado o interesse de pesquisadores e leigos. O que se espera, ou pelo menos se supõe, é que as nanopartículas magnéticas sejam transportadoras de drogas a partir do campo magnético de ímãs que poderão concentrá-las ao redor do tecido doente. Uma vez no local de destino, regiões saudáveis não serão afetadas pelas fortes drogas utilizadas no tratamento de doenças como o câncer, por exemplo.

Outra aplicação de materiais nanométricos, ainda na área da saúde, refere-se à sinalização e ao diagnóstico de determinadas doenças por meio dos chamados *quantum dots* ou pontos

quânticos. São nanocristais que emitem luz de diferentes cores, dependendo de seu tamanho, quando iluminados com luz ultravioleta, sem a necessidade de equipamentos de visualização sofisticados. Ou seja, mesmo estando no interior de um organismo, os nanocristais luminescentes podem ser detectados através de iluminação ultravioleta externa.

Na área de oncologia esses nanocristais podem ser modificados com anticorpos, que reconhecem células específicas de neoplasias malignas, e sua utilização pretende facilitar o tratamento do câncer ao localizar exatamente um tumor, ou por meio do diagnóstico e/ou mapeamento de uma metástase.

Tratando-se de uma área multidisciplinar, várias áreas do conhecimento estão envolvidas e contribuindo para os avanços em nanotecnologia. Toma (2009) enfatiza que

[...] os produtos esperados são os mais variados possíveis, indo desde os materiais nanoestruturados e nanocompósitos, aos dispositivos nanoeletrônicos. Novos produtos deverão aparecer no setor eletrônico e eletro-óptico. [...] Visores luminescentes são projetados com filmes extremamente finos, de dimensões moleculares. Nanocápsulas, que aprisionam fármacos e biomolécula, foram introduzidas no mercado, na área de medicamentos e em cosméticos. (TOMA, 2009, p. 21).

Um dos principais setores que tem procurado investir em nanotecnologia é o setor energético, cuja implementação da nanotecnologia tem proporcionado um melhor desempenho de dispositivos, como as baterias. O setor computacional é outro que tem procurado anunciar dispositivos moleculares cada vez menores e com maior capacidade de armazenamento de memória.

Nanotubos de carbono

Os nanotubos de carbono foram descobertos por Sumio Iijima, em 1991, no Japão (ALVES, 2004). Os nanotubos possuem diâmetro mensurado na escala nanométrica e comprimento da ordem de dezenas de micrômetros. Sua estrutura tubular permite que as extremidades sejam abertas ou fechadas, favorecendo a formação de cápsulas. Mesmo com aparência unidimensional e alta condutividade elétrica, os nanotubos não são utilizados apenas como fios nanométricos. Podem ser modificados e proporcionar materiais com novas propriedades e aplicações, como sua utilização em *chips* de memória de computador.

Toma (2009, p. 83) menciona alguns processos utilizados na obtenção de nanotubos de carbono. De acordo com o autor, os nanotubos “[...] podem ser gerados por um arco de descarga

elétrica entre dois eletrodos de grafite [...] A descarga elétrica produz temperaturas de milhares de graus entre os dois eletrodos, suficiente para vaporizar o carbono [...]”. Outro processo citado pelo autor é a vaporização a laser. No entanto, continua o autor, “[...] os dois métodos conduzem a uma mistura de nanotubos de diferentes diâmetros e propriedades condutoras ou semicondutoras que dificultam sua utilização em dispositivos”.

Para contornar esse obstáculo, um novo processo para a confecção de nanotubos foi proposto em 2001 e consiste na “[...] deposição de camadas alternadas de fullereno (C_{60}) e níquel sobre substratos de silício, recobertos por máscaras com orifícios de 300 nm”. (TOMA, 2009, p. 83). A partir deste método, Toma (2009) afirma que os nanotubos obtidos passaram a ter sempre o mesmo diâmetro e propriedade.

Vidros autolimpantes

Nanopartículas também são utilizadas em recobrimentos de superfícies, cujas finalidades são variadas. Toma (2009, p. 89-90) aponta algumas, dentre as quais: a produção de janelas antissujeira; de vidros cuja transparência modifica de acordo com a luminosidade externa; de materiais menos suscetíveis a riscos; e de vidros antiembaçantes.

Nos vidros autolimpantes é aplicado um revestimento de nanopartículas de dióxido de titânio que propicia a decomposição dos produtos depositados nesta superfície em produtos gasosos ou solúveis em água. O revestimento de superfícies com nanopartículas desse produto também tem a finalidade de reduzir a tensão superficial, facilitando o escoamento da água e a remoção da sujeira.

1.3.7 A nanotecnologia e a nanotoxicologia

Apesar dos avanços nanotecnológicos serem promissores e, aparentemente, fomentarem esperanças relacionadas ao progresso de cura de doenças, até então consideradas incuráveis; de renunciarem a inserção, no mercado, de produtos que tendem a facilitar o cotidiano das pessoas, como vidros autolimpantes e roupas que não mancham; bem como incentivarem seu consumo quando consideradas suas potencialidades, há a preocupação quanto à toxicidade dos materiais

nanoparticulados, uma vez que a escala nanométrica em que se encontram as partículas é um agente colaborador para sua difusão na atmosfera, na água e no solo, sendo o mesmo fator que impede a remoção dessas partículas por processos habituais de separação de misturas, como a filtração.

Para a compreensão de reflexões sobre a ética no estudo da nanotecnologia convém considerar as várias fontes de materiais nanoparticulados. Existem fontes naturais e fontes antrópicas de nanopartículas. A poeira vulcânica, por exemplo, é uma fonte natural dessas partículas. As fontes antrópicas podem ser subdivididas em dois grupos: aquelas geradas pela queima de combustíveis fósseis, e que são lançadas na atmosfera, e aquelas relacionadas aos processos industriais, como o uso de dióxido de titânio em protetores solares. É referente a esse último caso que se concentram as preocupações de alguns pesquisadores.

O termo nanotoxicologia apareceu a partir da necessidade de conhecimento, divulgação e controle dos riscos potenciais e das prováveis consequências relacionadas ao uso e contato humano com produtos nanoparticulados visando ao estudo e à avaliação da toxicidade desses produtos.

Quina (2004, p. 1028) argumenta que a nanotecnologia, “[...] como qualquer área da tecnologia que faz uso intensivo de novos materiais e substâncias químicas, [...] traz consigo alguns riscos ao meio ambiente e à saúde humana”. Paschoalino, Marcone e Jardim (2010) também têm essa percepção e entendem a pertinência de reflexão sobre estas questões:

A crescente produção e aplicação de nanomateriais tem provocado a ampla discussão sobre os riscos potenciais destes materiais ao ambiente e à saúde humana. A reflexão a respeito desta questão é bastante pertinente, uma vez que, além das inúmeras perspectivas oriundas do desenvolvimento de uma gama de novos materiais, há o potencial risco de contaminação ambiental, dadas as características intrínsecas das nanopartículas, como tamanho, área superficial e capacidade de aglomeração/dispersão, as quais podem facilitar a translocação destas pelos compartimentos ambientais e ocasionar, de forma acumulativa, danos à cadeia alimentar. Estes aspectos justificam a importância da investigação sobre a disponibilidade, degradabilidade e toxicidade dos nanomateriais. (PASCHOALINO; MARCONE; JARDIM, 2010, p. 421).

Os mesmos autores também citam aplicações e prováveis consequências para o ser humano do contato com nanopartículas, como o negro de fumo (*carbon black*) e a nanop prata:

[...] um dos nanomateriais que tem sido empregado em larga escala na indústria de borracha e tintas na forma incorporada é o negro de fumo. Estudos estão sendo realizados a fim de avaliar o efeito nocivo do negro de fumo não

incorporado (livre), principalmente devido à sua inalação, o que pode estar relacionado à inflamação pulmonar.

[...]

[...] provavelmente o nanomaterial mais proeminente em aplicações comerciais no momento seja a nanop prata (Ag-nano). Devido a sua potente atividade bactericida, este material vem sendo incorporado em diferentes produtos comerciais na área médico-hospitalar, como tecidos e implantes, sapatos e tênis, recipientes para armazenamento de alimentos, máquinas de lavar roupas, aparelhos de ar condicionado e até em creme dental. Também pode ser encontrado em próteses ósseas, instrumentos cirúrgicos, dentre muitos outros. A prata em escala macroscópica não apresenta efeito nocivo ao ser humano, salvo em casos de exposição anormais. Estudos recentes demonstraram que estas partículas quando inaladas podem ser bioacumuladas no cérebro, e quando absorvidas pela pele podem ocasionar danos a estruturas celulares fundamentais, como as mitocôndrias. (PASCHOALINO; MARCONE; JARDIM, 2010, p. 422-423).

Se é fato que grandes investimentos são feitos para o desenvolvimento do setor de nanotecnologia, também é fato que apenas uma pequena quantia é destinada a pesquisas com foco na toxicidade dos nanomateriais. Ainda falta um conjunto de leis que regulamente o uso desses materiais e dispositivos, o que faz com que as padronizações existentes ainda sejam tomadas por diferentes órgãos em distintos países.

Considerando que o avanço da nanotecnologia pode inserir modificações significativas na sociedade e no ambiente, os resultados de pesquisas sobre os riscos potenciais e as prováveis consequências lesivas causadas por materiais nanoestruturados certamente constituem uma gama de conhecimentos que têm a capacidade de contribuir com os processos de manufatura, transporte, comercialização, uso e descarte desses materiais, evitando danos ao meio e ao ser humano.

1.4 REVISÃO DA LITERATURA

Fundamentado nas justificativas que recomendam a inserção de FMC como conteúdo curricular no ensino básico, mais especificamente no EM, e com enfoque naquelas que se baseiam em aspectos tecnológicos e sociais, delimitei essa pesquisa na abordagem da nanociência e da nanotecnologia no EM. Assim realizei uma revisão da literatura com o objetivo de verificar como o conjunto N&N estava sendo explorado na área de ensino de ciências.

Para alcançar o objetivo pretendido com a revisão da literatura, analisei publicações da área, tais como: artigos de periódicos nacionais, trabalhos apresentados em congressos e encontros de pesquisadores, e trabalhos de conclusão de cursos de pós-graduação *Stricto Sensu*. Utilizei como base de dados para busca a *Scientific Eletronic Library Online – SCIELO* – os sítios eletrônicos dos principais periódicos e dos principais encontros de pesquisadores da área e o banco eletrônico de teses da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - CAPES. Delimitei para busca um período de 10 anos, compreendidos entre o início de 2003 e o final de 2012. Os descritores empregados nesta busca foram “nanotecnologia”, “nanociência”, “nanoescala” e “nano” tanto na SCIELO quanto nos sítios eletrônicos dos periódicos, dos encontros e no banco de teses da CAPES.

O quadro 1 apresenta as revistas, os eventos e os sítios eletrônicos onde foram pesquisados os trabalhos:

Quadro 1 - Periódicos, eventos e sítios eletrônicos pesquisados na revisão da literatura

Periódico/Evento	Sítio eletrônico
ALEXANDRIA Revista de Educação em Ciência e Tecnologia	alexandria.ppgect.ufsc.br/
Caderno Brasileiro de Ensino de Física	www.periodicos.ufsc.br/index.php/fisica/
Ciência & Educação	www.scielo.br/scielo.php?script=sci_serial&pid=15167313&nrm=iso&rep=&lng=pt
Ciência & Ensino	prc.ifsp.edu.br/ojs/index.php/cienciaeensino
ENSAIO – Pesquisa em Educação em Ciências	www.portal.fae.ufmg.br/seer/index.php/ensaio
Investigações em Ensino de Ciências	www.if.ufrgs.br/ienci/
Química Nova na Escola	qnesc.s bq.org.br/
Revista Brasileira de Ensino de Bioquímica e Biologia Molecular	www.bdc.ib.unicamp.br/rbebbm/
Revista Brasileira de Ensino de Ciência e Tecnologia	revistas.utfpr.edu.br/pg/index.php/rbect
Revista Brasileira de Ensino de Física	www.sbfisica.org.br/rbef/ojs/index.php/rbef

Revista Brasileira de Ensino de Química	http://rebeq.revistascientificas.com.br/sobre.asp
Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências	revistas.if.usp.br/rbpec
SBEEnBio Revista	www.sbenbio.org.br/revistas.htm
ENPEC – Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências	http://www.nutes.ufrj.br/abrapec/enpecatual.html e outros
EPEF – Encontro de Pesquisa em Ensino de Física	www.sbfisica.org.br/v1/index.php?option=com_content&view=article&id=298:epef&catid=91&Itemid=295 e outros
Eventos da ABQ – Associação Brasileira de Química	www.abq.org.br/simpequi/ e outros
Eventos da SBEEnBio – Sociedade Brasileira de Ensino de Biologia	www.sbenbio.org.br/ e outros
Eventos da SBQ – Sociedade Brasileira de Química	www.eneq2012.qui.ufba.br/ e outros
SNEF – Simpósio Nacional de Ensino de Física	www.sbfisica.org.br/v1/index.php?option=com_content&view=article&id=270:snef&catid=91&Itemid=294 e outros
Banco de teses – Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (Capes)	http://www.capes.gov.br/servicos/banco-de-teses

A busca empreendida no segundo semestre de 2012, tanto na base de dados SCIELO quanto no banco eletrônico de teses da CAPES, nos sítios eletrônicos dos periódicos e dos encontros da área ensino de ciências, sendo somente os relacionados ao conjunto N&N inserido no contexto educacional, permitiu a obtenção de 28 publicações, das quais: quatro foram encontradas no periódico *Química Nova na Escola*; uma na revista *Ciência & Educação*; e uma na *Revista Brasileira de Ensino de Física*. Outros 15 trabalhos foram encontrados em sítios eletrônicos de encontros de pesquisadores, sendo: um trabalho apresentado no EPEF; cinco apresentados no SNEF; dois no ENPEC; um no SIMPEQUI – Simpósio Brasileiro de Educação Química; e seis no ENEQ – Encontro Nacional de Ensino de Química. Os sete trabalhos restantes foram encontrados no banco de teses da CAPES.

O quadro 2 mostra os trabalhos encontrados com respectivos autores, local e ano de publicação:

Quadro 2 – Trabalhos encontrados durante revisão da literatura com respectivos autores, local e ano de publicação

Artigo/Trabalho	Título	Autor(es)	Localização	Ano
Periódicos				
I	A nanotecnologia das moléculas	Toma	Química Nova na Escola	2005
II	Afinal, o que é nanociência e nanotecnologia? Uma abordagem para o ensino médio	Silva; Viana; Mohallem	Química Nova na Escola	2009
III	Nanociência e nanotecnologia como temáticas para discussão de ciência, tecnologia, sociedade e ambiente	Siqueira-Batista <i>et al.</i>	Ciência & Educação	2010
IV	Nanotecnologia: desenvolvimento de materiais didáticos para uma abordagem no ensino fundamental	Pereira; Honório; Sannomiya	Química Nova na Escola	2010
V	Articulação de textos sobre nanociência e nanotecnologia para a formação inicial de professores de física	Lima; Almeida	Revista Brasileira de Ensino de Física	2012
VI	Nanotecnologia, um tema para o ensino médio utilizando a abordagem CTSA	Rebello <i>et al.</i>	Química Nova na Escola	2012
Encontros de Pesquisadores				
VII	Educar pela pesquisa e os museus de ciências: um estudo de caso na Nanoaventura	Lozada; Araújo; Guzzo	EPEF	2006
VIII	Alfabetização científica e tecnológica na Nanoaventura: uma viagem divertida pelo mundo da nanotecnologia	Lozada; Araújo	SNEF	2007
IX	Abordagens em nanociência e nanotecnologia para o ensino médio	Zanella <i>et al.</i>	SNEF	2009
X	Do metro ao nanometro: um salto para o átomo	Ellwanger; Fagan; Mota	SNEF	2009

XI	Nanociência e nanotecnologia para o ensino de física moderna e contemporânea na perspectiva da alfabetização científica e técnica	Leonel; Souza	ENPEC	2009
XII	Nanotecnologia e citologia na formação de professores de ciências	Pereira <i>et al.</i>	ENPEC	2009
XIII	O uso de textos de divulgação científica para abordagens de tópicos de nanociências em aulas de física	Menegat; Fagan	SNEF	2009
XIV	Nanotecnologia, um tema para o ensino médio utilizando-se a abordagem CTSA – síntese de nanopartículas magnéticas a partir de materiais de baixo custo.	Rebello <i>et al.</i>	ENEQ	2010
XV	Abordagens de nanociências para o ensino básico	Ellwanger; Fagan	SNEF	2011
XVI	Nanotecnologia e química: uma abordagem interdisciplinar para o ensino médio	Lemos <i>et al.</i>	SIMPEQUI	2011
XVII	Análise de uma seqüência didática sobre o tema nanotecnologia para abordagem do conteúdo de colóides	Santos; Silva; Batinga	ENEQ	2012
XVIII	Desenvolvimento de softwares para abordagem em nanociência e nanotecnologia no ensino de química	Azevedo; Almeida Júnior; Câmara	ENEQ	2012
XIX	Nanotecnologia e nanociência no ensino de química	Lopes <i>et al.</i>	ENEQ	2012
XX	Nanotecnologia e química ambiental: uma abordagem para o ensino médio	Lemos <i>et al.</i>	ENEQ	2012
XXI	PIBID/UEL: o ensino do tema nanotecnologia para o ensino médio	Bertoldo <i>et al.</i>	ENEQ	2012
Portal Eletrônico de Teses – Capes				
XXII	Investigando o desenvolvimento da concepção de nanomundo no ensino fundamental.	França	Universidade Federal Rural de Pernambuco	2005
XXIII	Tópicos de ciência e tecnologia contemporâneas na educação básica: retratos de um desafio docente	Cima	Universidade Federal de Santa Catarina	2007

XXIV	Contribuição de um fórum virtual ao ensino de física no PROEJA	Bastos Filho	Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro	2009
XXV	Nanotecnologia e citologia: perspectivas para o ensino de biologia no século XXI	Pereira	Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul	2009
XXVI	Nanociência e nanotecnologia: uma proposta de Ilha Interdisciplinar de Racionalidade para o ensino de física moderna e contemporânea no ensino médio	Leonel	Universidade Federal de Santa Catarina	2010
XXVII	Crenças de futuros professores de física em contexto de inovação curricular: o caso de um curso de física moderna e contemporânea no ensino médio	Marques Filho	Universidade de São Paulo	2011
XXVIII	Nanotecnologia: uma investigação fundamentada na educação pela pesquisa se refletindo na formação de professores e no ensino de química	Bassotto	Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul	2011

O conjunto de textos foi lido e as observações foram organizadas constituindo uma síntese reflexiva sobre o tema, o que me permitiu classificá-los de acordo com as seguintes categorias:

- **Apresentação de conceitos e definições relacionados ao conjunto N&N:** trabalhos que apresentam a nanociência e a nanotecnologia de forma conceitual, sem pesquisa envolvendo sujeitos;
- **Proposta para abordagem de tópicos de N&N em situações de ensino:** publicações que incentivam a inserção de conteúdos de nanociência e nanotecnologia no ensino fundamental e médio, sem avaliação do que foi proposto;
- **Revisão sobre o conjunto N&N:** publicações que analisam trabalhos já publicados e/ou recursos didáticos disponíveis sobre o conjunto N&N sem a restrição de serem publicados pela área de pesquisa em ensino de ciências, mas relacionados à área educacional;
- **Implementação de conteúdos de N&N em espaços não formais de ensino:** trabalhos que relatam experiências ou divulgam resultados de pesquisas sobre abordagens de tópicos de nanociência e nanotecnologia no ensino fundamental e médio em espaços não formais de ensino e aprendizagem;

- **Implementação de conteúdos de N&N em espaços formais de ensino:** publicações que relatam experiências ou divulgam resultados de pesquisas sobre abordagens de tópicos de nanociência e nanotecnologia em sala de aula de nível básico;

- **Implementação de conteúdos de N&N na formação de professores:** publicações que divulgam resultados de pesquisas ou propõem abordagens de tópicos de nanociência e nanotecnologia na formação de professores de áreas científicas.

Essa categorização permitiu uma melhor análise dos trabalhos encontrados, possibilitando um tratamento de suas informações a partir das categorias que os classificam.

Vale lembrar que criei categorias de maneira que nenhum dos trabalhos fosse alocado em mais de uma delas. Se assim o fizesse, poderia ter criado outras categorias, como a abordagem do assunto sob o enfoque Ciência, Tecnologia e Sociedade – CTS (ou como alguns trabalhos trazem, CTSA³). O conjunto N&N, sendo uma temática em contínuo desenvolvimento, e aparentemente de interesse social e cultural, permite abordagens sob as mais diversificadas estratégias, como a perspectiva CTS, a mais escolhida dentre os autores; ou por meio de textos de divulgação científica, também citada em uma das publicações, sendo esta a estratégia que norteou este trabalho.

O quadro 3 apresenta os trabalhos divididos de acordo com as categorias que lhes atribuí.

Quadro 3 – Trabalhos analisados na revisão da literatura com respectivas categorias

Artigo/Trabalho	Título	Autores	Categoria
I	A nanotecnologia das moléculas	Toma (2005)	Apresentação de conceitos e definições relacionados ao conjunto N&N
II	Afinal, o que é nanociência e nanotecnologia? Uma abordagem para o ensino médio	Silva; Viana; Mohallem (2009)	
IX	Abordagens em nanociência e nanotecnologia para o ensino médio	Zanella <i>et al.</i> (2009)	Proposta para abordagem de tópicos de N&N em situações de ensino
X	Do metro ao nanômetro: um salto para o átomo	Ellwanger; Fagan; Mota (2009)	

³ Ciência, Tecnologia, Sociedade e Ambiente.

XXVI	Nanociência e nanotecnologia: uma proposta de Ilha Interdisciplinar de Racionalidade para o ensino de física moderna e contemporânea no ensino médio	Leonel (2010)	
III	Nanociência e nanotecnologia como temáticas para discussão de ciência, tecnologia, sociedade e ambiente	Siqueira-Batista <i>et al.</i> (2010)	Revisão sobre o conjunto N&N
IV	Nanotecnologia: desenvolvimento de materiais didáticos para uma abordagem no ensino fundamental	Pereira; Honório; Sannomiya (2010)	
VII	Educar pela pesquisa e os museus de ciências: um estudo de caso na Nanoaventura	Lozada; Araújo; Guzzo (2006)	Implementação de conteúdos de N&N em espaços não formais de ensino
VIII	Alfabetização científica e tecnológica na Nanoaventura: uma viagem divertida pelo mundo da nanotecnologia	Lozada; Araújo (2007)	
XXII	Investigando o desenvolvimento da concepção de nanomundo no ensino fundamental	França (2005)	Implementação de conteúdos de N&N em espaços formais de ensino
XXIV	Contribuição de um fórum virtual ao ensino de física no PROEJA	Bastos Filho (2009)	
XI	Nanociência e nanotecnologia para o ensino de física moderna e contemporânea na perspectiva da alfabetização científica e técnica	Leonel; Souza (2009)	
XIII	O uso de textos de divulgação científica para abordagens de tópicos de nanociências em aulas de física	Menegat; Fagan (2009)	

XIV	Nanotecnologia, um tema para o ensino médio utilizando-se a abordagem CTSA – síntese de nanopartículas magnéticas a partir de materiais de baixo custo.	Rebello <i>et al.</i> (2010)	
XV	Abordagens de nanociências para o ensino básico	Ellwanger; Fagan (2011)	
XVI	Nanotecnologia e química: uma abordagem interdisciplinar para o ensino médio	Lemos <i>et al.</i> (2011)	
XVII	Análise de uma sequência didática sobre o tema nanotecnologia para abordagem do conteúdo de colóides	Santos; Silva; Batinga (2012)	
XVIII	Desenvolvimento de softwares para abordagem em nanociência e nanotecnologia no ensino de química	Azevedo; Almeida Júnior; Câmara (2012)	
XIX	Nanotecnologia e nanociência no ensino de química	Lopes <i>et al.</i> (2012)	
XX	Nanotecnologia e química ambiental: uma abordagem para o ensino médio	Lemos <i>et al.</i> (2012)	
VI	Nanotecnologia, um tema para o ensino médio utilizando a abordagem CTSA	Rebello <i>et al.</i> (2012)	
XXI	PIBID/UEL: o ensino do tema nanotecnologia para o ensino médio	Bertoldo <i>et al.</i> (2012)	
XXIII	Tópicos de ciência e tecnologia contemporâneas na educação básica: retratos de um desafio docente	Cima (2007)	
XXV	Nanotecnologia e citologia: perspectivas para o ensino de biologia no século XXI	Pereira (2009)	

XII	Nanotecnologia e citologia na formação de professores de ciências	Pereira <i>et al.</i> (2009)	
XXVII	Crenças de futuros professores de física em contexto de inovação curricular: o caso de um curso de física moderna e contemporânea no ensino médio	Marques Filho (2011)	
XXVIII	Nanotecnologia: uma investigação fundamentada na educação pela pesquisa se refletindo na formação de professores e no ensino de química	Bassotto (2011)	
V	Articulação de textos sobre nanociência e nanotecnologia para a formação inicial de professores de física	Lima; Almeida (2012)	

Apresento, a seguir, uma síntese de cada trabalho, divididos de acordo com as categorias estabelecidas.

1.4.1 Apresentação de conceitos e definições relacionados ao conjunto N&N

Toma (2005) menciona que as pesquisas a nível molecular na química confundem-se com aquelas realizadas no campo da nanotecnologia, sendo necessária a utilização de ferramentas que lidam com objetos mensurados numa escala em que fenômenos quânticos aparecem. O objetivo principal do artigo é apresentar o rumo que as pesquisas a nível molecular estão tomando, bem como as prováveis aplicações dos resultados destas pesquisas.

Ao final, o autor enfatiza que os investimentos governamentais e privados estão crescendo quando se trata da nanotecnologia tanto no Brasil quanto em outros países do mundo, principalmente no Japão e nos Estados Unidos. Além disso, ressalta a importância de incluir tópicos de nanotecnologia no cenário educacional, já que os alunos de hoje serão os profissionais do futuro e devem estar preparados para entrar no mercado de trabalho envolvido com esta temática.

Objetivando apresentar conteúdos relacionados à nanociência e à nanotecnologia, além de abordar aspectos relevantes de suas consequências na sociedade, Silva, Viana e Mohallem (2009) tratam desses assuntos a partir de Rita, uma personagem fictícia.

Os autores ressaltam que os materiais provenientes da nanotecnologia devem ser manipulados com cuidado, que o avanço na área científica e tecnológica deve ser feito com responsabilidade e que a ética científica se baseia na construção do conhecimento para produção de benefícios para a sociedade e para o ambiente.

1.4.2 Proposta para abordagem de tópicos de N&N em situações de ensino

Zanella *et al.* (2009) objetivam mostrar a definição, o potencial e as implicações do conjunto N&N, fazendo uma abordagem sobre a relação entre as escalas macro, micro e nano.

As autoras afirmam que “[...] uma das grandes potencialidades dos nanomateriais está associada ao aumento, de forma acentuada, da área superficial da estrutura quando reduzimos o tamanho desta, ou seja, quando passamos de uma escala macro- ou micro- para a nanoescala” (ZANELLA *et al.*, 2009, p. 6). Materializando esta propriedade, eles utilizam um cubo maciço de 1 cm de aresta e dividem-no em cubos idênticos até que a aresta desses cubos possam ser medidas na nanoescala. Ao mesmo tempo, avaliam a variação da área superficial, levando em conta volume total e massa constantes.

Finalizam o artigo apontando que as atividades apresentadas podem ser aplicadas tanto para alunos do ensino médio quanto para alunos do ensino fundamental. Essa possibilidade ocorre, segundo as autoras, devido às atividades não envolverem conceitos e nem álgebra sofisticados.

Ellwanger, Fagan e Mota (2009) apresentam um material instrucional sobre nanociências elaborado para ser aplicado nos níveis fundamental e médio. Devido à inexistência de materiais didáticos que abordam o conjunto N&N no ensino básico, eles propõem atividades que focalizam a redução de escala em diferentes dimensões com o conseqüente aumento da área superficial e a modificação das propriedades.

A primeira atividade apresentada (Dimensionalidade de estruturas) tem o objetivo de fazer o aluno conhecer estruturas com diferentes dimensões. Na segunda atividade (Calculando a área superficial e volume de materiais), os autores usam as equações para o cálculo do volume e da área superficial da esfera e do cubo para relacionar estas quantidades nesses sólidos. Já a terceira atividade (Variação da área superficial em macro, micro e nanoestruturas) consiste na observação da variação da área superficial com a redução da escala.

Finalizando, os autores informam que o material proposto estará em constante processo de ajuste, mas, na fase preliminar, servirá como meio de inserção de tópicos de nanociência no ensino básico. Ainda ressaltam que, posteriormente, serão realizadas outras atividades como a produção de textos com professores de língua portuguesa e biologia, cujo tema pautar-se-á nos riscos e benefícios da nanotecnologia.

Leonel (2010) discute a inserção da nanociência e da nanotecnologia no EM através de uma Ilha Interdisciplinar de Racionalidade, modelo proposto por Fourez para representar situações cotidianas. O autor analisa uma situação problema adotada e as etapas que compõem a Ilha, com enfoque na etapa zero, dedicada ao seu planejamento e pela qual são considerados os caminhos trilhados, tanto pelos professores quanto pelos alunos, durante o processo de aplicação da Ilha.

1.4.3 Revisão sobre o conjunto N&N

Siqueira-Batista *et al.* (2010) fizeram uma revisão bibliográfica utilizando as bases de dados SCIELO, obtendo 24 artigos, e a *U. S. National Library of Medicine – PUBMED* – obtendo 257 artigos. Também foram consultados livros e capítulos de livros. A partir desta revisão, os autores estabeleceram quatro eixos temáticos para a abordagem da temática na área de educação científica e tecnológica – ECT, a saber, (i) nanotecnologia e nanomateriais; (ii) nanobiotecnologia e saúde; (iii) nanotecnologia e meio ambiente; (iv) nanotecnologia, ética e política.

Eles recomendam que a condução de pesquisas em nanociência e nanotecnologia seja ampliada ao questionamento da sociedade, sendo que a ECT crítica, sob o enfoque CTSA, pode

contribuir com essa recomendação, haja vista a criação de ambientes democráticos para o debate em sala de aula.

Abordando temas ligados à nanociência e à nanotecnologia, Pereira, Honório e Sannomiya (2010) têm o objetivo de fornecer ferramentas educacionais para professores do ensino fundamental e médio, bem como contribuir para a compreensão de conceitos químicos relacionados a fenômenos do cotidiano.

Os autores fizeram um amplo levantamento bibliográfico com o intuito de selecionar atividades educacionais disponíveis sobre nanotecnologia e que pudessem ser aplicadas a alunos do ensino fundamental. O levantamento mostrou um considerável número de endereços eletrônicos e materiais didáticos disponíveis na *internet*.

São citados museus exploratórios como o *Science Museum* de Londres, que mostra nanoestruturas direcionadas ao público infanto-juvenil ao introduzir conceitos da nanoescala. Outro programa educacional, este na Alemanha, consiste em um caminhão com dimensão de 60m² e composto de instrumentos que auxiliam em atividades que envolvem exemplos de nanoquímica e nanofabricação. Uma empresa citada no artigo, em parceria com professores da área de nanotecnologia do Reino Unido, produziu um jogo que tem como objetivo ensinar ao público jovem as aplicabilidades do mundo nanotecnológico. Outras informações sobre nanotecnologia foram encontradas num endereço eletrônico de origem japonesa onde são divulgados simpósios, workshops e assuntos relacionados à nanotecnologia para o meio científico e para o público em geral. Os autores apontam também a Nanoaventura, um espaço do Museu Exploratório de Ciências – Unicamp, como um exemplo brasileiro de atividade educacional relacionada à nanotecnologia.

De fato, eles notaram uma grande quantidade de materiais e endereços eletrônicos no exterior que abordam o tema ‘nanotecnologia’, mas, ao mesmo tempo, perceberam que a linguagem utilizada em sua construção era bastante específica, descaracterizando seu objetivo educacional.

Finalizando, eles chamam a atenção para a deficiência em fontes e materiais para a abordagem da nanotecnologia no Brasil e destacam a relevância de seu ensino, dada sua aplicação no cotidiano dos alunos.

1.4.4 Implementação de conteúdos de N&N em espaços não formais de ensino

Lozada, Araújo e Guzzo (2006) e Lozada e Araújo (2007) abordam alguns aspectos do ato de educar pela pesquisa no contexto dos espaços não formais, como os museus. Foi desenvolvido um projeto de visita à Nanoaventura para grupos de alunos do EM, tendo em vista a avaliação de algumas características do processo educativo que se realiza nesse espaço.

Um projeto baseado no ato de educar pela pesquisa foi elaborado para ser desenvolvido com os visitantes antes da chegada à Nanoaventura. Ele foi apresentado a uma escola que faria a visita e, ao ser aplicado, foram identificados indícios de mudança de postura por parte dos alunos se comparados a outros alunos (em visitas anteriores) com os quais o projeto não havia sido desenvolvido. Houve um interesse maior dos alunos ao interagirem com os jogos, pois puderam aplicar muitos conceitos que haviam assimilado durante o desenvolvimento do projeto.

A implementação do projeto também foi proposta em outra escola, sendo que o projeto inicial sofreu uma adaptação visando articular o conteúdo desenvolvido em sala de aula relativo à estrutura atômica com a nanotecnologia. Um questionário com dez questões foi respondido pela segunda turma, anteriormente à realização da visita, para identificar suas representações acerca de conceitos físicos como o átomo e a molécula, além da nanociência e da nanotecnologia. A análise do questionário mostrou que os alunos apresentavam deficiências na compreensão de escala e de notação científica. Os alunos foram orientados a pesquisar por inúmeras fontes, devendo apresentar um trabalho sobre o tema abordado, para que, somente em seguida, fossem visitar a exposição.

Os autores avaliam que as escolas devem inserir em seus planos de ensino visitas aos museus de ciências considerando que é preciso disseminar a educação pela pesquisa como prática cotidiana nas escolas desde as séries iniciais da educação escolar. E, conforme os estudos apontaram, destacam a necessidade dos museus intensificarem a realização de um trabalho de orientação aos professores sobre a utilização e as finalidades dos museus de ciências.

1.4.5 Implementação de conteúdos de N&N em espaços formais de ensino

França (2005) estudou o desenvolvimento da concepção de nanomundo junto a alunos da 8ª série do ensino fundamental, estruturando um conjunto de atividades para serem desenvolvidas com eles em quatro encontros. Durante a realização desses encontros foram aplicados alguns instrumentos pedagógicos, como os mapas conceituais. Tais instrumentos, bem como uma lista com os pontos que seriam relevantes para discussão, foram utilizados na formalização de um protocolo de análise, a partir do qual se observou que as concepções prévias dos alunos sobre o tema eram bastante limitadas. Porém, a intervenção foi significativa, dado que, ao final, a maioria dos alunos não apenas tinha uma ideia do que seria o nanomundo, mas relacionavam a esta concepção inúmeros outros conceitos pertinentes, como os de microscopia eletrônica e escala.

Bastos Filho (2009) realizou a pesquisa no âmbito da educação de jovens e adultos adotando uma proposta pedagógica interdisciplinar de ciências da natureza e enfatizando, dentre outros, a interação entre os participantes. Durante a investigação foi utilizado um ambiente denominado Espaço Virtual de Aprendizagem, desenhado para dar suporte à metodologia de Aprendizagem Baseada em Casos. Pelo trabalho, o autor avaliou a participação de alunos adultos em dois fóruns de discussão, um deles relacionado à nanotecnologia. Segundo o pesquisador, a inserção de tecnologias na educação e metodologias diferenciadas de ensino contribuiu para o pensamento crítico, a mudança de paradigmas e a inserção de hábitos como leitura e pesquisa.

Leonel e Souza (2009) analisam a potencialidade do tema ‘nanociência e nanotecnologia’ para introdução da FMC no EM. O estudo foi caracterizado como descritivo, com enfoque na pesquisa-ação.

Tentando alcançar o objetivo precípuo do trabalho, os autores organizaram um seminário intitulado ‘Nanotecnologia: sua ciência, tecnologia e implicações sociais’ para alunos da 3ª série do EM de uma escola pública, um minicurso intitulado ‘Nanotecnologia: sua ciência e implicações sociais’ e atividades em uma turma de licenciatura em física.

Eles utilizaram como principal instrumento de pesquisa dois questionários, com questões abertas e fechadas, elaborados para que os alunos e participantes do minicurso respondessem ao final de cada atividade. Além do minicurso e do seminário, algumas atividades também foram elaboradas para alunos de licenciatura em física durante a realização de um estágio.

Ao final, os autores concluíram que a análise das respostas mostrou que o tema pode potencializar o ensino de FMC e o fato de caracterizar-se como uma temática multidisciplinar deixa-o em uma situação privilegiada na perspectiva da alfabetização científica e tecnológica.

Partindo do pressuposto de que os conteúdos que estão relacionados com temas científico-tecnológicos atuais, como transgênicos e células-tronco, são totalmente ignorados na formação do aluno no ensino básico, Menegat e Fagan (2009) propõem o uso de textos de divulgação científica para abordagens de tópicos de nanociências em aulas de física.

Apontando o distanciamento entre a física escolar e a física presente no cotidiano dos alunos, principalmente no que se refere ao funcionamento e implicações dos aparatos tecnológicos, os autores afirmam que

[...] o exercício da cidadania baseia-se no conhecimento das formas contemporâneas de linguagem e no domínio dos princípios científicos e tecnológicos que atuam na produção moderna. Apesar disso, o ensino de Física na Educação Básica ainda se caracteriza pelo excesso de atenção dada aos exercícios repetitivos, cuja abordagem privilegia o uso de algoritmos matemáticos em detrimento da compreensão de aspectos relacionados a situações e/ou aos fenômenos envolvidos. Configura-se assim um claro distanciamento entre os conteúdos ministrados e a realidade cotidiana. Nossas escolas devem estar preparadas para enfrentar estas questões, cada vez mais presentes em sala de aula. Os estudantes por um lado são atraídos e seduzidos pela tecnologia. Os professores, de outro lado, encontram dificuldades para acompanhar este processo evolutivo [...] (MENEGAT; FAGAN, 2009, p. 2).

Na proposta de utilização de textos de divulgação científica em sala de aula, os autores elaboraram seis etapas na tentativa de um trabalho produtivo:

- i. Escolha de um texto de divulgação científica e elaboração de uma situação-problema (ambas feitas pelo professor);
- ii. Organização da turma em pequenos grupos;
- iii. Estabelecimento de parâmetros relevantes e possibilidades de resolução da situação-problemas (com os grupos ainda sem o texto);
- iv. Utilização do texto de divulgação científica para solucionar a situação-problema;
- v. Discussão das soluções formuladas e síntese conclusiva;
- vi. Extrapolação das ideias encontradas nos textos de divulgação científica.

Após a aplicação desse método investigativo, os autores concluíram que a tentativa de resolução de situações-problema mostrou-se como atividade adequada, sendo que o assunto abordado despertou muita curiosidade nos alunos, incentivando-os a buscar mais informações

sobre os riscos e benefícios da nanotecnologia. Por outro lado, foi possível notar que eles apresentaram dificuldades de interpretação. Os autores mencionaram ainda que o uso de textos de divulgação científica incentivou o hábito da leitura, auxiliando na sua compreensão e interpretação, desse modo, constituindo-se numa maneira alternativa de ensinar e de aprender.

Rebello *et al.* (2010) e Rebello *et al.* (2012) objetivaram abordar a nanociência e a nanotecnologia no ensino médio a partir de uma proposta de preparação de nanopartículas de magnetita utilizando materiais de uso comum.

A investigação consistiu no desenvolvimento de uma metodologia de preparação de nanopartículas de óxido de ferro (encontrado na natureza como mineral magnetita) utilizando materiais de baixo custo. Os experimentos realizados inicialmente por alunos de Iniciação Científica Júnior foram filmados para posterior apresentação para alunos do EM, juntamente com o desenvolvimento de outras atividades. O vídeo incluiu, além da filmagem do experimento sobre a preparação do óxido de ferro, realizado em laboratório, apresentações sobre a nanoescala, com figuras e textos; sobre a estrutura microscópica da magnetita, utilizando uma simulação computacional; e sobre aplicações das partículas em escala nanométrica.

Em Rebello *et al.* (2012), os autores discutem que o desenvolvimento de novas tecnologias deve incitar questionamentos sociais promovendo a discussão dos benefícios, bem como das consequências do uso indiscriminado dos novos produtos.

Ellwanger e Fagan (2011) relatam uma experiência didática envolvendo tópicos de nanociência e nanotecnologia desenvolvida com alunos de três turmas de 3º ano do ensino médio. O objetivo do trabalho foi inserir tópicos de nanociências no ensino básico por meio de abordagens de conteúdos, exercícios envolvendo a linguagem matemática e produção de textos.

O trabalho de coleta de informações foi dividido em quatro etapas. Na última delas, foi solicitado aos alunos que elaborassem um texto sobre o tema ‘nanociências, seus benefícios e implicações’. A partir das produções textuais, os autores puderam concluir que a maioria dos alunos entendeu que o conjunto N&N constitui-se numa possibilidade de auxílio e inovação, onde muito ainda deve ser feito.

Lemos *et al.* (2011) levaram para a sala de aula discussões a fim de promover a compreensão das relações entre ciência, tecnologia e sociedade quando o assunto tratado era a nanotecnologia. Segundo os autores, tornou-se um grande desafio trabalhar com este tema de

forma inovadora, concomitantemente, fazendo ligação com a química, o que foi facilitado pelo fato de haver pesquisas com aplicações dessa área no campo da nanotecnologia.

Uma das fases da pesquisa constituiu-se na elaboração e aplicação de um questionário em três turmas do 1º ano do ensino médio, cujas respostas contribuíram para a elaboração de atividades, juntamente com o professor das turmas, tais como a utilização de vídeos, textos e debates para a abordagem do tema em sala de aula. Ressalta-se a encenação de uma peça teatral intitulada ‘Rita descobrindo o que é nanotecnologia’, uma adaptação de um artigo mencionado nesta revisão. Depois de realizadas estas atividades, um questionário final foi aplicado, permitindo aos autores concluir que foi possível despertar nos alunos o interesse e a curiosidade pela nanotecnologia.

Santos, Silva e Batinga (2012) analisam o desenvolvimento de uma sequência didática sobre nanotecnologia utilizada para abordar aspectos conceituais e fenomenológicos relacionados aos colóides. A pesquisa constou, basicamente, de duas etapas: na primeira foi realizada a elaboração e discussão da sequência didática por professores e alunos de um curso de licenciatura em química e constituída de sete momentos. Na segunda etapa foi feita a aplicação da sequência numa turma de ensino médio e a análise dos resultados obtidos com essa implementação.

Os autores perceberam que a problematização inicial com vídeos propiciou tanto o levantamento de questões sobre nanotecnologia quanto uma melhor compreensão dos problemas colocados. Nas respostas às questões de um experimento sobre colóides, inserido na sequência, foi possível verificar que os alunos utilizaram a visão fenomenológica para justificar o que observaram.

Ao final, os autores concluem que a sequência possibilitou que os alunos formulassem hipóteses e selecionassem variáveis relevantes para resolver alguns problemas, além de lhes ter sido permitido desenvolver habilidades de observação e práticas de procedimentos de manipulação.

A partir de recomendações para abordagem da nanotecnologia no ensino médio, Azevedo, Almeida Júnior e Câmara (2012) relatam que licenciandos em química desenvolveram *softwares* sobre nanotecnologia voltados para o EM contendo, dentre outros, notícias, jogos educativos, vídeos e links. Sem descrição sobre os métodos de coleta e análise de dados, os autores concluem que, após a utilização do *software* em sala de aula, foi possível perceber a aceitação e o entusiasmo dos alunos ao utilizarem a nova ferramenta didática.

O trabalho de Lopes *et al.* (2012) foi redigido a partir de uma pesquisa desenvolvida durante atuação no Programa Institucional de Bolsa de Iniciação à Docência – PIBID – em uma escola pública, com alunos do EM.

Os autores objetivaram mostrar aos alunos as definições, o potencial e as implicações da nanociência e da nanotecnologia na sociedade, no intuito, dentre outros, de contribuir com recursos didáticos no ensino, e tentar promover melhorias nos processos de ensino e de aprendizagem.

Os pesquisadores aplicaram um pré-teste, seguido de um seminário que abordou as características, vantagens, desvantagens, aplicações e definições da nanociência e da nanotecnologia. Além disso, a nanotoxicidade também foi abordada além de suas prováveis consequências econômicas, sociais, ambientais e militares. Ainda foi aplicado um pós-teste, pelo qual os pesquisadores perceberam que cerca de 92% dos alunos apresentaram um bom entendimento e assimilação do tema.

Como última etapa de desenvolvimento do trabalho, uma atividade investigativa foi proposta, na qual os alunos propuseram o desenvolvimento de um material baseado em nanotecnologia. Os pesquisadores constataram que 89% dos alunos foram coerentes ao propor os materiais, que estiveram relacionados com problemas sociais e com o bem estar pessoal do aluno.

Lemos *et al.* (2012) concordam que grande parte dos estudantes tem curiosidades a respeito de assuntos abordados pela mídia, assuntos que nem sempre são trabalhados de forma desejável na escola, fato que levou os autores a realizarem uma pesquisa em turmas do 1º ano do ensino médio, com o intuito de montar uma unidade didática capaz de facilitar a aprendizagem, relacionando conteúdos de química com a nanotecnologia e também com a química ambiental.

Eles observaram, a partir de um questionário inicial, que a totalidade dos alunos nada sabia sobre nanotecnologia. No entanto, grande parte dos alunos, após a intervenção e discussão dos materiais sugeridos, conseguiu responder as questões do questionário final de maneira satisfatória, considerando que ele continha mais três questões além daquelas do questionário inicial.

Os autores concluem que, com o desenvolvimento do trabalho, foi possível despertar nos alunos a vontade de estudar química a partir do momento em que a mesma foi relacionada com o dia a dia dos estudantes.

Bertoldo *et al.* (2012) relatam que desenvolveram o que chamaram de ‘Fichas de Aulas Dialogadas’, com o tema ‘nanotecnologia’, cujas atividades foram desenvolvidas com alunos do 2º ano do ensino médio de um colégio público. Eles ainda mencionam que as atividades foram elaboradas por licenciandos em química, participantes do PIBID, com auxílio de docentes do curso.

As ‘Fichas de Aulas Dialogadas’ iniciaram com as seguintes questões: 1) *O que você entende por nanotecnologia?*; 2) *A nanotecnologia é importante?*; 3) *Onde você vê aplicações?* Os autores utilizaram diferentes materiais na abordagem do tema: um vídeo, imagens e um jogo sobre nanotecnologia constituído de um quebra-cabeça. Após o desenvolvimento das ‘Fichas de Aulas Dialogadas’, novamente as questões foram aplicadas aos alunos.

Os autores concluem sobre a necessidade de alfabetização científica com base nas ideias e cultura extraídas do ensino em ciências para uma efetiva participação dos alunos nas atividades.

1.4.6 Implementação de conteúdos de N&N na formação de professores

Cima (2007) apresenta resultados de uma discussão fomentada com professores de física de diversas regiões do país sobre dificuldades encontradas para tratar assuntos relacionados à ciência e tecnologia contemporâneas. Elegeram-se um tópico sobre nanociência, a partir do qual foi elaborada uma proposta didática, posteriormente analisada e redimensionada a partir das colaborações do grupo de professores envolvidos. As discussões foram registradas em um ambiente virtual, de onde emergiram os principais elementos analisados e que permitiram detectar fragilidades nos conhecimentos dos professores sobre FMC. A superação dos obstáculos sugeriu maior aproximação entre a pesquisa acadêmica em ensino de física e aqueles que atuam nas salas de aula, passando também pela melhoria do processo de formação inicial.

Pereira (2009) e Pereira *et al.* (2009) apresentam trabalhos que focalizaram estudos sobre nanotecnologia integrados à citologia. Para isso, foram analisadas possíveis contribuições de uma Unidade de Aprendizagem sobre nanotecnologia e citologia à formação inicial de professores de biologia. Foi feito um estudo de caso, com abordagem qualitativa e descritiva, tendo como sujeitos os alunos de uma turma de um curso de graduação em Ciências Biológicas -

Licenciatura. Os instrumentos para obtenção de informações foram, basicamente, uma questão inicial para verificar as concepções prévias dos alunos, um diário de campo e um questionário final com depoimentos sobre o trabalho vivenciado. As informações obtidas foram analisadas segundo a metodologia de Análise Textual Discursiva, resultando em três grandes categorias.

A partir dos depoimentos, os autores relatam que os licenciandos consideraram a nanotecnologia uma ferramenta para o desenvolvimento de novos materiais e reconheceram-na como uma técnica para manipular a matéria na escala de átomos e moléculas, porém não mencionaram distinções entre nanotecnologia e nanociência. Também foram apontadas dúvidas em relação a outras áreas da biologia em que a nanotecnologia poderia estar envolvida. Além disso, os autores notam que quanto maior o envolvimento do professor com o assunto a ser abordado em sala de aula, mais motivado e criativo ele se encontra ao planejar uma atividade.

O objetivo de Marques Filho (2011) consistiu em identificar e analisar as crenças de futuros professores de física sobre a inserção de tópicos de FMC no currículo do EM. Adotando uma metodologia qualitativa com quatro sujeitos oriundos de um grupo de 11 alunos do curso de Licenciatura em Ciências Exatas (habilitação: Física), foram oferecidos minicursos de dois temas de FMC aos licenciandos: física de partículas e nanociência; sendo que os futuros professores adaptaram e organizaram tais conceitos e atividades em um módulo de ensino com quatro horas para o EM. O autor considera importante fornecer aos formadores de futuros professores uma perspectiva em relação às crenças deste público sobre a inserção de FMC no EM.

Bassotto (2011) apresenta uma Unidade de Aprendizagem sobre nanotecnologia e analisa como ela contribuiu para que licenciandos em química pudessem incluir o tema no EM. A pesquisa teve uma abordagem qualitativa e descritiva, a partir de uma pesquisa-ação. Os instrumentos de coleta de dados consistiram, dentre outros, num questionário inicial e em entrevistas com os sujeitos de pesquisa e com os professores. A análise e interpretação dos dados foram efetuadas por meio da Análise Textual Discursiva e indicou que os licenciandos apresentavam pouco conhecimento sobre o tema.

Lima e Almeida (2012) notam que as chamadas nanociências e nanotecnologias têm desempenhado um papel bastante relevante na sociedade contemporânea e apontam que muitos países, destacadamente os mais industrializados, vêm destinando grandes investimentos para o fomento de pesquisas nestes campos. As autoras ainda mencionam que as investigações em

nanociência e nanotecnologia têm se desenvolvido, também, pela competitividade gerada entre grupos de pesquisa que, na sua maioria, associam os resultados a benefícios públicos:

As enormes vantagens prometidas para aqueles que possuem o conhecimento e a capacidade de explorar as nanotecnologias vêm motivando diferentes grupos, de setores públicos e privados, promovendo grande competitividade e, conseqüentemente, favorecendo o crescente desenvolvimento dessas pesquisas, as quais são, com maior frequência, associadas a grandes benefícios públicos [...] (LIMA; ALMEIDA, 2012, p. 4401-2).

Elas afirmam também que parte da população mundial não acompanha o avanço das ciências e das tecnologias, cabendo a poucos o desfrute desses avanços:

[...] estudos mostram que, ao longo da história, o desenvolvimento das ciências e das tecnologias vem sendo utilizado por poucos grupos privilegiados economicamente e que, em lugar de minimizar problemas sociais, como a pobreza e a fome, vêm aumentando a desigualdade na distribuição de renda no mundo. (LIMA; ALMEIDA, 2012, p. 4401-2).

Com enfoque para o ensino superior, formação de professores e especial destaque para os conteúdos relacionados à FMC, as autoras apontam o uso, quase exclusivo, da linguagem matemática utilizada para a resolução de exercícios e problemas nas disciplinas de cunho específico nos cursos de licenciatura em física. Consideram a necessidade do desenvolvimento de um trabalho que promova o entendimento de que a ciência é um produto humano e que incentive uma participação intensa e vigilante sobre o uso das aplicações da ciência e da tecnologia pelo cidadão comum, um trabalho que seja direcionado para a sociedade.

Partindo de todas essas considerações, após analisarem os resultados do desenvolvimento, em três etapas, de uma disciplina ministrada no segundo semestre letivo de 2009 na Unicamp com 15 licenciandos em física, as autoras apresentam uma unidade de ensino composta por 16 textos envolvendo conteúdos de nanociência e nanotecnologia.

A primeira das etapas consistiu na aplicação aos alunos, logo no primeiro dia de aula, de um questionário incluindo perguntas sobre experiências marcantes vivenciadas por eles como estudantes na universidade, disciplinas já cursadas e uma questão referente aos conhecimentos sobre nanotecnologia. O questionário teve o objetivo de obter conhecimento sobre a formação daqueles alunos, as representações que traziam para a disciplina e alguns de seus interesses como futuros professores. A partir das respostas, as pesquisadoras concluem que as disciplinas de FMC, da forma como eram ministradas, haviam contribuído pouco para a formação daqueles licenciandos enquanto professores do EM.

Na segunda etapa, grupos de alunos estudaram em casa e elaboraram sínteses de textos sobre nanociência e nanotecnologia propostos pelas autoras. Esse estudo foi seguido de apresentações em forma de seminários na sala de aula. Já na terceira e última etapa, ocorrida no último dia de aula, os licenciandos responderam outro questionário.

Depois de apresentado o desenvolvimento da disciplina, as autoras oferecem uma síntese das principais características de cada um dos 16 textos indicados para a unidade de ensino, cujos enfoques diversificaram, visando a uma formação ampla do futuro professor. Nesse sentido, pretendem contribuir para o fortalecimento de conhecimentos que consideraram essenciais para a formação docente, de modo que o trabalho dos futuros professores permita formar cidadãos com condições de refletir, compreender e assumir posicionamentos favoráveis ou contrários aos novos avanços tecnológicos.

1.4.7 Considerações

As classificações dos artigos em seis categorias permitiram-me analisar características comuns e as contribuições dos trabalhos para o ensino das disciplinas de cunho científico.

Os trabalhos que conceituaram a nanotecnologia, categorizados como **Apresentação de conceitos e definições relacionados ao conjunto N&N**, apresentaram a nanotecnologia de forma interativa e desvinculada de uma linguagem altamente rebuscada e sobrecarregada de termos técnicos. Um deles focalizou as principais aplicações da nanotecnologia, bem como os riscos provenientes destas aplicações.

A categoria **Proposta para abordagem de tópicos de N&N em situações de ensino** englobou artigos que recomendam a introdução do conjunto N&N no ensino fundamental e médio sobre diferentes estratégias; o que é recomendável quando se pretende trabalhar com conteúdos inovadores e os objetivos são focados numa formação ampla do estudante.

Os trabalhos categorizados como **Revisão sobre o conjunto N&N** permitiram-me verificar como a temática envolvendo a nanotecnologia estava sendo abordada por autores de diferentes áreas e quais os recursos disponíveis para seu ensino e aprendizagem. Nesse sentido,

os trabalhos de revisão funcionaram como organizadores dos trabalhos publicados e como indicadores de recursos didáticos existentes sobre o conjunto N&N.

Na categoria **Implementação de conteúdos de N&N em espaços não formais de ensino** foram alocados os trabalhos que enfocaram a importância de ensinar e aprender pela pesquisa em museus.

A categoria **Implementação de conteúdos de N&N em espaços formais de ensino** foi a que englobou o maior número de publicações, trazendo relatos de experiências e resultados de pesquisas sobre a abordagem do conjunto N&N em sala de aula de nível básico. Foi a categoria que abrangeu trabalhos que exploraram representações dos estudantes sobre a nanotecnologia e seus avanços, permitindo-me entrar em contato com a visão do estudante sobre a temática que este trabalho envolve.

A última categoria, **Implementação de conteúdos de N&N na formação de professores**, englobou trabalhos cujos pesquisadores abordaram tópicos de nanociência e nanotecnologia em cursos de formação de professores, seja inicial ou continuada. Trata-se de uma categoria em que os autores dos trabalhos notaram a relevância do tema e sugeriram, ao focalizá-lo no ensino superior, sua abordagem no ensino básico.

Após a leitura dos trabalhos e categorização dos mesmos, notei a ausência da exploração da temática em sala de aula de maneira controversa. Notei, também, a falta de exploração do funcionamento de textos de divulgação científica sobre nanotecnologia nas aulas de física, bem como da análise de produção de significados por estudantes ao lerem os referidos textos. Percepções estas que me ajudaram na elaboração da questão de estudo e a delinear o projeto de pesquisa desta dissertação.

2 A LEITURA DE TEXTOS DE DIVULGAÇÃO CIENTÍFICA E AS CONTROVÉRSIAS NO ENSINO

Convicto da necessidade de formação ampla dos estudantes, entendo a importância de trabalhar, em sala de aula, conhecimentos relevantes para o exercício da cidadania. Nesse sentido, a escola exerce um papel social importante, pois se trata de um espaço, dentre outras possibilidades, onde a alienação pode ser superada. Almeida (2010) comenta a esse respeito:

Por considerar que a escola é uma instituição com potencial para se trabalhar na superação da alienação, acredito na relevância de investigar elementos que possam contribuir para facilitar essa superação. Certamente ela não ocorrerá pelo simples fato dos indivíduos irem à escola todos os dias e lá permanecerem algumas horas. Consequentemente, é de fundamental interesse a análise das possibilidades desta instituição na efetivação de potenciais culturais e promotores da cidadania. (ALMEIDA, 2010, p. 12).

No caso particular deste trabalho, com ênfase na produção de sentidos sobre os avanços tecnológicos contemporâneos, enfoco a acessibilidade a conhecimentos referentes ao conjunto N&N a partir de textos de divulgação científica como potencial cultural e promotor da cidadania, considerando ser possível a discussão de questões sociais da ciência e da tecnologia a partir desses textos.

Assim, desenvolvi este trabalho considerando que a física pode ser abordada nos processos de ensino e aprendizagem através da linguagem considerada comum, mesmo sendo construída utilizando-se a linguagem matemática. Dessa forma, considerando as linguagens matemática e comum como duas linguagens diferentes, acredito que, no ensino da física, principalmente no nível básico, a linguagem comum deve exercer função preponderante, não devendo a linguagem matemática ser desprezada neste processo.

Tenho notado, no entanto, que para alguns professores de física, licenciandos e mesmo alguns estudantes do ensino médio, o processo que ocorre na construção dessa ciência é o mesmo que deve ocorrer no seu ensino e na sua aprendizagem: a linguagem matemática passando à frente. Almeida (2004, p. 96) afirma: “no caso da física, [...] na sua construção é fundamental a linguagem formal, a linguagem matemática, mas não é dispensável a linguagem comum. Já para se pensar o ensino dessa disciplina, sem dúvida é a linguagem comum que deve tomar a dianteira [...]”.

Além disso, entendo que o hábito da leitura permite que posicionamentos embasados sejam tomados. Posicionamentos que podem estar associados a questões de política científica, aos avanços tecnológicos e às implicações da ciência e das novas tecnologias na sociedade. Almeida (2004) nota que, após a leitura de um trecho escrito por um cientista, estudantes do ensino médio proferiram discursos que:

[...] mostram estudantes que se posicionam enquanto leitores, estudantes que, aparentemente, não desviaram sua atenção, como ocorre frequentemente em aulas de física, nas quais o uso quase exclusivo de linguagem formal dificulta qualquer posicionamento de quem não compreende essa linguagem. (ALMEIDA, 2004, p. 107).

A leitura no ensino de ciências aliada à introdução e ao funcionamento da divulgação científica em situações de ensino de disciplinas de cunho científico têm sido estudados por pesquisadores da área há vários anos. Numa breve passagem por alguma base de dados ou numa pesquisa em sítios eletrônicos de periódicos da área de ensino de ciências é possível buscar por várias publicações que abordam a questão da leitura e da leitura de textos de divulgação científica no espaço escolar.

Silva (2010) enfatiza os objetivos pretendidos a partir das pesquisas que envolviam a leitura no ensino de ciências:

Vários dos trabalhos sobre leitura e uso de textos no ensino de ciências, incluindo os de “divulgação científica” produzidos a partir de 1990 tinham explícita ou implicitamente a sugestão de que seria favorável para o ensino, para a relação que a escola estabelece entre os sujeitos e as ciências, que se multiplicassem as formas, tipos, gêneros e fontes textuais trabalhados pela escola no âmbito do ensino das ciências para além do livro didático. Essa multiplicação propiciaria que um maior número de alunos se aproximasse das ciências, pois iria ao encontro das suas diferentes histórias de leitura, seus diferentes gostos, diferentes interesses, diferentes relações com a linguagem escrita; possibilitaria ainda trazer para a escola elementos outros das ciências menos frequentes nos conteúdos e linguagens dos livros didáticos, como valores associados à produção científica e tecnológica, assim como temas da produção científica mais atual. (SILVA, 2010, p. 26).

Se o objetivo proposto de compreender o funcionamento de textos de divulgação científica num espaço formal de ensino e aprendizagem for complementado, tendo como foco o aluno e as produções de significados sobre o tema escolhido, poderá possibilitar também a verificação das limitações de tais textos no ensino de ciências, particularmente no de física.

Adoto a divulgação científica como sendo um gênero discursivo diferente daquele como o cientista publica os resultados de suas pesquisas a seus pares. Em relação à física e áreas

correlatas, entendo a divulgação científica como um gênero discursivo que se constitui numa produção textual que quase não se serve da linguagem matemática.

Silva (2010) faz algumas considerações sobre o funcionamento discursivo da divulgação científica, salientando que, além de diferenças textuais, os diversos discursos relacionados às ciências também marcam divergências de valores quanto àquilo que é dito:

[...] “a divulgação científica”, em seu funcionamento discursivo, produz/reproduz/desloca imagens sobre ela mesma (como a de restabelecer ao público por meio da comunicação, o saber do qual foi privado, em sua aparência amável) e sobre dois outros discursos que também remetem às ciências: o escolar (o da pedagogia institucional, o que seria o do saber em sua forma verdadeira) e o “científico propriamente dito” (homogêneo, absoluto, monológico). Discursos esses associados a tipos mais ou menos específicos e distinguíveis (não sem problemas) de textos, como a própria “divulgação científica”, o livro ou manual didático e o artigo científico ou *paper*. Porém, mais que marcar diferenças textuais, marcam diferenças de instituições, de lugares de dizer e de valores e legitimidades sobre o que é dito. Além de dizerem, produzem valores sobre o discurso que veiculam, valores que fazem parte dos processos de leitura, ou seja, das interpretações produzidas sobre eles e, portanto, de suas condições de produção da leitura, já que esses valores irão influenciar a interpretação do que será lido. (SILVA, 2010, p. 31).

Dadas as considerações sobre a leitura no ensino de ciências e sobre o modo como estou adotando a divulgação científica neste estudo, passo a dar ênfase a alguns trabalhos que tiveram a divulgação científica como mote principal.

2.1 A DIVULGAÇÃO CIENTÍFICA EM FOCO

Um dos exemplos de trabalhos publicados na década de 1990 e citado em outros que focalizam a leitura no ensino de ciências é o de Almeida e Ricon (1993). Os autores discutem algumas implicações do uso da divulgação científica e de textos literários em aulas de física e refletem sobre o gosto de um indivíduo pela leitura.

Incentivando a abordagem em sala de aula daquilo com que os estudantes estão acostumados a lidar fora da escola, os autores questionam: “[...] Pode a escola ignorar o que é assunto diário nos meios de comunicação de massa? O ensino pode continuar a se preocupar apenas com a Ciência dos séculos que nos precederam?” (ALMEIDA; RICON, 1993, p. 7). A

esse respeito, a escola precisa privilegiar interações culturais descartando aquelas que tratam a cultura como um simples objeto a ser consumido.

Um processo avaliativo que consiste na verificação da leitura em que apenas algumas das informações contidas no texto são valorizadas, sem se considerar as interpretações dos estudantes, e aquele baseado na memorização de informações, são métodos que atuam como entraves a uma efetiva utilização desse ato como estratégia no ensino de física. Segundo Almeida e Ricon (1993), quando se pretende que o estudante desenvolva gradativamente a compreensibilidade do discurso científico e o gosto pela leitura, torna-se necessário criar situações de controle e cobrança diferentes das que usualmente se presencia nas escolas.

Silva e Kawamura (2001) defendem o potencial dos materiais de divulgação científica como recursos didáticos, enfatizando que eles podem ser usados tanto como elementos motivadores para o conhecimento quanto como seu complemento, além de ressaltarem a possibilidade de discussão de questões sociais da ciência utilizando textos de divulgação científica em sala de aula, argumento em que também me apoio para o desenvolvimento desta pesquisa:

Como se sabe, o impacto das informações veiculadas nos meios de comunicação é muito forte e, mesmo assim, quase nunca os indivíduos questionam a sua veracidade e tampouco refletem sobre as possíveis consequências dessas informações em suas vidas. Levando-se em conta essa constatação, uma aula preparada com esse material pode proporcionar situações ricas de novos significados como: debater notícias, verificar sua veracidade e discutir criticamente suas consequências. (SILVA; KAWAMURA, 2001, p. 318).

Após implantar uma estratégia de ensino desenvolvida em sala de aula, utilizando textos de divulgação científica, os autores apontam que o material representou uma forma de estender o conteúdo trabalhado para além do âmbito usualmente considerado pela física escolar; despertou e contribuiu para a manutenção do interesse dos alunos ao longo do período em que o tema foi trabalhado; e estabeleceu o diálogo em sala de aula entre professor, alunos e conhecimento.

Martins, Nascimento e Abreu (2004) frisam que pesquisadores da área de ensino de ciências no Brasil têm investigado o funcionamento da divulgação científica dentro do ambiente escolar sob diferentes perspectivas. Fora do Brasil, no entanto, eles acentuam a pouca quantidade de trabalhos que focalizam a divulgação científica na escola e que, por estar nos mais variados tipos de mídia e em diversos espaços sociais, como os museus, trata-se um gênero bastante heterogêneo.

Ao analisarem o funcionamento de um texto de divulgação científica em aulas de biologia, os autores notaram a preocupação da professora em aproximar o conteúdo do texto com a realidade dos alunos e concluem que o mesmo funcionou como um elemento estruturador, favorecendo interações sobre o conteúdo abordado:

A leitura do texto e as mediações estabelecidas por professora e alunos permitiram contextos para a aquisição de novas práticas de leitura e desencadearam debates que tiveram alto grau de participação dos alunos. Assim, foi possível estabelecer relações com o cotidiano dos alunos, ampliar seu universo discursivo, e ressaltar aspectos da natureza da prática científica. (MARTINS; NASCIMENTO; ABREU, 2004, p. 108).

Nascimento (2005) procurou articular as categorias epistemológicas de Fleck com o contexto de produção da divulgação científica. Ao relacionar tais categorias com a divulgação científica, a autora comenta que a comunicação *intracoletiva* pode ocorrer por meio das revistas e dos manuais, ou seja, para os pares ou cientistas em formação, numa linguagem que lhes é peculiar; e a comunicação *intercoletiva* pode ocorrer através de livros didáticos e de livros de divulgação científica, abrangendo, portanto, um público mais amplo. Ainda nessa perspectiva, o grupo de produtores de divulgação científica pode ser composto por cientistas e jornalistas, constituindo um círculo esotérico e pelo público de não especialistas, constituindo o círculo exotérico.

Na produção da divulgação científica, a autora salienta que seus produtores procuram adaptar o texto ao público não especializado e, assim:

[...] buscam apresentar novidades científicas e tecnológicas utilizando uma linguagem mais próxima do cotidiano dos leitores não especialistas, de modo que os principais conceitos e fenômenos tornem-se compreensíveis para o círculo exotérico. Observamos, então, que a partir do esforço dos produtores de DC [Divulgação Científica] em adaptar o conhecimento científico para um público leigo, são promovidas transformações no conhecimento científico as quais podem vir a se constituir entraves para a aprendizagem de conceitos na educação formal. (NASCIMENTO, 2005, p. 7).

Ela reconhece problemas de aprendizagem decorrentes do emprego de textos divulgação científica na escola. Neste caso, a autora cita duas possíveis origens para esses problemas, uma delas referente à produção do texto de divulgação científica, aqui, estando relacionada ao processo de adaptação do conhecimento científico para uma linguagem destinada ao público não especializado. Aqui, a tentativa de utilizar uma linguagem mais próxima desse público pode incorrer em transformações no conhecimento científico. E a segunda refere-se à inserção do texto de divulgação científica na sala de aula, quando o aluno entra em contato com o mesmo através

da leitura. Nesse contexto, diferentes sentidos sobre os conceitos científicos podem se estabelecer, estando mais próximos ou mais distantes daqueles considerados corretos pelos especialistas. De maneira geral, em ambos os casos, a aprendizagem de tais conceitos pode ser dificultada devido às mediações realizadas ao longo dos processos de produção do texto de divulgação e de sua leitura.

Zanotello e Almeida (2007) comentam que as aulas de física na escola de nível médio têm se pautado na resolução de exercícios propostos nos livros didáticos e/ou nas apostilas após serem apresentados breves resumos de teorias físicas. Uma desvantagem dessa estratégia é que a história e o desenvolvimento da física acabam sendo excluídos do ensino médio, único momento de contato com esta disciplina para muitas pessoas.

Nessa perspectiva, os autores entendem que novas estratégias de ensino devem ser consideradas no ensino de física sendo, uma alternativa, a leitura e análise de textos e livros de divulgação científica.

Os autores recomendam que, no EM, a estratégia voltada para a resolução de exercícios nas aulas de física seja ao menos mesclada com a formação de uma cultura científica geral com ênfase em leituras, as quais podem contribuir para a aprendizagem de teorias e conceitos das várias áreas do conhecimento.

Pinto (2009) ressalta que os textos de divulgação científica têm sido adotados por alguns professores de ciências, sendo utilizados como motivação tanto para o ensino de conteúdos quanto de processos da ciência.

Segundo o autor, pesquisas recentes sobre o uso da divulgação científica em aulas de ciências apontam as potencialidades do uso desses textos nessas aulas e uma busca por novos padrões de linguagem, já que o discurso da ciência pode ser um elemento dificultador para sua compreensão em sala de aula.

O autor ainda divide as obras de divulgação científica em duas categorias: canônicas e não canônicas. Assim, considera “[...] obras não canônicas aquelas em que a narrativa volta-se, sobretudo, à compreensão dos processos da ciência, do fazer científico e dos dilemas envolvidos na prática da ciência (compreendida como prática sociocultural)”. (PINTO, 2009, p. 2). Já a divulgação científica considerada canônica é aquela cuja linguagem tem atributos particulares, sendo estritamente explícita. Por esta categoria, o autor do texto de divulgação científica vai construindo gradativamente os conceitos, com riqueza de detalhes.

Outra maneira utilizada pelo autor para caracterizar as duas categorias refere-se à dimensão humana presente nos textos. Na divulgação científica não canônica, a perspectiva da existência humana é realçada. Já na canônica, os conceitos são mais valorizados, deixando o texto com um caráter impessoal:

[...] a divulgação científica não canônica centraliza o foco da atenção do leitor nas contradições e conflitos existenciais dos personagens, ao passo que a divulgação científica canônica é impessoal e nela não há personagens específicos, com vida própria, recaindo a narrativa sobre os conceitos. Assim, os sujeitos não aparecem, pois o foco é centralizado na divulgação de conceitos e fatos da ciência. (PINTO, 2009, p. 6).

Nascimento e Rezende Júnior (2010) analisaram a produção sobre divulgação científica na área de ensino de ciências encontrada em três fontes principais: anais de eventos de educação e ensino de ciências, biologia e física; periódicos; e bancos de dissertações e teses da área no período de 1997 a 2007. A análise quantitativa e qualitativa feita pelos autores permitiu traçar um panorama das temáticas que os trabalhos sobre divulgação científica abordaram neste período, bem como estabelecer as principais frentes de análises e os referenciais teóricos adotados nesses trabalhos.

Os autores perceberam o aumento de trabalhos publicados envolvendo a divulgação científica na área de ensino de ciências e, ao mesmo tempo, a escassez de trabalhos publicados analisando as tendências que tais trabalhos vinham assumindo, fato que os levou a mapear a produção sobre divulgação científica nesta área.

No artigo, a divulgação científica é considerada como um gênero do próprio discurso, nesse sentido, ela é resultado de uma atividade discursiva desenvolvida em condições que são diferentes daquelas em que os cientistas divulgam o resultado de suas pesquisas aos seus pares, materializando-se em diferentes tipos de texto:

Com relação propriamente ao referencial de escolha e seleção de trabalhos sobre DC [Divulgação Científica], nos baseamos no seu conceito discursivo o qual considera a DC como um gênero de discurso próprio. Consideramos que a DC não é uma simples tradução de conhecimentos científicos que seriam adaptados a um público que não domina determinados conceitos e procedimentos próprios da ciência. [...] Assim, entendemos nesse estudo que a DC consiste no resultado de uma atividade discursiva que se desenvolve em condições de produção inteiramente diferentes daquelas em que o conhecimento científico é produzido pelos cientistas. Ao compreender que a DC constitui-se como um gênero do discurso específico estamos, por coerência teórica, assumindo sua materialização em diferentes gêneros textuais. (NASCIMENTO; REZENDE JÚNIOR, 2010, p. 99).

Em relação à análise dos conceitos de divulgação científica dos trabalhos publicados nas atas dos eventos de ensino, os autores perceberam a ausência de um conceito bem definido de divulgação científica, sendo utilizadas características dos próprios textos como sendo definidoras deste gênero textual.

Ao final, os autores reconhecem a necessidade da ampliação de estudos teóricos sobre a divulgação científica e apontam como equívoco considerar a inserção da divulgação científica na escola como único responsável por melhorias nos processos de ensino e aprendizagem, destacando o papel do professor em ações de mediação:

[...] necessidade de desnaturalizarmos a visão de que o mero emprego de TDC [Textos de Divulgação Científica] (em negação ao uso do livro didático) será responsável pela melhoria do ensino e da aprendizagem. A constituição de um discurso polêmico que propicie uma riqueza de interpretações e estimule a concretização de diferentes habilidades de leitura dos alunos não pode ser tido como sendo automático devido a simples inserção de textos alternativos, como são os de DC. Nesse sentido, devemos destacar o papel essencial do professor enquanto mediador discursivo em atividades pedagógicas que envolvam TDC, uma vez que estes não foram produzidos com a função de servirem ao ensino formal. (NASCIMENTO; REZENDE JÚNIOR, 2010, p. 116).

Perticarrari *et al.* (2010) afirmam que uma das fontes para uma boa aprendizagem e que pode ser explorada pelos professores é o texto de divulgação científica. No entanto, entendem que, ao utilizarem-se da leitura e interpretação da divulgação científica em sala de aula, o texto não é suficiente para garantir uma aprendizagem significativa. O professor cumpre papel fundamental na relação do aluno com o texto, promovendo articulações e conduzindo os alunos a uma efetiva aprendizagem. O professor, portanto, como mediador, é um agente ativo no processo educacional e deve atuar como um estimulador do pensamento e de atitudes criativas.

Os autores enfatizam a grande responsabilidade dada ao livro didático no ambiente escolar, livros que, na maioria das vezes, abordam os assuntos de forma independente, fazendo com que o assunto abordado seja apresentado ao aluno de maneira fragmentada, por um lado, criando barreiras que dificultam a capacidade de síntese, análise, posicionamentos e, por outro, favorecendo somente a memorização de conceitos e definições.

Ferreira e Queiroz (2012), através de revisão bibliográfica, tiveram como objetivo identificar e analisar as principais características das pesquisas que relacionam textos de divulgação científica e o ensino de ciências. Para isso, foram buscados trabalhos em duas fontes principais: atas do ENPEC e artigos completos publicados em periódicos. Para a identificação

dos dados foi utilizado como principal apoio teórico-metodológico a pesquisa qualitativa do tipo análise de conteúdo.

As autoras comentam que, no Brasil, a preocupação com o potencial educacional de materiais que abordam a ciência e que são publicados em jornais e revistas não é recente. Além disso, preocupam-se em delinear bem o que estão chamando de divulgação científica:

Nessa perspectiva, este trabalho se propõe a refletir sobre a leitura de TDC, aqui entendidos como textos direcionados a um público não científico. [...] Trata-se de textos que resultam de uma atividade discursiva que se desenvolve em condições de produção distintas daquelas em que os cientistas produzem o conhecimento científico [...] entendemos que o discurso da divulgação científica (DC) pode ser caracterizado com base nos três elementos essenciais de qualquer gênero do discurso: o tema, o estilo e a composição. Com relação ao tema, o discurso da DC veicula conteúdos próprios à temática científica e engloba temas sobre “ciência e tecnologia” de forma mais abrangente. No que diz respeito ao estilo, por ser dirigido a um destinatário leigo, o discurso da DC deve dispensar a linguagem esotérica (compreensível apenas por poucos, nesse caso apenas por cientistas) exigida pelo discurso científico preparado por e para especialistas e abrir-se para o emprego de simplificações. No aspecto composicional, as suas formas de estruturação põem em funcionamento procedimentos discursivos diversos, como a recuperação de conhecimentos tácitos, a segmentação da informação, fórmulas de envolvimento, a presença de procedimentos explicativos, busca de credibilidade e a interlocução direta com o leitor. (FERREIRA; QUEIROZ, 2012, p. 4).

Há a concordância de que diferentes disciplinas escolares devem promover atividades que permitam aos alunos o aumento gradativo da capacidade de compreensão dos materiais lidos, com desenvolvimento do gosto pela leitura.

A partir da análise dos trabalhos localizados, as autoras perceberam que um grande desafio relacionado à divulgação científica reside na tarefa, considerada difícil, de fazer a transposição dos conhecimentos científicos para um público constituído de não cientistas. Neste caso, importa que o professor ao usar os textos se preocupe em fazer uma leitura crítica, bem como as articulações necessárias para que as atividades propostas sejam bem sucedidas.

Outro desafio que elas constataram a partir dos resultados de alguns trabalhos refere-se à ausência de aprofundamento e especificidade no texto que podem gerar deslizos e incorrer em erros de interpretação conceitual. Tal desafio foi detectado principalmente pelas observações de que autores com diferentes formações acadêmicas passaram a escrever sobre temas de ciências e do aumento da quantidade de jornais que apresentam seções específicas destinadas à divulgação de notícias com conteúdos científicos.

São ressaltados alguns fatores condicionantes referentes ao uso dos textos de divulgação científica no espaço escolar, fatores que devem ser considerados quando objetiva-se a produção de sentidos sobre determinado conteúdo utilizando-se essa estratégia:

[...] a função primordial da abrangência dos TDC não consiste em fantasiar os conceitos ou fenômenos, ou apenas motivar a curiosidade dos alunos, mas de recuperar significados mais amplos e diversificados para o ensino; o processo de reelaboração ao qual é submetido o TDC para uso em sala de aula não garante que o aluno tenha acesso a conhecimentos científicos mais adequados e não redime a necessária leitura crítica que deve ser empreendida pelo professor; deve ser preservado o espaço dedicado à ciência no TDC, pois é nele que o estudante vai se aproximar da linguagem científica, ou seja, a formação discursiva da ciência é que deve ser a orientadora da produção de TDC, pois são os parâmetros da ciência que irão determinar certa forma de olhar o mundo, expressa, entre outros elementos, pela linguagem científica; tendo em vista estabelecer as necessárias relações entre ciência, tecnologia e sociedade, deverá ser tomado o cuidado em selecionar o material pertinente à realidade escolar, e não fatos sensacionalistas, de modo que resulte em um trabalho interdisciplinar e atrativo para os estudantes; os TDC não só podem ser usados com diferentes intenções e objetivos, como também funcionarão de diferentes modos, conforme a atividade escolhida, o contexto das interações, a história de vida e leitura dos alunos e o trabalho sobre suas expectativas. (FERREIRA; QUEIROZ, 2010, p. 14).

As autoras evidenciam resultados de que os textos de divulgação científica podem favorecer a compreensão de conteúdos conceituais, além de proporcionarem a criação de situações em que foram produzidos sentidos que não costumavam estar presentes em sala de aula de ciências.

Quanto às pesquisas que relacionaram a divulgação científica e a formação de professores, os resultados mostraram que práticas e hábitos de leitura não são uma constante entre os professores. Portanto, foi recomendada a utilização de textos diferenciados em sala de aula para servir como motivação ao questionamento de práticas tradicionais, levando a uma percepção diferenciada e a necessidade de estruturação de novas práticas. As autoras também verificaram poucas considerações sobre o uso dos textos de divulgação científica nos cursos de formação de professores e por professores universitários em suas práticas pedagógicas.

Por fim, elas analisam o aumento significativo, no Brasil, de pesquisas e divulgação de resultados envolvendo a divulgação científica na área de ensino de ciências, com destaque para a área de física, ao mesmo tempo percebendo a escassez de pesquisas teóricas envolvendo esta temática e ressaltam que importantes contribuições podem ser levadas para a escola a partir de investigações sobre o funcionamento de textos de divulgação científica.

2.2 A LEITURA EM AULAS DE FÍSICA

A leitura feita em aulas de física muitas vezes é pautada somente no texto do livro didático, que traz o capítulo referente ao conteúdo abordado. É fato que os livros didáticos impressos atualmente apresentam textos que abordam aspectos de divulgação e natureza da ciência, no entanto a leitura do capítulo e de tais textos é feita, quase sempre, quando o estudante julga pertinente, restringindo-se, em quase todas as aulas de física, às definições e ao enunciado de exercícios que solicitam aplicação de fórmulas para suas resoluções.

Almeida (2010) ressalta as expectativas com relação aos estudantes em aulas de física e a ênfase dada à linguagem formal durante essas aulas, com utilização da linguagem comum somente como guias para que os alunos executem atividades:

Entre as expectativas com relação aos estudantes, está a de que eles saibam ler, mas uma leitura com sentido único, compreendida como meio de estudo de um conteúdo a ser assimilado. Espera-se também que o estudante memorize conceitos e definições; estas e aqueles, pensados como meio necessário e, frequentemente, suficiente para compreensão do mundo em que se vive. Espera-se ainda que ele opere com linguagens formais, como a matemática, considerada como ferramenta, cujo manuseio, nem sempre compreendido, possibilita a realização de atividades julgadas muitas vezes como única condição para um bom aprendizado. É o que ocorre na maioria das aulas em que a atividade dos estudantes se resume quase exclusivamente a resolver questões de múltipla escolha e/ou solucionar problemas, que quase sempre são apenas exercícios repetitivos, e muitas vezes incompreendidos. Nessas aulas, ler constitui-se apenas um meio para que os estudantes possam realizar outras atividades. (ALMEIDA, 2010, p.13).

A mesma autora menciona que o discurso científico que chega à escola diferencia-se do modo como a ciência é produzida e, nessa perspectiva, aponta possibilidades para que a divulgação científica funcione em situações escolares, considerando que o discurso de divulgação científica, “[...] embora não seja o mesmo da ciência como é produzida, nela está focalizado”. (ALMEIDA, 2010, p. 13).

Sendo assim, entendo que a divulgação científica possibilita a abordagem de aspectos do discurso científico como é tratado em ambientes acadêmicos, além de permitir que a historicidade do fazer científico seja trabalhada em sala de aula, conseqüentemente, favorecendo a compreensão da ciência como construção humana.

Almeida (2010) cita características adicionais presentes em grande parte dos textos de divulgação científica que motivam e ajudam a justificar a sua inserção em aulas de física no EM. Segundo a autora, um texto de divulgação científica:

[...] apresenta uma linguagem relativamente próxima à linguagem de quem frequenta a escola, à linguagem cotidiana do estudante; em muitos deles a linguagem se aproxima da linguagem literária, ainda que parcialmente; muitos incluem textos em quadrinhos e/ou comentários humorísticos; de muitos deles fazem parte aspectos da biografia dos cientistas que produziram os conhecimentos a que estão se referindo e/ou fatos históricos associados à produção daqueles conhecimentos; outros incluem não só o conhecimento em si e aspectos da sua produção, mas também algumas de suas consequências para a sociedade, ou mesmo apontam que fatos sociais contribuíram para a produção do conhecimento científico a que se referem. (ALMEIDA, 2010, p. 21-22).

Como declarado, apesar de alguns livros didáticos e apostilas apresentarem textos de divulgação científica com as características supracitadas em suas páginas, muitas vezes sua leitura fica destinada à vontade dos alunos, sendo recomendada para que seja feita extraclasse, sendo os conteúdos encarados como curiosidades, sem o devido trabalho com os referidos textos.

Acredito, no entanto, que os textos de divulgação científica constituem-se em recursos cujas potencialidades devem ser analisadas em contextos formais de ensino, na tentativa de provocar nos alunos o gosto pelos estudos, pela busca de informações e pela leitura.

2.3 CONTROVÉRSIAS NAS AULAS DE CIÊNCIAS NATURAIS

Considerando que as possíveis aplicações e implicações da nanotecnologia fomentam posições controversas entre cientistas, além de ter escolhido inserir conteúdos de nanociência e nanotecnologia em sala de aula a partir de textos de divulgação científica, outra estratégia escolhida para essa inserção foi a abordagem da temática a partir de textos que enfocam a produção e o uso das nanopartículas de forma controversa.

Costa, Hughes e Pinch (1998) entendem que os conhecimentos gerados pela prática científica podem ser melhor assimilados pelos estudantes quando a ciência é ensinada como um processo social. Apresentam também duas abordagens que, para eles, podem ajudar os estudantes a entenderem o conhecimento científico como resultado de observações e discussões acerca de

suas interpretações e não como se estivessem prontos para serem descobertos: o estudo de controvérsias e a escrita científica.

Dentre as justificativas para a inserção de posições controversas nas aulas de ciências, os autores defendem que elas revelam um lado da ciência mais humano, e menos claro e óbvio, que permite reconhecer as reais práticas científicas. Também apontam que as controvérsias permitem que os estudantes reconheçam a ciência como um processo ativo, ao mesmo tempo em que não é fechada e determinada por possibilidades definidas e restritas.

Ao advogarem sobre o estudo de controvérsias contemporâneas, os autores afirmam que essa abordagem permite que os estudantes conheçam a ciência em processo de construção, possibilitando a visualização de dados coletados hodiernamente e, com isso, a obtenção de um entendimento mais aprofundado sobre o conhecimento científico. Acreditam, ainda, na possibilidade de que os estudantes apreciem o papel social na construção da ciência quando lhes for dada oportunidade de opinarem/debaterem sobre assuntos controversos.

Em relação ao processo de aprendizagem pela escrita, eles propõem que os estudantes, após atividades práticas, escrevam uma versão formal e uma informal sobre os relatos. Enquanto a primeira seguiria o padrão normal de relatórios, na segunda constariam os pontos fracos e as possíveis falhas ocorridas. Propõem também que sejam feitas comparações, apontamentos e realces das diferenças entre ambos. Nesse sentido, também estimulam a apreciação, pelos estudantes, do processo de construção do conhecimento científico.

Oulton, Dillon e Grace (2004) salientam que, embora alguns embates tenham como base a ciência, muitas vezes estão vinculados a preocupações sociais, políticas e econômicas, e recomendam que a natureza das questões controversas na ciência deve ser considerada durante seu ensino, admitindo, dentre outros aspectos, que diferentes interpretações podem ocorrer por causa de diferentes caminhos que os indivíduos ou grupos concebem ou veem o mundo.

Eles concordam que devem formar cidadãos que sejam capazes de se envolver com questões controversas. Nesse caso, os estudantes devem conhecer as múltiplas perspectivas que levaram os indivíduos a tomar posições diferenciadas, dessa forma, favorecendo o entendimento da natureza da controvérsia. No entanto, entendem que nem sempre pode ser exigido que os estudantes formem opiniões com uma abordagem curta das controvérsias. Segundo eles, seria desleal a exigência de que os alunos escolham ou decidam algo que os especialistas ainda discutem.

Os autores, enfatizando que os alunos são os cidadãos de hoje e de amanhã, ainda apontam algumas funções do ensino de ciências, dentre as quais, estimular os alunos a reconhecerem a natureza provisória do conhecimento científico.

Ramos e Silva (2007) supõem que o aumento de publicações que focalizam as críticas ao conhecimento científico, principalmente a partir dos anos 1970, deve-se às controvérsias provenientes do emprego de conhecimentos oriundos de campos científicos e tecnológicos, até então considerados benéficos e seguros, bem como ao aumento da dedicação de diversas mídias a questões controversas da ciência e da tecnologia.

Com relação ao ensino, os autores defendem que uma importante contribuição das controvérsias refere-se ao acesso a variados pontos de vista dos cientistas durante a produção do conhecimento. Eles ainda defendem a inserção de estudos de controvérsias em sala de aula alegando que elas podem provocar uma visão diferenciada sobre ciência e tecnologia:

[...] um esforço de inserção destes estudos em salas de aulas de ciências pode significar alguns avanços na busca da construção de uma visão diferenciada de C&T [Ciência e Tecnologia] por parte dos estudantes. Uma abordagem das controvérsias [...] pode ajudar a problematizar ideias de neutralidade, objetividade e imutabilidade dos conhecimentos científicos. (RAMOS; SILVA, 2007, p. 3).

Para os autores, a formação científica do estudante brasileiro reforça a perspectiva positivista da ciência (e da tecnologia), pela qual atividades passam a ser percebidas como objetivas e neutras, com as quais os cientistas são capazes de construir um conhecimento verdadeiro, descrevendo a realidade tal como ela é, baseando-se em evidências e desconsiderando-se suas crenças e valores.

A perspectiva positivista, no entanto, não exprime as influências que a ciência e a tecnologia sofrem pela sociedade. Nesse caso, considerando que a ciência está enraizada na sociedade, as controvérsias científicas e tecnológicas, para os autores são, na realidade, sociais, o que não quer dizer que essas mesmas controvérsias comportem outros autores, que não os cientistas. No artigo, ainda é evidenciado que decisões tomadas por qualquer pessoa na esfera individual podem abranger ideias ainda em discussão na esfera acadêmica. Suponho que, nesse caso, a decisão pode configurar-se como a tomada de um ponto de vista ou o desconhecimento deles.

Os autores incentivam a introdução das controvérsias na sala de aula baseando-se, também, no caráter dinâmico e histórico com que ciência e tecnologia se desenvolvem/avançam/aperfeiçoam:

As análises de situações de controvérsias científicas oferecem a sustentação para a ideia de que os conhecimentos científicos, para além de um conjunto de corpos teóricos estabilizados e aceitos pela comunidade científica, estão sempre, sempre em debate, regidos por mecanismos de regulação pouco “assumidos”, ou mesmo percebidos pela própria comunidade científica. (RAMOS; SILVA, 2007, p. 6).

No entanto, a inserção de controvérsias científicas e tecnológicas não tem como objetivo somente a aprendizagem do conteúdo abordado. Mais que isso, visa à “[...] capacitação dos estudantes para tomadas de decisões em suas vidas cotidianas em questões e situações que envolvam ciência e tecnologia [...]” (RAMOS; SILVA, 2007, p. 8). Nesse sentido, o trabalho em aulas de ciências naturais com questões controversas pode abranger questões éticas e morais, estimulando o pensamento crítico do estudante.

Eles ainda notam a separação existente entre o trabalho técnico-científico e a sociedade, ressaltando que, nessa relação:

[...] muitas vezes, os trabalhos dos especialistas são tidos como autônomos e livres de influências públicas, o que contribui para conformar um sentimento de passividade perante as questões técnico-científicas, por parte do público leigo, por parte dos estudantes. (RAMOS; SILVA, 2007, p. 13).

Além das possíveis contribuições para a introdução das controvérsias na sala de aula, ao final, os autores apontam alguns fatores de limitação, dentre os quais a importância de estudos aprofundados sobre o tema e os variados pontos de vista, de tal forma que não seja simplificado aquilo que é complexo e, assim, criando barreiras para os objetivos que se pretende chegar com o estudo das controvérsias.

Entendo que a abordagem de questões controversas em sala de aula possibilita que os alunos entrem em contato com variados argumentos publicados por pesquisadores/cientistas, podendo contribuir para que os estudantes percebam o surgimento e existência de embates teóricos, prevalecendo algumas ideias, ainda que as contrárias não sejam desconsideradas. Além disso, oferece meios para que eles tomem posicionamentos ao debater essas questões, tomada de posicionamentos que pode ser favorecida quando pontos de vista diferenciados são apresentados.

3 APOIO TEÓRICO-METODOLÓGICO E CONDIÇÕES DE PRODUÇÃO DA PESQUISA

3.1 A ANÁLISE DO DISCURSO: ALGUMAS CONSIDERAÇÕES

O apoio teórico escolhido para a análise dos dados que compõem esta dissertação foi a análise do discurso – AD – a partir de textos de Eni P. Orlandi publicados no Brasil, na vertente iniciada na França por Michel Pêcheux, na década de 60 do século XX. Na AD questões possíveis que o analista faz são: ‘como este texto quer dizer? como ele significa?’.

Orlandi (2012, p. 15) enfatiza que, como indicado no título, a AD trata do discurso. “[...] E a palavra discurso, etimologicamente, tem em si a ideia de curso, de percurso, de correr por, de movimento. O discurso é assim palavra em movimento, prática de linguagem: com o estudo do discurso observa-se o homem falando”.

De acordo com este apoio teórico, a linguagem é considerada como sendo não transparente. Isto quer dizer que a mesma palavra pode ser interpretada de diferentes formas por diferentes sujeitos (falantes/leitores/ouvintes). De outra forma, a uma mesma palavra podem ser atribuídos diferentes significados, dependendo de quem fala/lê/ouve e a quem se dirige, ainda que essa palavra não admita quaisquer sentidos. A linguagem também é considerada como fruto do trabalho/mediação entre homens, possuindo um caráter necessário, constituindo-se numa produção social. (ORLANDI, 1996b).

Se a marca da linguagem é social, então processos histórico-sociais devem ser considerados em sua constituição. Orlandi (1996b) observa que, por tratar-se de processos histórico-sociais, a sociedade não é considerada um dado, nem a linguagem um produto. O discurso é, então, efeito de sentido entre interlocutores, sendo que seu sentido é constituído pelas condições de produção (quem eram os interlocutores, onde estavam, em que processo histórico-social estavam inseridos).

Dessa forma, não há separação entre emissor, receptor e decodificação da mensagem: as posições se alternam e o processo não é estanque, havendo uma contínua produção de sentidos

pelos sujeitos. Esta noção de discurso “[...] acolhe o jogo entre o estabilizado e o sujeito a equívoco”. (ORLANDI, 1998, p. 11).

A mesma autora, ao considerar o sujeito enunciador como aquele que já está imerso num meio social e não fora dele, pontua que o discurso, tal como considerado nesta vertente teórica, é um “[...] lugar de falha, de equívoco, do trabalho do inconsciente e da ideologia: espaço de interpretação. Ideologia não se aprende, inconsciente não se controla com o saber. Eis o homem, ou melhor, o sujeito, posto na ordem dos efeitos do simbólico e da história”. (ORLANDI, 1998, p. 11). Sendo assim, a AD recusa o sujeito enunciador sem história, individual e admite que ele não possui controle sobre a linguagem, decorrendo que, em todo dizer, uma parte fica inacessível a este sujeito.

Para fazer sentido, o discurso usualmente pertence a uma determinada formação discursiva, o que implica uma retomada do já-dito pelo interlocutor, que deixa de ser a fonte única do discurso, ou seja, aquilo que pode e deve ser dito a partir de uma determinada posição é determinado por uma formação discursiva, sendo que as palavras podem mudar de sentido ao circularem por formações discursivas diferentes. Dessa forma, as palavras não têm sentidos em si mesmas, seus sentidos provêm das formações discursivas a que se filiam.

Como exemplo, cito a palavra ‘massa’. Seu significado pode ser diferente para um físico e para um padeiro. Dependendo das condições de produção em que for empregada, seus sentidos serão variados, sendo derivados das diferentes formações discursivas nas quais fora inscrita, ou seja, os sentidos atribuídos dependerão da posição do sujeito e da inscrição daquilo que ele diz em uma determinada formação discursiva. Nessa vertente da AD, ao considerar a não transparência da linguagem e a existência de diferentes formações discursivas, a mesma palavra pode significar diferentemente, mesmo sendo utilizada por sujeitos na mesma língua.

Na AD, o já-dito funciona como o interdiscurso. É o interdiscurso que sustenta cada palavra mencionada, um saber que torna possível o dizer. Orlandi (1998) conceitua este termo, remetendo-o também à noção de memória discursiva:

Em sua definição, o interdiscurso é o já-dito que sustenta a possibilidade mesma de dizer: conjunto do dizível que torna possível o dizer e que reside no fato de que algo fala antes, em algum outro lugar. Toda vez que falamos, para que nossas palavras tenham sentido, é preciso que já tenham sentido. Esse efeito é produzido pela relação com o interdiscurso, a memória discursiva: conjunto de dizeres já ditos e esquecidos que determinam o que dizemos. (ORLANDI, 1998, p. 9).

Se consideradas as condições de produção do enunciado, os sentidos são determinados pelo interdiscurso, pela memória discursiva e não somente pelas condições de produção imediatas. (ORLANDI, 1998).

Isso permite uma reflexão sobre o modo como eu ministrava aulas de física. Frequentemente ensinava partindo do pressuposto de que aquilo que dizia, as palavras mencionadas, tinha um único significado e que todos os alunos que me ouviam, seriam capazes de entender exatamente como eu estava explicando. No entanto, se considerado o interdiscurso, concluo que cada aluno fazia (ou não) suas próprias associações, de acordo com suas memórias.

É relevante, também, considerar a ideologia, outra noção de grande importância nesta vertente da AD. O sujeito sempre retoma palavras já existentes como se a origem do discurso fosse ele. Na realidade, o que ocorre é a ilusão dele estar na origem do que diz quando ele menciona sentidos já existentes. Se o sujeito retoma sentidos já existentes, o que lhe faz parecer ser a origem dos sentidos que produz é a ideologia, do que decorre que “[...] não há discurso sem sujeito nem sujeito sem ideologia”. (ORLANDI, 1998, p. 13).

Orlandi (1994) ao frisar que a AD se constitui na relação das ciências sociais com a linguística, traz importantes reflexões sobre a ideologia, ressaltando que ela “[...] é vista como o imaginário que medeia a relação do sujeito com suas condições de preexistência. [...] A ideologia é, pois, constitutiva da relação do mundo com a linguagem, ou melhor, ela é condição para essa relação”. (ORLANDI, 1994, p. 56).

No mesmo texto, a autora afirma que a ideologia atua na produção de sentidos e que, na AD:

[...] se trabalha com os processos de constituição da linguagem e da ideologia e não com seus “conteúdos”. A ideologia não é “x”, mas o mecanismo de produzir “x”. No espaço que vai da constituição dos sentidos (o interdiscurso) à sua formulação (o intradiscurso) intervêm a ideologia e os efeitos imaginários. [...] É a ideologia que produz o efeito da evidência, e da unidade, sustentando-se sobre o já-dito, os sentidos institucionalizados, admitidos como “naturais”. Pela ideologia se naturaliza o que é produzido pela história [...] Ela não é [...] ocultação mas função necessária entre linguagem e mundo. (ORLANDI, 1994, p. 56-57).

Em outro texto, procurando compreender a questão ideológica inscrita na interpretação e o modo como os textos produzem sentidos, Orlandi (2007, p. 65) afirma que a ideologia “[...] será então percebida como o processo de produção de um imaginário, isto é, produção de uma

interpretação particular que apareceria, no entanto, como a interpretação necessária e que atribui sentidos fixos às palavras, em um contexto histórico dado”.

E, retomando a noção de formação discursiva, cabe ressaltar que a mesma faz parte de uma formação ideológica, que por sua vez, pode abranger múltiplas formações discursivas. Ou seja, todo discurso filia-se a uma formação discursiva e esta, por sua vez, insere-se em alguma formação ideológica.

Busquei o conceito de formação ideológica em Pêcheux e Fuchs (1990), os quais a consideram como “[...] um conjunto complexo de atitudes e de representações que não são nem ‘individuais’ nem ‘universais’ mas se relacionam mais ou menos diretamente a *posições de classe* em conflito umas com as outras.” (PÊCHEUX; FUCHS, 1990, p. 166, grifo dos autores).

3.1.1 Distinção entre discursos

Ainda de acordo com este apoio teórico, levando-se em conta a relação entre o objeto do discurso e os interlocutores, as condições de produção imediatas, o discurso pode ser dividido sob três esferas: o discurso lúdico, o discurso polêmico e o discurso autoritário.

Para a diferenciação entre esses discursos, é necessário considerar a paráfrase e a polissemia, processos que se articulam na produção da linguagem, estruturando seu funcionamento. Enquanto na paráfrase (mesmo), há uma manutenção de sentidos, na polissemia (diferente), há sua resignificação.

Orlandi (1996b) expõe sobre ambos os processos:

[...] de um lado, há um retorno constante a um mesmo dizer sedimentado – a paráfrase – e, de outro, há no texto uma tensão que aponta para o rompimento. Esta é uma manifestação da relação entre o homem e o mundo (a natureza, a sociedade, o outro), manifestação da prática e do referente na linguagem. Há um conflito entre o que é garantido e o que tem de se garantir. A polissemia é essa força na linguagem que desloca o mesmo, o garantido, o sedimentado. Essa é a tensão básica do discurso [...] o conflito entre [...] a paráfrase e a polissemia. (ORLANDI, 1996b, p. 27).

Considerando tais processos, Orlandi (1996a) diferencia os tipos de discurso da seguinte forma: o discurso lúdico é aquele em que o objeto se mantém presente e os interlocutores participam desta presença gerando a polissemia aberta. No discurso polêmico é mantida a

presença do objeto sem que os interlocutores se exponham a essa presença, dando-lhe uma direção. Neste caso, a polissemia é dita controlada. No discurso autoritário, no entanto, tanto o objeto como os interlocutores estão ocultos, provocando a polissemia contida.

Essa tipologia de discursos, ao diferenciá-los, não caracteriza o sujeito, mas o modo de funcionamento do discurso. Dessa forma, o lúdico não deve remeter a interlocutores engraçados/divertidos, assim como o autoritário não deve remeter a interlocutores rígidos. Também é importante a consideração de que não há discursos que sejam unicamente autoritários, lúdicos ou polêmicos. Há misturas/associações em que há dominância de um discurso em relação ao outro.

Segundo Orlandi (1996b), o discurso pedagógico, sem um sujeito estabelecido, na medida em que qualquer um poderia ser seu sujeito, configura-se como um discurso autoritário, portanto sem neutralidade. Tal como ele se apresenta, o discurso pedagógico aparece como um discurso de poder, ocasionando um discurso individualizado. Neste caso, a questão que cria o movimento daquilo que se deve saber é feita de forma imperativa fazendo com que o ato de ensinar apareça como o ato de inculcar. Orlandi (1996a) aponta três fatores que caracterizam este último ato:

- a) As leis do discurso, tais como o interesse (o outro precisa interessar sobre o que está sendo-lhe dito), a utilidade (há utilidade em falar) e a informatividade (o outro deve desconhecer o fato para que haja informação), são quebradas.

Exemplificando, a mesma autora afirma que existe regulamentação (mantida, neste caso) para as categorias de atos de fala somadas às leis do discurso mencionadas acima:

Por exemplo, para ordenar, exige-se uma certa relação hierárquica entre quem ordena e quem obedece; para interrogar, há também a exigência de certas condições, e o direito de interrogar, exercido por uma autoridade, converte-se em poder de ordenar e, logo, não pode ser atribuído indistintamente. (ORLANDI, 1996a, p. 18).

- b) As razões em torno do objeto do discurso reduzem-se ao “é porque é”, de onde aparecem as definições fixadas, com conclusões direcionadas.
- c) O discurso pedagógico estabelece-se científico. Cada coisa é posta em seu lugar, produzindo recortes/fragmentações que levam a processos de especialização. O saber sendo apresentado sob a égide científica torna-se institucionalizado, valorizado e considerado legítimo. O professor, então, assume a posição de cientista passando a ser o detentor do conhecimento científico. Sob essa perspectiva, Orlandi (1996a) complementa:

Poderíamos, então, perguntar: o que é o aluno e o que é o professor? O aluno é [...] o que não sabe e está na escola para aprender [...] e o professor é [...] aquele que possui o saber e está na escola para ensinar [...]. É assim que se “resolve” a lei da informatividade e, de mistura, a do interesse e utilidade: a fala do professor informa e, logo, tem interesse e utilidade. O professor *diz que* e, logo, *sabe que*, o que autoriza o aluno, a partir de seu contato com o professor, a dizer que sabe, isto é, ele aprendeu. (ORLANDI, 1996a, p. 21).

Nesse processo de apropriação do cientista pelo professor, tudo aquilo que este último diz transforma-se em conhecimento e os comportamentos desenvolvidos a partir da fixação do professor como autoridade e do aluno como tutelado “[...] podem variar desde o autoritarismo mais exacerbado ao paternalismo mais doce”. (ORLANDI, 1996b, p. 31).

A mesma autora (ORLANDI, 1996b) propõe que o discurso pedagógico passe de autoritário a polêmico. Nesse caso, a polissemia deve ser controlada. Ela não deve ser aberta porque o discurso pedagógico também não pode ser classificado como um discurso lúdico, ou seja, o aluno deve continuar na posição-aluno e o professor na posição-professor, pois se corre o risco de haver uma inversão de posições.

Para proporcionar o discurso polêmico na escola, enquanto professor, posso construir meu próprio discurso, expondo-me à interpretação do outro: o aluno, o ouvinte. Assim, proporciono o espaço que lhe falta no discurso autoritário e me coloco também como ouvinte. Enquanto professor, nessa posição, ouço o outro, aquele que interpretou o que eu disse, e posso me ouvir.

Nesse mesmo caminho, ao aluno é dada a oportunidade de criticar/concordar/discordar. Ele é ouvinte e pode se colocar como autor, “[...] princípio de agrupamento do discurso, unidade e origem de suas significações, o que o coloca como responsável pelo texto que produz”. (ORLANDI, 1998, p. 13). Nesse movimento, ele desloca-se da posição de aprisionamento (im)posta pelo discurso autoritário. Enquanto esse discurso não permite que o ouvinte seja o produtor da linguagem, que “[...] se representa na origem, produzindo um texto com unidade, coerência, progressão, não-contradição e fim” (ORLANDI, 2007, p. 69), no discurso polêmico, esse ouvinte tem a possibilidade de não se estagnar nesta posição. Uma dinâmica característica e necessária nesse discurso.

Dadas essas considerações, pondero que um trabalho que incentive reflexões e permita posicionamentos no ensino de física a partir da leitura de textos de divulgação científica pode facilitar/proporcionar o discurso polêmico em sala de aula, sendo relevante a mediação do professor.

3.1.2 Modos de repetição

Quando ao aluno é dada a possibilidade da autoria, ou melhor, quando a escola cria tais condições, inicia-se o processo de produção de significados e, portanto, da aprendizagem (mesmo que com equívocos), pois pela autoria, “[...] o autor consegue formular no interior do formulável e se constituir, com seu enunciado, numa história de formulações”. (ORLANDI, 1998, p. 13).

Em outras palavras, a autoria é tocada pela história. O autor historiciza seu dizer remetendo-se à memória discursiva e, dessa forma, retoma o já-dito, portanto, desencadeando um processo de repetição. A esse respeito, Orlandi (1998) menciona que:

[...] é impossível ao autor evitar a repetição já que sem ela seu enunciado não faria sentido, não seria interpretável. Ele tem pois de se inscrever no repetível. [...] A repetição é assim, para o autor, parte da história e não mero exercício mnemônico. Inscrevendo sua formulação no interdiscurso, na memória do dizer, o autor assume sua posição de autoria, produzindo um evento interpretativo, ou seja, o que faz sentido. (ORLANDI, 1998, p. 13).

A partir das considerações acima, a autora distingue três modos de repetição, havendo a possibilidade de deslocamento/movimento/trânsito entre eles:

- 1) **Repetição empírica:** exercício mnemônico que não historiciza o dizer. No discurso falado seria aquele que o sujeito decora para dizer e, no discurso escrito, seria aquele que o sujeito copia da mesma forma como está escrito no texto.
- 2) **Repetição formal:** técnica de produzir frases, exercício gramatical que também não historiciza.
- 3) **Repetição histórica:** formulação que produz um dizer no meio dos outros, inscrevendo o que se diz na memória constitutiva, deslizamentos em relação ao já-dito.

Com esta distinção, a repetição histórica é aquela na qual há a formulação do discurso, segundo o princípio da autoria, tocado pela história e isso permite concluir que a aprendizagem mais desejável se dá com esta modalidade de repetição. Aprendizagem, neste estudo, tratada como sendo de vários conteúdos e não somente o de física. Por outro lado, a repetição empírica não é de todo desvantajosa, pois se o sujeito a utiliza, se ele copia parte do texto como resposta a uma questão e aquilo que é considerado correto é o que ele copiou, houve um trabalho sobre o texto e, portanto, o sujeito copiou porque selecionou aquela parte do texto. Na repetição formal

tem-se o modo intermediário entre a empírica e a histórica, de forma que o discurso é proferido de acordo com a formulação de frases. Numa aula, seria o “dizer com suas próprias palavras”.

Conforme Orlandi (1998), a aprendizagem está no deslocamento/movimento/trânsito entre os modos de repetição, ou seja, para que haja aprendizagem, devem ser fornecidos meios para que, de forma gradativa, o aluno passe “[...] da repetição empírica à histórica, com passagem obrigatória pela formal já que para que haja sentido é preciso que a língua se inscreva na história” (ORLANDI, 1998, p. 14), que ocorra deslocamento de sentidos.

3.1.3 O texto de divulgação científica e a interpretação

O texto de divulgação científica tem na sua base o discurso científico, mas se consideradas as condições de produção, é um discurso diferente, também pelos aspectos peculiares que o caracterizam, como já mencionado. Nesse ínterim, acredito que podem ser propostos em sala de aula como um discurso sujeito à interpretação de seu conteúdo.

Para a AD, na linguagem não há completude. Retomando os processos de paráfrase e polissemia, constitutivos da linguagem, os sujeitos, os sentidos e os discursos estão sempre em movimento e, portanto, inacabados, dado que se constituem na relação (tensa) entre esses processos. Por conseguinte, pensando na leitura de textos e, neste caso, de textos de divulgação científica, a historicização é possível devido ao fato do sentido não estar evidente neles, isto é, os textos (de forma geral) também são incompletos: o sentido não está determinado, podendo existir múltiplas compreensões por diferentes sujeitos. Isso acontece pelo fato de cada aluno-leitor possuir distintas histórias de leitura. De fato, entendo que os textos “[...] não são documentos que ilustram ideias pré-concebidas, mas monumentos nos quais se inscrevem as múltiplas possibilidades de leituras”. (ORLANDI, 2012, p. 64).

O texto, incompleto, estará sujeito à interpretação, o que me permite afirmar que não há sentidos dados, podendo ser outros e que “[...] diante de qualquer objeto simbólico o sujeito é instado a interpretar [...] e o faz determinado pela história, pela natureza do fato simbólico, pela língua” (ORLANDI, 1997, p. 26). Dessa forma, como trato neste trabalho, o processo de

interpretação de um texto possibilita que o sujeito, autor, construa seu discurso baseando-se na retomada do já-dito, de outras leituras, possibilitando a historicização do dizer.

Neste ponto, retomo mais uma vez o conceito de ideologia para comentar que ela “[...] está na produção da evidência do sentido” (ORLANDI, 1998, p. 16) e, se não há sentido sem interpretação, “[...] a ideologia é interpretação de sentidos em certa direção, determinada pela relação da linguagem com a história, em seus mecanismos imaginários”. (ORLANDI, 1994, p. 57).

Sendo necessário que a história intervenha na produção de sentidos, o que garante a interpretação é a memória, considerada sob duas perspectivas:

[...] a) a memória institucionalizada [...] o trabalho social da interpretação em que se distingue quem tem e quem não tem direito a ela; e b) a memória constitutiva, ou seja, o interdiscurso, o trabalho histórico da constituição da interpretação (o dizível, o repetível, o saber discursivo). (ORLANDI, 2007, p. 68).

Com o auxílio de aportes deste dispositivo teórico, considero o funcionamento do discurso na produção de significados sobre nanociência e nanotecnologia e procuro compreender os discursos dos alunos tentando compreender a sua constituição, sua elaboração e, assim:

[...] pensando a linguagem na sua relação com a exterioridade, pelo dispositivo que é o da Análise de Discurso, levamos em conta tanto a constituição dos sujeitos como dos sentidos afetados pela ideologia (e pelo inconsciente). Daí que a melhor maneira de definir nosso trabalho é o de dizer que ele realiza um programa de compreensão do significar na medida em que, pela noção de discurso, podemos atingir os efeitos que se produzem na construção de diferentes gestos de leitura. (ORLANDI, 1994, p. 58).

3.2 CONDIÇÕES DE PRODUÇÃO DOS DISCURSOS DOS ALUNOS

Neste trabalho, analiso os discursos de alunos do 3º ano do ensino médio de uma escola pública da região de Campinas - SP, verificando como eles produziram significados ao lerem textos de divulgação científica relacionados ao conjunto N&N.

Para tal, montei uma unidade de ensino composta por quatro textos que utilizam a linguagem considerada comum. É até possível que essa linguagem possa ser considerada mais difícil, dependendo das diferentes formações discursivas em que se encontram o texto e o leitor.

Dessa forma, a análise dos dados não serviu somente para verificar a produção de sentidos sobre o tema abordado a partir de uma estratégia escolhida, mas também para que a própria unidade de ensino fosse avaliada, pois tal produção de sentidos depende, inclusive, das condições da leitura, do texto lido, de leituras anteriores, o que me permite afirmar que textos diferentes produzem diferentes sentidos.

A seguir, exponho algumas condições de produção que julgo serem de relevante importância para a análise das respostas dos alunos dadas ao conjunto de questões propostas durante a realização das atividades de coleta de informações, tais como características da unidade de ensino e o modo como se dava o andamento das aulas de física na escola.

3.2.1 A unidade de ensino

Como visto no capítulo 1, Lima e Almeida (2012) apresentam uma possível unidade de ensino composta por 16 textos envolvendo conteúdos de nanociência e nanotecnologia para ser implementada na formação inicial de professores de física. Essa unidade é apresentada após a análise dos resultados do desenvolvimento, em três etapas, da disciplina *Práticas Pedagógicas em Física*, ministrada no segundo semestre letivo de 2009, na Unicamp, para 15 licenciandos em física. Dos 16 textos, escolhi três para montar a unidade de ensino para ser implementada no EM levando em conta, principalmente, os resultados de um estudo com professores (OLIVEIRA; ALMEIDA, 2012) com o qual confirmei que, para eles, a linguagem matemática é um dos entraves à efetiva introdução de conteúdos de FMC no EM; os resultados de um estudo com alunos (OLIVEIRA; FERREIRA; ALMEIDA, 2013), em que a utilização de um texto de divulgação científica gerou resultados positivos durante as aulas de física; e a leitura de trabalhos referentes à abordagem de controvérsias em aulas de ciências naturais (COSTA; HUGHES; PINCH, 1998; OULTON; DILLON; GRACE, 2004; RAMOS; SILVA, 2007).

Uma vez que se trata de uma pesquisa relacionada ao ensino de física e por estar buscando a produção de sentidos sobre FMC, também considerei relevante a autoria dos textos. Nesse sentido, achei conveniente que estes, ou pelo menos a maioria deles, fossem escritos por físicos,

ainda que a área de pesquisa em N&N comporte pesquisadores de diferentes áreas do conhecimento.

Além de um texto escrito para a parte introdutória da unidade, os três textos escolhidos a partir do trabalho de Lima e Almeida (2012) e que compuseram a unidade de ensino, com as respectivas cópias disponíveis em anexo, foram⁴:

Texto 1: VALADARES, E. C.; CHAVES, A. S.; ALVES, E. G. O potencial gigantesco do infinitamente pequeno. In: _____. **Aplicações da física quântica:** do transistor à nanotecnologia. São Paulo: Editora Livraria da Física, 2005, p. 51-70.

Texto 2: SCHULZ, P. A. B. O embate da nanoética. In: _____. **A encruzilhada da nanotecnologia:** inovação, tecnologia e riscos. Rio de Janeiro: Vieira & Lent, 2009, p. 105-111.

Texto 3: GRUPO ETC. Breve introdução às tecnologias em nanoescala e a convergência das novas tecnologias. In: _____. **Nanotecnologia:** os riscos da tecnologia do futuro – Saiba mais sobre produtos invisíveis que já estão no nosso dia-a-dia e o seu impacto na alimentação e na agricultura. Porto Alegre: L&PM, 2005, p. 29-35.

3.2.1.1 Características dos textos escolhidos

Antes que os textos 1 (VALADARES; CHAVES; ALVES, 2005), 2 (SHULZ, 2009) e 3 (GRUPO ETC, 2005) fossem distribuídos aos alunos, escrevi outro, o qual chamei de texto introdutório, disponível em anexo. Nele, é dada ênfase à nanoescala, com algumas comparações entre diferentes tamanhos, além de serem feitas referências à nanotecnologia e à nanociência, enfocando que se tratam de campos relativamente novos, cujo desenvolvimento se deu a partir da criação de instrumentos capazes de explorar uma escala tão reduzida e cujas consequências das aplicações ainda não podiam ser previstas há algumas décadas.

Escolhi o texto 1 (VALADARES; CHAVES; ALVES, 2005) com o objetivo de apresentar as promissoras aplicações dos resultados das pesquisas em N&N. Lima e Almeida (2012) apontam a seguinte justificativa para sua escolha:

⁴ Apresento os textos conforme a ordem apresentada na publicação de Lima e Almeida (2012).

[...] apresenta características particulares do mundo na escala nanométrica e ressalta a potencialidade da nanotecnologia para gerar grandes oportunidades para o mundo, a partir do uso dessa nova tecnologia imprevisível e em rápida expansão. Apresenta um conjunto de conceitos, de definições, de propriedades e, principalmente, de aplicações do mundo nanométrico. O propósito do uso deste texto é mostrar uma visão de como as nanotecnologias possibilitam aplicações variadas. (LIMA; ALMEIDA, 2012, p. 4401-7).

Selecionei algumas partes do texto referenciado, na tentativa de montar um texto menor e mesmo assim manter as características do capítulo. Escolhi a seção 4.2, que relaciona o tamanho de um objeto com suas propriedades, realçando a necessidade da consideração dos novos procedimentos para a investigação dos objetos de pesquisa em N&N; a seção 4.8, que apresenta um breve histórico dos nanotubos de carbono, bem como suas propriedades; a seção 4.9, por descrever o processo de obtenção de água doce utilizando nanotubos de carbono; a seção 4.14, que mostra os benefícios da nanotecnologia na área de medicamentos; a seção 4.15, por indicar como a nanotecnologia pode disponibilizar drogas de forma controlada no organismo; a seção 4.16, que expõe, de forma aparentemente clara, como nanopartículas magnéticas poderiam ser utilizadas para o tratamento de neoplasias malignas; e a seção 4.17, por apontar o uso de partículas magnéticas na remoção de vazamento/derramamento de petróleo na água.

O texto 2 (SHULZ, 2009) foi escolhido com o objetivo de divulgar a preocupação em torno da ética que envolve a produção e uso dos materiais em que há nanopartículas. Lima e Almeida (2012) apontam a seguinte justificativa para sua escolha:

[...] levanta questões que envolvem segurança e conflitos de interesses no uso e na produção de nanomateriais. Traz ideias que podem promover discussões sobre qual ética a sociedade precisa desenvolver para conviver com a tendência de industrialização de produtos com toxidades desconhecidas. (LIMA; ALMEIDA, 2012, p. 4401-8).

Assim como o texto anterior, trata-se do capítulo de um livro escrito por um físico para fins de divulgação científica. O autor considera razoáveis as iniciativas de incentivo ao posicionamento da sociedade frente às inovações nanotecnológicas e alude sobre a desproporcionalidade de investimento relativa à criação de novos produtos nanotecnológicos se comparadas com as poucas pesquisas sobre os impactos desses produtos, responsabilizando o governo (em conjunto com órgãos reguladores) pelo financiamento e controle de pesquisas e produtos que lidam com nanotecnologia.

O texto 3 (GRUPO ETC, 2005), em contraste com o texto 1 (VALADARES; CHAVES; ALVES, 2005), foi escolhido com o objetivo de expor um ponto de vista diferenciado em relação

às aplicações das nanotecnologias. Lima e Almeida (2012) apontam a seguinte justificativa para sua escolha:

[...] enfatiza os riscos que as nanotecnologias poderão trazer para a sociedade. Inicialmente, são explicitados conceitos de nanotecnologia e as implicações – relativas ao controle, à saúde e à segurança – que essa tecnologia poderá desencadear sobre a vida das pessoas. [...] O grupo responsável pelo texto defende que o destino das tecnologias em escala nanométrica deve envolver um amplo debate com os movimentos sociais. (LIMA; ALMEIDA, 2012, p. 4401-8).

Apesar da justificativa das autoras referirem-se ao livro todo, selecionei apenas parte de um capítulo para constar entre os textos da unidade de ensino. O texto enfoca alguns resultados de pesquisas que relatam consequências desastrosas de interações de dispositivos nanométricos em animais e, ao final, realça que novas tecnologias nem sempre contribuem com o progresso da sociedade, cabendo a poucos o desfrute de seus benefícios.

3.2.2 A escola

Os dados analisados a partir dos quais pretendo responder a questão de estudo foram coletados em todas as turmas de 3º ano do ensino médio da escola estadual “Professor João Lourenço Rodrigues”, localizada em Campinas – SP no primeiro bimestre letivo de 2013.

À época da coleta de informações, a escola funcionava em dois períodos, matutino e vespertino. Ao todo, encontravam-se 766 alunos matriculados e 52 professores ministrando aulas, dentre efetivos e contratados. Os alunos estavam distribuídos conforme o quadro apresenta:

Quadro 4 – Distribuição dos alunos por níveis de ensino e séries

Nível de ensino	Série	Número de turmas	Número de alunos
Ensino Fundamental II	5ª (6º ano)	2	75
	6ª (7º ano)	3	111
	7ª (8º ano)	3	111
	8ª (9º ano)	2	81
Total		10	378
Ensino Médio	1º ano	4	148

	2º ano	3	111
	3º ano	4	129
Total		11	388

Cabe ressaltar que a escola possui altos índices de desempenho obtidos em exames federais e estaduais de avaliação da educação básica, superiores aos da maioria das demais escolas estaduais da região de Campinas – SP.

O trabalho conjunto entre diretora, coordenadoras, funcionários, professores, pais e alunos, aliado a processos avaliativos planejados bimestralmente, incentivando os hábitos de estudo e leitura, dentre outros, também devem ser considerados, tanto para a avaliação da escola como uma instituição com ensino público de qualidade, quanto para a leitura e análise das respostas dos alunos às questões das atividades que esta pesquisa envolve.

Os alunos da escola são oriundos de vários bairros da cidade. Alguns, à época da coleta de informações, faziam curso técnico, outros trabalhavam, outros ainda faziam curso preparatórios para vestibulares.

Acompanhei esses alunos desde o 1º ano do ensino médio, quando lecionei na escola, em 2011, como professor de reforço de matemática para o ensino médio no contraturno, período oposto ao que os alunos estão em aulas na escola. No ano seguinte, acompanhei a professora de física nas turmas de segundo ano por algum tempo, coletando informações para o projeto de pesquisa Universal CNPq – Processo 476277/2010-8: *Posições e práticas docentes sobre o funcionamento de conteúdos, estratégias e recursos didáticos na física escolar*. Retornei, ao terceiro ano, acompanhando, dessa vez, o novo professor de física desde o início do ano letivo. Durante a intervenção para coleta de informações, ministrei as aulas com o professor das turmas presente em sala de aula.

3.2.3 As aulas de física

No ano de 2012, acompanhei a professora de física nas quatro turmas de 2º ano do EM para a coleta de informações do projeto acima mencionado. Como tinha lecionado na escola no contraturno, nem todos os alunos me conheciam e, por isso, naquela época, disse aos alunos que

era professor de física e que iria acompanhá-los por algum tempo. Comentei que eles deveriam seguir normalmente seus afazeres habituais, como se eu não estivesse presente, recomendando que a professora fizesse o mesmo. Durante algumas aulas, apenas observei a interação professor/aluno/física escolar. A partir desta época, pude entrar em contato com os alunos, trocando informações, familiarizando-me com a rotina das turmas.

No ano de 2013, o processo seguido durante acompanhamento/observação das turmas ocorreu de forma semelhante. No início do ano letivo, durante reunião dos professores com a direção e coordenação da escola, reuni-me com o novo professor de física para pedir autorização para acompanhar suas aulas no 3º ano do ensino médio e explicar sobre a pesquisa de mestrado e coleta de informações. Ao informar que pretendia abordar um tópico de FMC ainda no primeiro bimestre, conteúdo abordado ao final do terceiro ano, o professor resolveu fazer uma inversão nos conteúdos e transferir aqueles do terceiro e quarto bimestres para os primeiro e segundo. Nesse sentido, magnetismo, eletrostática e eletrodinâmica seriam abordados apenas no segundo semestre.

De forma sucinta, procurarei mostrar o andamento das aulas de física antes da intervenção.

No primeiro dia do ano letivo de 2013, acompanhei as aulas de física em três turmas do 3º ano do ensino médio, das quatro existentes na escola. Cabe ressaltar que as turmas do terceiro ano são as antigas turmas do segundo ano acompanhadas anteriormente, salvo algumas exceções, mencionadas oportunamente.

Na turma A, composta por 33 alunos, apenas uma aluna era nova na escola, sendo que outros poucos haviam sido remanejados de outras turmas. O professor apresentou-se e, posteriormente, apresentei-me, apesar do contato com os alunos nos anos letivos anteriores. Seguidamente, o professor solicitou aos alunos que se apresentassem, dizendo quais aspirações tinham em relação ao futuro e o que pretendiam estar fazendo um ano depois. Tal apresentação, solicitada pela direção e coordenação da escola, serviu não somente para que os alunos se apresentassem aos novatos, mas também para que o professor os conhecesse, pois se tratava do primeiro ano que estava lecionando naquela escola.

Como resposta à pergunta do professor, a maioria respondeu que pretendia iniciar um curso superior, uns mencionando de qual se tratava, outros ainda em dúvida sobre qual carreira

seguir. Notei que, ao final da aula, uma aluna, que mencionou querer ser filósofa, lia um livro, enquanto os outros se organizavam e conversavam sobre o período de férias.

Na turma B, composta por 33 alunos, dos quais cinco eram novatos e poucos remanejados internamente, houve três momentos em que estive com eles nesse primeiro dia, apesar de duas aulas semanais de física comporem a carga horária em cada turma. Esta aula adicional ocorreu porque a tabela de horários ainda estava em fase de finalização, dependendo da disponibilidade de tempo de alguns professores para sua conclusão.

Nesta turma, ao apresentar-se, um dos alunos posicionou-se contra os sistemas de cotas nos vestibulares. Em outra aula, quando o professor explicou que estudariam física moderna e contemporânea, destacando a física quântica e o átomo, uma aluna questionou: *Se o átomo nunca foi visto, como sabe que ele existe?* O professor, então, explicou sobre a existência de modelos atômicos e a evolução das teorias de composição da matéria, tentando evidenciar que os modelos são criações humanas e avançam com a elaboração e aceitação de novas teorias pela comunidade científica.

A partir deste momento, os alunos começaram a questionar sobre conteúdos de reportagens jornalísticas que, em algum momento, tiveram contato, como matéria escura, bóson de Higgs e teoria de cordas.

A turma C, composta por 32 alunos, foi a única dentre as turmas de terceiro ano que não recebeu alunos novos. Nesta turma, durante a apresentação, uma das alunas disse que queria cursar fonoaudiologia. Quando o professor perguntou se ela sabia do que se tratava a profissão e por que ela tinha escolhido tal curso, ela respondeu: *Pra fugir da matemática!*

No segundo dia de observação, uma aula foi ministrada na turma A e, como a tabela com os horários de aulas ainda estava em fase de finalização, o professor retornou à turma B. Como ele decidiu iniciar o ano letivo ensinando FMC, o assunto abordado em ambas as turmas foi “modelos atômicos”.

Focalizando alguns aspectos da história da ciência, o professor explicou que no século V a. C. os gregos já tinham proposto a descontinuidade da matéria, sugerindo que ela era constituída por partículas fundamentais indivisíveis. Proposição que voltou à tona somente a partir do Renascimento.

Em seguida, o professor comentou sobre o modelo de Dalton, segundo o qual os átomos seriam esferas indestrutíveis. Também foi explanado sobre o modelo de Thomson, conhecido por

“pudim de passas”, e pelo qual o átomo seria uma esfera de carga positiva com elétrons de carga negativa distribuídos sobre essa carga.

Passando ao próximo modelo, o professor explicou a experiência realizada por Rutherford ao bombardear uma lâmina de ouro, atrás da qual foi colocado um anteparo, por um feixe de partículas alfa. Mencionou que o físico notou que as partículas passaram pela lâmina de ouro e atingiram o anteparo, sendo detectados desvios. Dessa forma, os átomos não poderiam ser maciços.

Notei que alguns alunos já possuíam algum conhecimento sobre eletrostática, o que os fez afirmar que *cargas de mesmo sinal se atraem e cargas de sinais opostos se repelem*. O professor mencionou, então, que as partículas alfa, por serem positivas e desviarem do núcleo, implicaria em que o núcleo continha cargas positivas. O fato de as partículas alfa não ficarem unidas aos elétrons, que possuem carga negativa, foi explicado baseando-se na grande diferença de massa entre essas partículas. Outro ponto destacado referiu-se às partículas alfa que retrocederam, tratando-se daquelas que se chocaram diretamente com o núcleo.

Nesse ponto da aula, o modelo de Rutherford foi comparado com o sistema solar: o sol ocupando a posição do núcleo e os planetas, dos elétrons.

Ao final da aula, o professor estimulou os alunos a observarem o modelo (desenhado na lousa) e a sanar possíveis dúvidas, perguntando o que ‘de errado’ poderia haver ali, se considerado aquilo que eles tinham aprendido em química. Em ambas as turmas, houve o mesmo questionamento feito pelos alunos: *como os elétrons, de carga negativa, podem girar ao redor do núcleo, composto de carga positiva, sem caírem nele? Sem serem atraídos? E como pode o núcleo se manter estável, sem repelir, se é composto de cargas positivas?* Questionamento cujas respostas ficaram para serem discutidas em aulas posteriores.

No próximo dia letivo que voltei à escola, apenas uma aula foi ministrada no terceiro ano. O professor explicou sobre o avanço dos modelos atômicos, desta vez na turma C. Os alunos mantiveram-se atentos, como nas turmas A e B. Nesta turma, percebi que os alunos não possuíam conhecimentos sobre eletrostática, confundindo os sinais de cargas elétricas com os sinais das operações de multiplicação e divisão de números inteiros, por conseguinte, não conseguindo levantar as questões que os alunos das turmas A e B formularam relacionadas ao modelo de Rutherford.

No quarto dia de observação e acompanhamento das aulas de física, o professor ministrou aulas em todas as turmas de terceiro ano da escola.

Na turma D, composta por 31 alunos, o professor ministrou aula pela primeira vez nesse dia desde o início do ano letivo. Como o conteúdo das outras turmas estava adiantado em relação a esta turma, o professor não se prolongou nas apresentações como nas outras turmas, quando questionou os (prováveis) objetivos dos alunos ao final do 3º ano do ensino médio. Após as apresentações iniciais, ele prosseguiu a aula lecionando o conteúdo sobre modelos atômicos, como nas aulas anteriores. Ao explicar sobre o experimento de Rutherford, alegando que os resultados não permitiram que o átomo pudesse ser visto e que as conclusões foram baseadas nas trajetórias seguidas pelas partículas alfa, um aluno questionou: *Professor, nem na nanometria consegue-se ver o átomo?* Ao que o professor respondeu que os átomos podem ser manipulados e suas posições mapeadas, mas não podem ser vistos com um microscópio que utiliza a luz visível.

Nas turmas A, B e C, o professor explicou sobre o átomo de Bohr. Dadas as inconsistências do átomo de Rutherford, como a questão levantada sobre a manutenção do elétron em órbitas, ao invés de ‘cair’ sobre o núcleo, o professor explicou que Bohr desenvolveu seu modelo atômico a partir de algumas suposições: que os elétrons só poderiam ocupar posições (órbitas circulares) definidas, havendo regiões proibidas para sua localização; que quando eles estivessem nessas órbitas eles não emitiriam radiação; que seria absorvida energia quando o elétron passasse de uma órbita para outra superior e emitida, em forma de radiação, se retornasse ao estado inicial; que o elétron só ‘saltaria’ de um nível para outro quando recebesse uma quantidade de energia igual à diferença de energia entre os níveis.

Expôs, ainda, a fórmula para a previsão de diferentes níveis energéticos num átomo, escrevendo na lousa: $E_n = (-13,6).Z^2/n^2$, onde Z é o número atômico e n o nível energético ou estado estacionário. Na turma A, um dos alunos perguntou: *O elétron só emite radiação quando ele se desloca?* O professor respondeu que havia condições especiais para a emissão de radiação, não bastando o deslocamento do elétron.

Na turma B, houve duas aulas nesse dia. Ao final da primeira, notei que dois alunos retiraram um livro de literatura da mochila e começaram a ler, esperando a troca de professores. Na segunda aula, o professor continuou explicando sobre o átomo de Bohr, mencionando que aquele modelo se adequava bem ao átomo de hidrogênio. Então, juntamente com os alunos, calculou a energia nos diferentes níveis estacionários para esse átomo, além de ter avaliado, por

meio de dois exemplos e ainda em conjunto com os alunos, a quantidade de energia (ΔE) necessária para o elétron ‘saltar’/mudar de nível. Num dos casos, a energia era absorvida e, no outro, emitida. Ao final, o professor mencionou que, quando o elétron volta ao estado inicial, a energia é emitida na forma de radiação e inseriu a fórmula: $f = \Delta E/h$, onde f é a frequência da radiação emitida, ΔE é a energia liberada e h é a constante de Planck.

No quinto dia de observação, o professor retornou à turma D e explicou aos alunos o modelo atômico de Bohr. Durante a explicação, quando o professor mencionou sobre a emissão de radiação a partir do retorno do elétron ao estado inicial, um aluno questionou: *Professor, radiação de micro-ondas faz mal?* O professor logo respondeu que a exposição às micro-ondas por um longo período de tempo pode não fazer bem à saúde humana.

Desde o primeiro dia de aula, notei que o docente sempre fazia analogias em suas explicações e utilizava a lousa tanto para colocar notas de aula quanto para desenhar esquemas, considerando que estes facilitavam a explicação do conteúdo. Nessas últimas aulas, por exemplo, ele relacionou as posições definidas ao redor do núcleo ocupadas pelos elétrons nos níveis energéticos com os trilhos de um trem. Segundo ele, assim como o trem de ferro, os elétrons só podem estar/passar por posições/localizações preestabelecidas/definidas. Ao fazer essa analogia, na turma D, um aluno questionou: *Rutherford não poderia ter dito que o elétron ocupava uma espécie de ferrovia e, assim, não poderia ‘cair’ no núcleo?* O professor respondeu que sim, mas que isso não foi percebido por ele.

Ainda nessa turma, desde o início das aulas, notei que alguns alunos conversaram durante a explicação dada pelo professor.

No sexto dia de fase exploratória, acompanhei o professor nas turmas A e C. Em ambas as turmas ele deu sequência ao conteúdo tratado: átomo de Bohr, como na turma B, ao expor os níveis energéticos para o átomo de hidrogênio e inserir a fórmula para o cálculo da frequência do fóton emitido (ou absorvido).

Notei que, em ambas as turmas, enquanto o professor explicava o conteúdo, alguns alunos prestavam atenção e interrompiam a aula, questionando o professor, quando não estavam compreendendo algum passo/explicação.

No sétimo dia de acompanhamento das aulas de física na escola, último dia de observação antes do início da intervenção, eu acompanhei o professor em todas as turmas do terceiro ano. Às

segundas-feiras, com a tabela de horários praticamente concluída, o professor ministrava aulas nas quatro turmas de terceiro ano da escola.

Notei que um acontecimento que se tornou rotineiro na escola foi o atraso para a entrada dos alunos na primeira aula do dia. Após o sinal para o início das aulas, cerca de 15 minutos eram gastos entre a entrada dos alunos, sua acomodação e o efetivo início da aula.

Nas turmas A, B e C, o professor passou quatro exercícios na lousa para que os alunos copiassem e resolvessem no decorrer da aula. Ao final de cada aula, pediu para que aqueles alunos que ainda não tinham terminado a resolução, que a terminassem em casa e levassem dúvidas para a próxima aula, pois a correção seria baseada nas dúvidas levantadas por eles.

Os exercícios constavam basicamente do seguinte: no primeiro, foi pedido para que os alunos encontrassem a energia dos cinco primeiros níveis quânticos para o átomo de hélio. No segundo exercício, foi pedido para que os alunos encontrassem o nível para o qual um elétron num átomo de hidrogênio tinha saltado, estando em níveis pré-estabelecidos, após sua energia variar determinados valores mencionados. Na terceira questão, ao aluno era solicitado que calculasse a frequência da radiação emitida para saltos de um elétron num átomo de hidrogênio. No quarto e último exercício, o aluno deveria calcular o nível para o qual um elétron num átomo de hidrogênio saltou a partir da absorção de uma frequência determinada. Assim que os alunos copiaram da lousa e começaram a resolver os exercícios, alguns pediram a ajuda do professor e, outros, minha ajuda.

Um aluno, na turma C, ao ler o enunciado da primeira questão, perguntou: *Professor, o que significa quânticos? A palavra quânticos!* Até então, o professor não tinha usado essa palavra para referir-se a níveis quânticos e respondeu que se tratava de níveis estacionários. Na turma A, um aluno questionou sobre a unidade de medida a ser utilizada nas respostas do primeiro exercício, ao que o professor respondeu que era o elétron-Volt.

Na turma D, se comparadas com as outras turmas, o professor estava em relativo atraso devido ao número de aulas ministrado em cada turma e, por isso, ainda não tinha passado os exercícios. Nessa aula, expôs os níveis energéticos para o átomo de hidrogênio, como nas turmas anteriores. Um aluno perguntou: *Professor, como fornecer a quantidade exata de energia? Através de uma maquininha?* Então o professor começou a explicar sobre a frequência de radiação emitida quando o elétron volta a níveis iniciais, introduzindo a fórmula para o cálculo

dessa frequência, o que o ajudou a sanar a dúvida do aluno, respondendo que seria preciso que o átomo absorvesse uma quantidade de energia referente a uma frequência específica.

3.3 COLETA DE INFORMAÇÕES

Após montada a unidade de ensino, planejei um conjunto de cinco aulas para implementá-la em sala de aula. Considerando a estratégia de inserção do conteúdo através da leitura de textos de divulgação científica que abordam a temática de forma controversa, achei conveniente que as turmas fossem divididas em grupos de quatro alunos para que nem todos os estudantes recebessem o mesmo texto de uma só vez. Assim, como notei que os textos 2 (SHULZ, 2009) e 3 (GRUPO ETC, 2005) poderiam ser lidos de forma conjunta, sem que embates teóricos pudessem ser notados nas leituras, concluí que, para a realização de uma das atividades, parte da turma deveria receber o texto 1 (VALADARES; CHAVES; ALVES, 2005) e, a outra parte, os textos 2 (SHULZ, 2009) e 3 (GRUPO ETC, 2005). Quando da realização da próxima atividade, os grupos que receberam o texto 1 (VALADARES; CHAVES; ALVES, 2005) receberiam os textos 2 (SHULZ, 2009) e 3 (GRUPO ETC, 2005) e vice-versa. Dessa forma, foi dada aos estudantes a possibilidade de que eles, após a leitura de apenas um conjunto de textos, explanassem aos demais o que lhes fizera sentido, o que tinham entendido da leitura, constituindo, dessa forma, uma das ações de mediação previstas.

Apresento, no quadro abaixo, o planejamento das aulas para a coleta de informações:

Quadro 5– Planejamento das aulas para coleta de informações

Aula	Resumo das atividades realizadas durante coleta de informações
1	Atividade 1; texto introdutório; mediação do pesquisador
2	Texto(s) 1 ou 2 e 3; Atividade 2
3	Apresentações dos alunos
4	Texto(s) 2 e 3 ou 1; mediação do pesquisador
5	Atividade 3

No primeiro dia de coleta de informações⁵, logo no início da aula, expliquei que ministraria as próximas aulas, abordando um novo conteúdo, dando sequência ao conteúdo que o professor adotou desde o início do ano letivo: a FMC.

Solicitei aos alunos que respondessem, por escrito, numa folha que lhes foi entregue e, posteriormente recolhida, as seguintes questões, que compuseram a Atividade 1:

- 1) *Você gosta de ler? Você costuma ler? Em caso afirmativo, o quê? Que tipo de leitura lhe agrada mais?*
- 2) *Você já ouviu falar em Nanotecnologia? Em caso afirmativo, onde? O quê você sabe sobre esse assunto? Em caso positivo, gostaria de saber algo mais sobre esse tema? Em caso negativo, gostaria de saber o que é e para que serve?*

Elaborei estas questões pretendendo analisar possíveis representações dos estudantes sobre leitura, os tipos de leituras que lhes agradavam, seu histórico de leituras e suas representações acerca do conjunto N&N.

Assim que as respostas escritas foram entregues, distribuí um texto, que chamei introdutório, para que os alunos lessem. Após a leitura, expliquei sobre a escala nanométrica, a nanotecnologia e a nanociência, conteúdos relacionados ao texto.

Na aula seguinte, mencionei que continuaríamos as atividades envolvendo nanociência e nanotecnologia, mas, desta vez, os alunos deveriam formar grupos de quatro integrantes para a realização das próximas atividades com textos. Mencionei, ainda, em concordância com o professor de física, que todas as atividades relacionadas ao conteúdo de nanociência e nanotecnologia seriam consideradas/avaliadas como atividades de sala de aula⁶, nesse caso, não sendo considerado o correto e/ou o equívoco, mas a conclusão de todas as atividades previstas e propostas.

Depois de formados os grupos, os textos foram distribuídos de tal forma que grupos vizinhos recebessem textos diferentes (ou o texto 1 ou os textos 2 e 3). Nesse momento, informei aos alunos que eles poderiam fazer marcações nos textos, grifar o que achassem interessante, anotar dúvidas. Informe também que eles deveriam elaborar sínteses do(s) texto(s) lido(s) e,

⁵ As atividades de coleta de informações serão narradas da forma como ocorreram, de maneira semelhante, em todas as turmas. Possíveis diferenças são realçadas na análise dos dados.

⁶ Atividades de sala de aula são ações exigidas pela direção e coordenação da escola, constando como uma das avaliações bimestrais de cada disciplina.

conforme achassem conveniente, deveriam fazer uma breve apresentação das principais ideias contida no(s) texto(s) aos demais colegas.

A sequência da aula deu-se com a leitura dos textos. Passada mais de meia hora, entreguei aos alunos uma folha contendo algumas questões que, em conjunto, formavam a Atividade 2. As questões, respondidas individualmente, foram as seguintes:

- *Texto lido:* _____
- 1) *Você gostou de ler o texto proposto? Justifique.*
- 2) *Baseando-se na leitura que você fez, elabore uma síntese do texto para que possa ser apresentada aos seus colegas.*
- 3) *Baseando-se na sua leitura e nas apresentações dos grupos, a que conclusões você chegou a respeito das aplicações da Nanotecnologia?*

Com a folha em mãos, notifiquei que as questões 1 e 2 poderiam ser respondidas a partir da leitura do(s) texto(s). No entanto, as apresentações dos grupos deveriam ser aguardadas para que a terceira questão pudesse ser respondida.

Em relação às questões que compuseram a Atividade 2, enquanto as questões 1 e 2 auxiliaram-me a perceber a relação entre a empatia pelo(s) texto(s) lido(s) e a produção de significados sobre o(s) mesmo(s), a questão 3 foi formulada com o objetivo de verificar se ações de mediação, proporcionadas pelos próprios alunos, auxiliariam na interpretação do conteúdo focalizado, ainda que de forma controversa, pelos textos da unidade.

Ao final da segunda aula, sem que a atividade tivesse terminado, informei que as folhas contendo as perguntas e respostas poderiam ser entregues na aula seguinte, na qual se daria as apresentações/explicações feitas pelos grupos, dando chance para que novas leituras fossem realizadas e parte das questões pudesse ser respondida no contraturno.

As apresentações iniciaram-se na terceira aula de implementação da unidade. Conforme mencionado, os grupos apresentaram o(s) texto(s) lido(s) da forma que acharam conveniente: de alguns grupos, apenas um integrante participou da apresentação, de outros, todos participaram; alguns leram parte do texto, outros leram a síntese elaborada como resposta à questão 2 da Atividade 2, outros ainda preferiram explicar sobre aquilo que tinham lido.

Como a duração de uma aula foi insuficiente para a apresentação de todos os grupos, parte da quarta aula sobre o conjunto N&N foi utilizada para o restante das apresentações. A partir delas, os estudantes estavam aptos a responder todas as questões da Atividade 2.

Assim que terminaram de responder as três questões, os alunos receberam os textos que ainda não tinham lido, ou seja, os grupos que tinham lido o texto 1 (VALADARES; CHAVES; ALVES, 2005), receberam os textos 2 (SHULZ, 2009) e 3 (GRUPO ETC, 2005). Já os grupos que tinham lido os textos 2 (SHULZ, 2009) e 3 (GRUPO ETC, 2005), dessa vez, receberam o texto 1 (VALADARES; CHAVES; ALVES, 2005). Com isso, todos os alunos já possuíam todos os textos que compuseram a unidade sobre nanociência e nanotecnologia.

Ainda nessa aula, expliquei sobre o conteúdo abordado nas últimas aulas. A mediação durou cerca de 30 minutos e, durante a exposição, os alunos ficaram à vontade para interrupções caso houvesse dúvidas. Utilizei um *data-show* disponível na escola, apresentando as principais ideias que estavam sendo abordadas no conjunto de textos.

Na quinta (última) aula de atividades sobre nanociência e nanotecnologia, os alunos realizaram a Atividade 3 baseando-se nos textos entregues após a realização da Atividade 2 e na explicação dada, mediação pela qual os alunos tiveram oportunidade para sanar dúvidas. A Atividade 3 também foi composta de três questões:

- *Último texto lido:* _____
- 1) *Você gostou de ler esse texto? Justifique.*
- 2) *Por que você acha que os textos sugerem interpretações diferentes ainda que aparentemente se referindo ao mesmo tema?*
- 3) *Suponha que você vá explicar sobre Nanotecnologia a um amigo que ainda não aprendeu sobre este assunto. Utilize as linhas abaixo para escrever um e-mail a este amigo explicando aquilo que você entendeu sobre as últimas aulas de física.*

Com a primeira questão pretendi verificar se a leitura do(s) texto(s) causou impressões nos alunos diferentes daquelas provocadas pelas primeiras leituras. Nesse ponto, visei à análise das respostas antes e depois das ações de mediação, verificando também as impressões sobre os textos da unidade.

A segunda questão foi elaborada para analisar as representações dos estudantes sobre a construção do conhecimento científico; suas interpretações acerca dos embates relacionados à produção da ciência e da tecnologia e as reflexões quando são colocados diferentes pontos de vista sobre as consequências dos avanços científicos e tecnológicos.

Para finalizar, elaborei a terceira questão na tentativa de compreender os sentidos produzidos pelos estudantes após as leituras dos textos da unidade e após as ações de mediação.

De fato, foi uma questão elaborada para que pudessem ser verificados tanto os efeitos das leituras quanto aqueles das ações de mediação.

4 A PRODUÇÃO DE SIGNIFICADOS DOS ESTUDANTES

Como já mencionado, solicitei aos alunos, no primeiro dia de coleta de informações, que respondessem algumas questões por escrito. Nesse primeiro dia de coleta de informações, 28 alunos estavam presentes na turma A, 29 na turma B, 28 na turma C e 33 na turma D.

A primeira pergunta, compondo parte da questão 1, interrogava se o aluno gostava de ler, independente do tipo de texto. O quadro abaixo mostra a quantificação das respostas dos alunos por turma com as respectivas porcentagens:

Quadro 6– Respostas dadas à primeira parte da primeira questão da Atividade 1

Você gosta de ler?	Sim	Não	Mais ou menos/ Não muito
3ºA	20	5	3
	71%	18%	11%
3ºB	23	3	3
	80%	10%	10%
3ºC	25	2	1
	89%	7%	4%
3ºD	27	3	3
	82%	9%	9%

Pela leitura do quadro, é possível notar o alto índice de respostas “Sim” ao questionamento sobre o gosto pela leitura. No entanto, cabe ressaltar que essas respostas não necessariamente refletem a realidade dos alunos, já que eles podem ter mencionado tal gosto, dentre outras justificativas, pela valorização do ato de ler no ambiente escolar.

Quanto à segunda pergunta, ainda na primeira questão, perguntei se os alunos costumavam ler. Mais do que saber sobre o possível gosto pela leitura, nesta pergunta, foi-lhes diretamente questionado sobre um provável hábito. O quadro 7 traz as quantificações das respostas com as respectivas porcentagens:

Quadro 7 – Respostas dadas à segunda parte da primeira questão da Atividade 1

Você costuma ler?	Sim	Não	Às vezes (sem regularidade)
3ºA	12	11	5
	43%	39%	18%
3ºB	17	7	5
	59%	24%	17%
3ºC	19	2	7
	68%	7%	25%
3ºD	24	4	5
	73%	12%	15%

Analisando os dois quadros acima é possível notar que há diferenças entre o que os estudantes responderam para o gosto pela leitura e o costume em fazê-la. Nesse caso, as respostas relacionadas ao hábito da leitura revelaram números percentuais menores se comparados com aqueles do quadro 6, onde se encontram os números referentes às respostas sobre o gosto pela leitura.

Nas duas últimas perguntas da primeira questão, perguntei qual o tipo de leitura que mais agradava aqueles estudantes. As respostas variaram bastante como é possível ver no quadro abaixo:

Quadro 8 – Tipos de leitura que agradavam os estudantes

Tipo de leitura que agrada mais	Ação/Aventura	Ciência/Tecnologia/Ficção científica/Ficção	Conto/Crônica	História/Biografias/Filosofia/Sociologia/Artes
3ºA	7	4	1	2
	25%	14%	4%	7%
3ºB	4	11	0	6
	14%	38%	0%	21%
3ºC	9	7	0	4
	32%	25%	0%	14%
3ºD	8	12	0	4
	24%	36%	0%	12%

Tipo de leitura que agrada mais	Notícias/ Jornais	Poesia	Revistas/Curiosidades/ Blogs/Gibis	Romance	Suspense/ Drama/Terror
3ºA	5	1	5	7	4
	18%	4%	18%	25%	14%
3ºB	8	0	8	6	5
	28%	0%	28%	21%	17%
3ºC	6	0	6	11	9
	21%	0%	21%	39%	32%
3ºD	7	0	4	11	4
	21%	0%	12%	33%	12%

Nesse quadro, é necessário evidenciar que alguns alunos não mencionaram nenhum tipo de leitura que os agradava, assim como alguns alunos responderam mais de um tipo de leitura em suas respostas, sendo contabilizados todos eles, o que justifica a soma superior a 100% em todos os casos.

Destaco os livros de romance, além dos relacionados à ciência e à tecnologia, os que envolvem situações de aventura e ação e textos que não são muito extensos, como os de revistas e *blogs*, entre as preferências de leitura desses estudantes. Além disso, convém destacar a presença dos jornais, alguns distribuídos gratuitamente ao longo do caminho até a escola, como meio de informação presente no cotidiano dos alunos.

Na segunda questão, ainda na Atividade 1, perguntei aos alunos se já tinham ouvido falar em nanotecnologia. As quantificações das respostas seguem abaixo:

Quadro 9 – Respostas dadas à primeira parte da segunda questão da Atividade 1

Já ouviu falar em nanotecnologia?	Sim	Não
3ºA	14	13
	50%	46%
3ºB	15	14
	52%	48%
3ºC	15	12
	54%	43%
3ºD	23	10
	70%	30%

A partir desse quadro, é interessante notar que um conjunto de estudantes superior ou igual a 50%, em todas as turmas, já tinha ouvido falar sobre a temática que seria abordada em sala de aula.

Quanto aos locais onde esse contato foi feito, a televisão, aliada ao cinema, e cursos em universidades e na própria escola favoreceram para que os alunos entrassem em contato com a nanotecnologia. O quadro abaixo traz essas informações quantificadas:

Quadro 10 – Respostas dadas à segunda parte da segunda questão da Atividade 1

Lugar onde já ouviu falar em nanotecnologia?	Internet	Jornal/Revistas	Televisão/Cinema/Documentário	Terceiros	Universidade/Cursos/Escola
3ºA	2	2	4	1	5
	14%	14%	29%	7%	36%
3ºB	4	2	5	1	3
	27%	13%	33%	7%	20%
3ºC	2	1	5	0	3
	13%	7%	33%	0%	20%
3ºD	3	3	4	2	10
	13%	13%	17%	9%	43%

Sem saber como se deram as produções de significados sobre nanociência e nanotecnologia pela televisão/cinema/documentário e em universidade/cursos/escola, locais mais citados pelos alunos, nota-se a pouca participação de materiais que, porventura, poderiam envolver a leitura para a obtenção de conhecimentos sobre essa temática.

Ainda na segunda questão, foi perguntado aos alunos o que sabiam sobre nanotecnologia. Seguem as transcrições⁷ de algumas respostas.

Alguns alunos relacionaram a nanotecnologia com as dimensões dos aparatos, sem fazer menção direta à escala nanométrica. Pelas respostas, nota-se que a palavra *nanotecnologia* remete a algo pequeno e que, para eles, o tamanho dos objetos parece suficiente para classificá-los como nanotecnológicos:

*... que são algumas coisas muito pequenas...
 ... sei que é referente a pequenas partículas... que auxiliam em experimentos e etc...*

⁷ São transcritas apenas as respostas dos alunos que apresentaram o Termo de Consentimento Livre e Esclarecido assinado.

... sei pouca coisa... visualização de objetos impossíveis de se ver a olho nu...

Outros alunos relacionaram a nanotecnologia com aparatos tecnológicos. Nesse caso, (nano)tecnologia trata-se da materialização do avanço tecnológico e assim, para alguns deles, nanotecnologia é o próprio aparelho:

... eu sei que são robôs muito pequenos programados para fazer todos a mesma função, como comer o que veem pela frente ou apenas se mover de um lado pro outro...

... sobre produtos e mecanismos de celulares...

... componentes eletrônicos com mais capacidade e com menor tamanho...

... pequenos componentes que agrupados formam celulares, computadores, notebook e etc...

... são microchips que sozinhos não são eficazes, mas juntos se transformam em um mecanismo muito complexo e avançado...

Nesse último caso, como será possível perceber em outras respostas, o estudante entende que o termo *nano* refere-se a algo pequeno, assim como o termo *micro*, no entanto não parece notar diferença entre eles.

Outro grupo de alunos, diferentemente daquele que a materializou, conceituou a nanotecnologia como uma modalidade de tecnologia, considerando sua construção em pequena escala.

... é uma tecnologia que está sendo estudada para fabricar robôs em tamanho nano na escala, que serão munidos de uma alta inteligência e capazes de fazer várias coisas...

... nanotecnologia é tecnologia pequena...

... tecnologia de observar objetos pequenos, (hipótese) nanométricos...

... é a menor tecnologia...

... tecnologia de microprocessador...

... tecnologia de microcomponentes...

Nessas respostas, nota-se que os estudantes fazem referência ao termo *tecnologia*, classificando a nanotecnologia a partir do termo *nano*, possivelmente sabendo que o prefixo trata-se de algo pequeno. Nos dois últimos exemplos, além de referirem-se a uma modalidade de tecnologia, os alunos mencionam, também, aplicações da nanotecnologia.

Alguns estudantes conceituaram a nanotecnologia como uma modalidade de tecnologia, sem fazer referência ao tamanho:

... é a tecnologia de hoje em dia...

... que é uma tecnologia portátil...

... um ramo tecnológico altamente avançado...

Outros, talvez baseados naquilo que já tinham ouvido ou lido sobre o tema, relacionaram a nanotecnologia com as aplicações em medicina:

... pode ser usada em diversas áreas, seja na ajuda a cura de doenças ou no desenvolvimento de novas tecnologias...

... é uma ciência tecnológica nova aplicada em medicina...

Quando perguntei se os alunos queriam saber mais sobre a nanotecnologia ou se tinham curiosidade em saber o que era e para que servia, a maioria respondeu afirmativamente, como é possível ver no quadro abaixo:

Quadro 11 – Respostas dadas às duas últimas perguntas da segunda questão da Atividade 1

Gostaria de saber mais? Gostaria de saber o que é e para que serve?	Sim	Não
3ºA	22	0
	79%	0%
3ºB	20	1
	69%	3%
3ºC	25	0
	89%	0%
3ºD	25	0
	76%	0%

Por essas respostas, ainda que tenham sido dadas somente para agradar o pesquisador, nota-se uma predisposição em saber mais sobre o assunto ministrado nas aulas subsequentes.

4.1 MANIFESTAÇÕES DE ALGUNS ALUNOS

No intuito de fazer uma análise qualitativa das respostas dadas pelos estudantes às questões das atividades propostas durante a intervenção, passo a classificar algumas dessas respostas, utilizando aportes da análise do discurso, tentando identificar o modo como eles elaboraram-nas. Para isso, retomo os modos de repetição distinguidos por Orlandi (1998), a saber:

1) **Repetição empírica:** exercício mnemônico que não historiciza o dizer. No discurso falado seria aquele que o sujeito decora para dizer e, no discurso escrito, seria aquele que o sujeito copia da mesma forma como está escrito no texto.

2) **Repetição formal:** técnica de produzir frases, exercício gramatical que também não historiciza.

3) **Repetição histórica:** formulação que produz um dizer no meio dos outros, inscrevendo o que se diz na memória constitutiva, deslizamentos em relação ao já-dito.

Nessa parte da análise de dados, transcrevo algumas respostas dadas à terceira questão da Atividade 3: *Suponha que você vá explicar sobre Nanotecnologia a um amigo que ainda não aprendeu sobre este assunto. Utilize as linhas abaixo para escrever um e-mail a este amigo explicando aquilo que você entendeu sobre as últimas aulas de física.*

Como as informações foram coletadas em quatro turmas diferentes, resolvi sortear, dentre todas, uma delas para fazer essa classificação das respostas. Dado o apoio teórico-metodológico utilizado para a análise das respostas, o sorteio foi conveniente por considerar que a análise qualitativa, nesse trabalho, permite um tratamento adequado das informações que constituíram os dados.

A turma sorteada foi a turma C, composta por 32 alunos, dos quais 28 estavam presentes no dia em que foi realizada a Atividade 3, e 26 responderam a terceira questão da respectiva atividade. Antes de iniciar as análises, cabe considerar que é possível que diferentes partes de uma mesma resposta apresentem diferentes modos de repetição.

Em, pelo menos, sete respostas (27%), notei indícios da repetição empírica. Nesse caso, as respostas dos alunos constituíram-se como cópias de parte(s) do texto, sem historicização do dizer. Abaixo, transcrevo partes de duas respostas assim classificadas:

Um ponto importante no qual se baseia a nanotecnologia é o fato de que o tamanho de um objeto afeta as suas propriedades quando se atinge a escala nanométrica. [...] A nanociência e a nanotecnologia dedicam-se a desvendar essas novas propriedades e a explorar as suas múltiplas aplicações tecnológicas. É importante ressaltar, todavia, que além do tamanho dos objetos o que define a nanociência e a nanotecnologia são os novos procedimentos utilizados para se investigar o nanomundo.

[...] Outro fator que chama a atenção é que o átomo de carbono é um elemento versátil que pode ser encontrado em vários arranjos atômicos. Ele é a base de vários materiais de grande importância tecnológica e

também da própria vida. Outras formas de composição do carbono têm despertado “grande interesse” científico e tecnológico.

Os seguintes excertos estão na primeira parte do texto 1 (VALADARES; CHAVES; ALVES, 2005) e, provavelmente, tratam-se dos fragmentos utilizados pelo aluno para a elaboração da primeira resposta transcrita:

Um ponto importante no qual se baseia a Nanotecnologia é o fato de que o tamanho de um objeto afeta as suas propriedades quando se atinge a escala nanométrica (10^{-9} m).

[...] A Nanociência e a Nanotecnologia dedicam-se a desvendar essas novas propriedades e a explorar as suas múltiplas aplicações tecnológicas.

É importante ressaltar, todavia, que além do tamanho dos objetos o que define a nanociência e a nanotecnologia são os novos procedimentos utilizados para se investigar o nanomundo. (VALADARES, CHAVES & ALVES, 2005, p. 52).

Em relação à segunda resposta transcrita, na qual também há indícios da repetição empírica, os trechos possivelmente copiados pelo aluno também encontram-se no texto 1 (VALADARES; CHAVES; ALVES, 2005):

O átomo de carbono é um elemento versátil que pode ser encontrado em vários arranjos atômicos. Ele é a base de vários materiais de grande importância tecnológica e também da própria vida. [...]

Outras formas de composição do carbono têm despertado grande interesse científico e tecnológico. (VALADARES; CHAVES; ALVES, 2005, p. 59).

Nos casos mencionados e em outros que não foram aqui reproduzidos, houve repetição de trechos de um (ou mais) dos textos de maneira empírica. Apesar das cópias, devo atentar para o fato de que houve um trabalho sobre o texto com a escolha de determinado trecho como resposta à questão.

Também é possível que os estudantes tenham tido dificuldade de interpretar o que leram, buscando apenas copiar um trecho do texto, considerando-o como resposta. De qualquer modo, não posso descartar certa valorização da repetição empírica no ambiente escolar ao ponderar que ali é comum se considerar “errado” variações da resposta tida como “correta”, o que pode ter contribuído para a busca da resposta no texto.

Nesse ponto, convém ressaltar que o texto 1 (VALADARES; CHAVES; ALVES, 2005), possivelmente por se tratar daquele que procurou definir a nanotecnologia, utilizando-se de analogias e mencionando seus prováveis benefícios, foi o mais citado pelos alunos na formulação do *e-mail* solicitado no enunciado da questão. Também há a possibilidade de que por ter sido o primeiro a ser trabalhado por alguns alunos eles tenham se detido mais nesse texto.

Em pelo menos 11 respostas (42%), ainda referente à terceira questão da Atividade 3, notei indícios da repetição formal. Nesse caso, a interpretação é constituída de uma técnica de produzir frases em um exercício gramatical que também não historiciza o dizer.

No processo de repetição formal, o sujeito reelabora trechos do texto de forma que a resposta fica constituída de outras palavras, havendo a possibilidade de ocorrer equívocos durante essa reelaboração.

Apresento, abaixo, dois dos casos em que os alunos elaboraram parte de suas respostas repetindo algumas partes do texto com as próprias palavras:

[...] a cada dia mais produtos usando nanopartículas são produzidos e circulam por aí sem regulamentação. Essas nanopartículas podem causar grandes danos ao meio-ambiente e ao corpo humano, pois elas são muito pequenas e podem passar pelo nosso organismo sem serem percebidas. Além de tudo isso, a nanotecnologia promete revolucionar a guerra mais do que a pólvora. Será possível produzir soldados com corpos e cérebros “melhorados”, armas químicas e biológicas muito poderosas. [...]

Caro amigo [...] A nanotecnologia estuda as partículas em escalas nanométricas. Com essa tecnologia, dá pra construir várias coisas, ajuda em várias áreas, como na medicina, ajuda em novos medicamentos, já que outros não são solúveis em água. No meio ambiente pode ajudar na diminuição de vazamento do petróleo. [...]

Na primeira das respostas transcritas, o estudante reelaborou uma parte do texto 3 (GRUPO ETC, 2005). Com suas palavras, ele repete de maneira formal, provavelmente, os seguintes trechos:

Desconhecido e imprevisível: Governos, indústria e instituições científicas permitiram que produtos nanotecnológicos chegassem ao mercado sem que houvesse debate público e sem regulamentação. (GRUPO ETC, 2005, p. 29).

[...] As nanopartículas podem passar despercebidas pelos guardas do sistema imunológico do corpo, através das membranas de proteção, como a pele, a barreira do sangue do cérebro ou, talvez, da placenta. Estudos toxicológicos recentes sobre os impactos das nanopartículas no meio ambiente e saúde acendem alertas vermelhos [...] (GRUPO ETC, 2005, p. 31).

[...] Os especialistas preveem que a nanotecnologia irá mudar a forma de fazer guerras mais do que a invenção da pólvora. BANG irá produzir soldados com corpos e cérebros “melhorados”. Ela também conduzirá para o desenvolvimento de armas químicas e biológicas que são mais invasivas, mais difíceis de detectar e, virtualmente, impossíveis de combater. (GRUPO ETC, 2005, p. 33-34).

Na segunda resposta transcrita, que traz indícios da repetição formal, o aluno parece ter se baseado no texto 1 (VALADARES; CHAVES; ALVES, 2005) para a formulação do trecho. Seguem os possíveis fragmentos nos quais ele se baseou:

Um ponto importante no qual se baseia a Nanotecnologia é o fato de que o tamanho de um objeto afeta as suas propriedades quando se atinge a escala nanométrica (10^{-9} m). (VALADARES, CHAVES & ALVES, 2005, p. 52).

A área de medicamentos (fármacos) está sendo revolucionada pela nanotecnologia. Isto se deve ao fato de que quase a metade dos compostos com ação farmacológica não são solúveis em água. (VALADARES, CHAVES & ALVES, 2005, p. 67).

Um exemplo [...] é uso de nanopartículas magnéticas extremamente porosas na remoção de petróleo em águas contaminadas por acidentes de vazamento [...] (VALADARES, CHAVES & ALVES, 2005, p. 69).

Como é possível observar em ambos os casos, no processo de repetição formal, o sujeito não extrapola os limites do texto, detendo-se nele para formular sua resposta. Nos casos analisados, as respostas dos alunos foram elaboradas com outras palavras, ou melhor, com suas palavras. No entanto, nesse processo, não posso descartar as ações de mediação em sala de aula como contribuintes à elaboração das respostas dadas pelos estudantes.

Em outras respostas, pelo menos em oito delas (31%), notei indícios da repetição histórica, aquela na qual há a formulação do discurso, segundo o princípio da autoria, tocado pela história. Reproduzo duas repostas que me permitiram classificá-las dessa forma:

Caro amigo, tenho aprendido nas últimas aulas de física sobre o surgimento – ainda não concreto, de uma nova tecnologia. A nanotecnologia. Nano é a representatividade do tamanho da mesma, tão pequena e imperceptível que passa despercebida e se torna um ponto de interrogação para todos. As nanopartículas estão avançadas nas pesquisas na medicina, meio ambiente e segurança, mas apesar de poder significar uma solução para a saúde e o clima, ainda é melhor se afastar por falta de conhecimento sobre o assunto. Fique ligado no nanomundo, em breve novidades. Um abraço.

[...] Lembra que você tinha me perguntado sobre a nanotecnologia? O assunto gera muita pesquisa e evolui com o tempo. A nanotecnologia consiste na evolução tecnológica para a nanoescala. Sabe quando falam que tamanho não é documento? Então, isso se aplica exatamente nesta área. Tamanho é documento sim, desde que seja muito pequeno. É possível colocar a matéria de uma enciclopédia numa cabeça de alfinete. Infelizmente, ainda não sabemos os impactos desta tecnologia, mas, em alguns anos, podemos descobrir. PS: Se tiver alguma dúvida, me escreva [...]

Nessas transcrições, notei que os alunos parecem trazer elementos externos ao texto para a elaboração das respostas, o que caracteriza a repetição histórica. Nesse ínterim, é possível observar que, na repetição histórica, os discursos dos estudantes estão inscritos numa rede de filiações ligadas à sua memória discursiva.

Na primeira das respostas transcritas, o aluno menciona que o surgimento da nanotecnologia ainda não está *concreto*; que por ser tão *pequena e imperceptível*, a nanotecnologia torna-se *um ponto de interrogação*; que as nanopartículas podem *significar uma solução para a saúde e o clima*; e posiciona-se, afirmando que *é melhor se afastar por falta de conhecimento sobre o assunto*. Nessas sentenças, o aluno faz referências a pontos de vistas diferenciados, que foram abordados em sala de aula, ao mesmo tempo em que utiliza elementos que não estão diretamente presentes nos textos, mas ligados à sua memória discursiva, para explicar o que, provavelmente, mais lhe chama atenção.

Na segunda transcrição, o aluno também traz elementos externos aos textos para a elaboração de sua resposta. Afirma que a nanotecnologia *evolui*, ou melhor, que se trata de uma *evolução tecnológica*; questiona a importância do tamanho sem quantificar a escala nanométrica e conclui sobre a necessidade de sua consideração na constituição da nanotecnologia; retoma outros dizeres ao mencionar a possibilidade da inscrição do conteúdo de uma enciclopédia na cabeça de um alfinete; manifesta sua opinião sobre o desconhecimento dos *impactos* da nanotecnologia, de certa forma presente no texto 3 (GRUPO ETC, 2005). Em todas essas sentenças, nota-se que o aluno busca elementos constituintes de sua memória para formular o que diz.

Assim como no processo de repetição formal, há a possibilidade da ocorrência de equívocos no processo de repetição histórica. Já na repetição empírica, apesar de não haver a possibilidade de que sentidos interditados sejam percebidos nas respostas, nota-se o plágio e, assim, o estancamento do movimento da interpretação.

Na repetição histórica, o sujeito historiciza seu dizer ao construir a resposta. Nesse caso, há um trabalho da memória, ou seja, o sujeito utiliza-se de conhecimentos obtidos sócio historicamente, provocando deslizamentos em relação àquilo que foi dito em outros momentos/lugares/ocasiões/situações.

4.2 ACOMPANHANDO ALGUNS ALUNOS

A partir daqui, farei as análises dos discursos de quatro estudantes utilizando aportes teóricos da análise do discurso – AD – conforme mencionado no capítulo anterior. Procurarei compreender aspectos do imaginário desses alunos ao produzirem significados sobre nanociência e nanotecnologia, considerando as condições de produção que estabeleci a partir das leituras dos textos da unidade e das ações mediadas durante as aulas – condições de produção imediatas – e as determinadas historicamente.

Para a escolha dos alunos cujas respostas constituíram o conjunto de respostas analisadas, estabeleci alguns critérios, conforme cito abaixo:

- O Termo de Consentimento Livre e Esclarecido referente ao aluno deveria estar assinado;
- Os alunos deveriam ter participado de todos os dias em que houve atividades relacionadas à pesquisa e, além disso, respondido todas as questões;
- As respostas não deveriam ser semelhantes, de forma que suas análises deveriam permitir explorar, de forma mais abrangente, o apoio teórico adotado.

Seguindo esses critérios escolhi o conjunto de respostas de Júlio⁸, Flávia, Guilherme e Ana, ainda que os mesmos critérios pudessem fornecer mais conjuntos de respostas.

Apesar de já ter narrado como se deu a implementação da unidade de ensino, recapitularei o andamento das aulas para embutir movimento nas análises e para que algumas particularidades sejam focalizadas.

Com essas análises, procurarei atingir o objetivo precípua do trabalho: compreender interpretações de alunos do ensino médio, feitas a partir de textos de divulgação científica sobre nanociência e nanotecnologia em aulas de física, verificando alguns limites e possibilidades dessas leituras, com foco na questão de estudo levantada:

Como alunos do ensino médio produzem significados ao ler textos de divulgação científica relacionados à nanociência e à nanotecnologia?

⁸ Durante a análise de dados foram adotados nomes fictícios.

4.2.1 A produção de significados de Júlio

No primeiro dia de implementação da unidade, quando os alunos responderam a Atividade 1, Júlio menciona que gosta de ler e que leituras de cunho histórico agradam-lhe mais:

Gosto de ler, não tenho mais tanto tempo para ler, a leitura que mais me agrada é histórica.

Essa resposta ajudará na compreensão de outras falas por trazer algumas considerações importantes a respeito de Júlio. Em primeiro lugar, é necessário atentar para o fato de que ele disse gostar de ler. Isto deve ser levado em conta porque indica que ele pode ter um histórico de leituras já feitas que poderá auxiliá-lo na produção de significados e na formulação de determinados discursos sobre a temática estudada.

Isso parece ficar mais evidente quando se lê, na mesma resposta, que Júlio já não tem mais tanto tempo para se dedicar a leituras de seu gosto, ou seja, é bem provável que ele tenha destinado parte de seu tempo para leituras em algum momento anterior e, quando respondeu a questão, já não podia mais dedicar-se a elas, talvez devido a algum trabalho ou estudos. Entretanto, apesar dessas evidências, não posso descartar a possibilidade dele ter respondido o que acreditava que eu gostaria de ouvir.

Na segunda questão, quando lhe foi perguntado sobre os conhecimentos relacionados à nanotecnologia, Júlio responde que já tinha ouvido falar e que gostaria de aprender mais sobre o assunto:

Sim, em cursos. Nanotecnologia é a tecnologia de microprocessador, gostaria de saber mais, pois é o nosso presente.

A partir desta resposta, noto que uma das prováveis causas da falta de tempo de Júlio para dedicar-se a leituras possa ser a realização de cursos, ou de algum curso específico no contraturno. É comum na escola em que o estudo foi realizado que alguns alunos do 3º ano do ensino médio estejam matriculados em cursos técnicos ou em cursos pré-vestibulares, o que justifica, por um lado, a ausência de tempo e, por outro, maior ou menor dedicação ao curso regular no ensino médio.

Ainda sem analisar as interpretações de Júlio, mas já utilizando alguns aportes da AD, é importante considerar que ele já tenha adquirido algum conhecimento sobre nanotecnologia em

cursos, o que também pode ter-lhe auxiliado na produção de sentidos sobre este conteúdo, dado que aquilo que é dito em outro lugar refletirá nas suas/nossas palavras. De fato, condições de produção sócio históricas devem ser consideradas na compreensão do discurso.

Interessa-me saber o que o estudante conhecia sobre nanotecnologia antes da implementação da unidade de ensino. Neste caso específico, Júlio menciona que a nanotecnologia trata-se de uma *tecnologia de microprocessadores*. Observei que, sem definir qualquer termo, para ele a nanotecnologia é uma modalidade de tecnologia que remete a uma de suas aplicações. Júlio resgata dizeres, em condições mais amplas, a partir de sua memória, para responder o que conhecia sobre nanotecnologia.

Cabe ressaltar também aquilo que Júlio não disse e que, igualmente, significa em suas palavras. Na resposta, ele não se refere à nanoescala ou ao nanômetro. Ao mencionar que a nanotecnologia é aplicada em microprocessadores, faz-lhe sentido dizer que se trata de uma tecnologia desenvolvida na área computacional ou ali aplicada. Naquele momento, a quantificação desta escala era um dizível possivelmente não acessível a Júlio, havendo, inclusive, a possibilidade do desconhecimento da mesma.

O mesmo estudante menciona que gostaria de aprender mais sobre o assunto, por relacionar-se com seu cotidiano. Em seus dizeres, novamente pode-se ouvir o não dito. Neste caso, as aulas de física, pautadas nas teorias clássicas, aparentemente menos aplicadas hoje em dia, possivelmente não lhe interessem do mesmo modo que as aulas com abordagens de temas contemporâneos e/ou que envolvam tecnologias atuais. O aluno também resgata um elemento presente em algumas justificativas de pesquisadores para a introdução de conteúdos de FMC no EM: a ênfase em fenômenos presentes no cotidiano dos estudantes.

Após a leitura do texto introdutório, seguida da explicação do conteúdo, e do texto 1 (VALADARES; CHAVES; ALVES, 2005), Júlio respondeu a Atividade 2. Quando lhe foi perguntado se tinha gostado de ler o texto 1 (VALADARES; CHAVES; ALVES, 2005), ele menciona:

Claro, apresentou-me um mundo novo, onde tudo é minúsculo.

Nesse discurso, Júlio reafirma seu gosto pela leitura. Respondendo com a palavra *claro* ele proporciona continuidade na resposta, deixando-a fluida.

Ao dizer que o texto apresentou-lhe um *mundo novo*, Júlio também reafirma o interesse em aprender coisas novas, aquelas que ele ainda não conhecia. É possível, ainda, atribuir outros

sentidos a partir de seus dizeres: para Júlio, o texto permitiu enxergar aquilo que está oculto, tanto pelo currículo escolar usual, quanto pelo tamanho, numa referência à escala nanométrica, *onde tudo é minúsculo*.

Na segunda questão da Atividade 2, quando foi solicitado aos alunos que elaborassem síntese(s) do(s) texto(s) lido(s), Júlio escreve:

O nanomundo é aquele onde o tamanho das coisas é 10^{-9} m, ou seja, minúsculos e invisíveis a olho nu. Pegando, por exemplo, um bloco de ferro ao ser reduzido, algumas características e propriedades mudam, como a cor, forma ou então, a temperatura de fusão, e imantabilidade. A fim de estudar novas características e propriedades, existe a nanociência e nanotecnologia, capazes de dotar as novas características.

Nessa resposta, diferentemente da segunda resposta dada à Atividade 1, o aluno quantifica a escala nanométrica.

Para tentar compreender como Júlio elaborou sua resposta, é necessário considerar as leituras recomendadas a ele. O texto introdutório, aplicado na primeira aula da implementação da unidade, expõe algumas considerações relacionadas ao tamanho, como em:

O avanço da ciência e da tecnologia tem proporcionado a miniaturização dos aparatos de tal forma que, atualmente, já existem materiais que foram obtidos a partir de pesquisas numa escala em que o objeto investigado é invisível a olho nu e impossível de ser observado com microscópios convencionais.

Já o texto 1 (VALADARES; CHAVES; ALVES, 2005), que foi entregue a Júlio anteriormente à realização da Atividade 2, traz os seguintes trechos na primeira seção:

Um ponto importante no qual se baseia a Nanotecnologia é o fato de que o tamanho de um objeto afeta as suas propriedades quando se atinge a escala nanométrica (10^{-9} m).

Um pequeno cubo de ferro ilustra bem o que acontece quando é subdividido sucessivamente, gerando blocos cada vez menores. O cubo original apresenta propriedades específicas do elemento ferro: ponto de fusão, cor característica, imantação (transforma-se em ímã permanente na presença de um campo magnético), etc. Enquanto as dimensões dos pequenos cubos se encontrarem fora da escala nanométrica, as suas propriedades físicas não dependem do tamanho dos blocos. [...]

Enfim, o que caracteriza tanto a nanociência quanto a nanotecnologia é a adoção de técnicas que permitem tanto visualizar como manipular a matéria na escala nanométrica, incluindo a manipulação direta de átomos. (VALADARES; CHAVES; ALVES, 2005, p. 52-53).

Ao dizer que o nanomundo é mensurado na escala nanométrica (10^{-9} m), ainda que o estudante tenha copiado do texto, é possível notar que seu discurso é afetado por ele. Ao

continuar a sentença, Júlio retoma o já-dito, o interdiscurso e, mais uma vez, relaciona a escala nanométrica a objetos *minúsculos e invisíveis a olho nu*.

É possível notar também que sua resposta é afetada pelas leituras do texto introdutório, do texto 1 (VALADARES; CHAVES; ALVES, 2005) e, talvez, pela mediação sobre o conteúdo do texto introdutório: pelas condições de produção imediatas. Nesse caso, o estudante diz, com outras palavras, aquilo que é dito nessa parte do texto lido por ele. Neste ponto, observo um processo de repetição formal, portanto, sem historicização do dizer.

Convém ressaltar que, em relação ao texto 1 (VALADARES; CHAVES; ALVES, 2005), noto referências somente à primeira parte. A esse respeito, algumas possibilidades devem ser consideradas: a primeira delas refere-se ao fato de que o aluno pode não ter lido o restante do texto; outra possibilidade é a ausência de produção de significados sobre aquilo que ele pode ter lido, por não estar inscrito numa formação discursiva que lhe determinasse o que podia ser dito a partir dessa leitura, o que me parece menos provável, pois a linguagem do final do texto não é composta de signos diferenciados dos da primeira parte. É possível ainda que, mesmo tendo lido e produzido significados sobre o restante do texto, o estudante tenha resolvido abreviar sua resposta escrita.

Na terceira questão da Atividade 2, quando é solicitado que os estudantes a respondam baseando-se nas apresentações de todos os grupos, Júlio faz referência a pelo menos dois textos, notando embates entre eles:

O uso para fins científicos, ela pode ajudar-nos a achar a cura para tudo. Mas quando usada para a guerra, ela pode nos matar. Portanto, a que nos salva, pode nos matar.

Embora nenhum texto fale em *cura para tudo*, possivelmente, ele faz uma extrapolação, ou mesmo a exposição feita pelos colegas, neste caso, pode ter colaborado para que sentidos interditados fossem produzidos sobre a temática abordada. Por sua extrapolação ou pela mediação dos colegas, é possível que Júlio tenha notado que as aplicações da nanociência e da nanotecnologia podem ser prejudiciais para a sociedade. De fato, ele traça um paralelo entre dois extremos: a vida e a morte, a cura de doenças e a guerra.

O texto 1 (VALADARES; CHAVES; ALVES, 2005), que Júlio havia lido e cuja apresentação também foi feita por outros grupos, enfoca questões relacionadas à saúde em algumas seções, como em:

Outro processo consiste em injetar no organismo nanopartículas magnéticas que por sua natureza são facilmente “devoradas” por células de tumores cancerígenos. Como essas partículas são ímãs minúsculos, quando um campo magnético oscilante é aplicado na região do tumor, elas oscilam acompanhando o campo externo. Isso gera um aquecimento seletivo das células que contêm as partículas, que são destruídas quando a temperatura atinge cerca de 42°C. O uso de nanopartículas magnéticas na medicina encontra-se em fase de intensa pesquisa. Os resultados já obtidos em escala de laboratório são bastante encorajadores e é de se esperar que eles sejam incorporados à prática médica. (VALADARES; CHAVES; ALVES, 2005, p. 68-69).

Já o texto 3 (GRUPO ETC, 2005), que Júlio ainda não tinha lido, traz a seguinte sentença, que foi focalizada por alguns grupos durante as apresentações:

[...] Esses produtos estão sendo desenvolvidos simultaneamente para usos civis e militares. Os especialistas preveem que a nanotecnologia irá mudar a forma de fazer guerras mais do que a invenção da pólvora. BANG irá produzir soldados com corpos e cérebros “melhorados”. Ela também conduzirá para o desenvolvimento de armas químicas e biológicas que são mais invasivas, mais difíceis de detectar e, virtualmente, impossíveis de combater. (GRUPO ETC, 2005, p. 34).

Se considerar que a resposta de Júlio, citada anteriormente, tenha sido afetada pela leitura do texto 1 (VALADARES; CHAVES; ALVES, 2005) e pelas exposições dos colegas, e assim, que a nanotecnologia poderia ser usada tanto para fins medicinais quanto para fins bélicos, nota-se que ele também pode ter sido impelido pelas suas experiências e estabelecido relações em sua resposta: para ele, a medicina cura e a guerra mata. Júlio foi autor e, por haver deslizamentos em relação ao já-dito, podem ser percebidos indícios da repetição histórica em sua resposta.

Para o terceiro conjunto de questões que compuseram a Atividade 3, propus que Júlio lesse os textos 2 (SHULZ, 2009) e 3 (GRUPO ETC, 2005). Quando perguntado se ele tinha gostado de ler os textos, responde:

Claro, o texto apresenta uma outra posição ao assunto.

Júlio, como na resposta à primeira questão da Atividade 2, embute movimento à sua resposta e nota que os textos apresentam posições controversas quanto à abordagem da nanotecnologia.

No entanto, mesmo percebendo que os textos são controversos, quando questionado sobre as possíveis causas de interpretações diferentes, na segunda questão, Júlio apresenta uma resposta mais geral sobre o conteúdo de dois textos lidos:

Primeiramente, um texto se mostra a favor da tecnologia, mostrando a utilização e bens feitos a partir dela. Já o outro, aborda uma visão negativa, mostrando os riscos e possíveis problemas a ela.

Ele elabora sua resposta mantendo a ordem cronológica de leitura dos textos, ou seja, na primeira parte da resposta traz informações sobre o primeiro texto lido. Já na segunda parte traz informações sobre a leitura do segundo texto.

A partir dessa e da resposta anterior, noto que, possivelmente, Júlio leu apenas um dos textos recomendados para a terceira atividade, pois ele usa o singular em ambas as respostas para referir-se às leituras recomendadas. Devo levar em conta também as possibilidades que considerei anteriormente, quando foi solicitada a Júlio a leitura do texto 1 (VALADARES; CHAVES; ALVES, 2005): a de que ele possa ter lido o outro texto, mas, sem manifestar a produção de sentidos sobre o mesmo, refere-se somente a um deles, ou ter abreviado a escrita da resposta, mesmo produzindo sentidos sobre ambos os textos. Outra possibilidade é a de que ele possa ter lido e generalizado, considerando que os dois textos diziam "o mesmo".

Processos históricos quase não são abordados nas disciplinas de cunho científico no ensino médio e, quando o são, o conteúdo é quase sempre visto em forma de curiosidades, sob a perspectiva biográfica de alguns cientistas cujos trabalhos se destacaram. Ainda que em uma das ações de mediação tenha sido explicado que os cientistas nem sempre estão em consenso na produção do conhecimento científico, é possível que Júlio não tenha relacionado a controvérsia presente nos textos com embates teóricos existentes na ciência, possivelmente, porque os conteúdos relativos à ciência são abordados na escola quase sempre sem ter em conta as possíveis controvérsias em torno dessa instituição.

Na terceira questão, quando Júlio escreve o que explicaria a um amigo sobre nanotecnologia, noto indícios das condições de produção imediatas e de sua memória discursiva na constituição de sua resposta:

Caro amigo, estamos passando por mudanças na tecnologia, que vêm nos permitindo ter melhorias, a principal área que rende frutos é a Nanotecnologia. Ela que transforma e aplica os materiais nanos, que são minúsculos e funcionalmente úteis à nosso dia a dia. De fato, como base de todas as tecnologias, há prós e contras à cerca da nano, um pró seria a cura para todas as doenças, e o contra seria que, se falhar, pode nos matar. Enfim a nanotecnologia vem sendo útil em produtos e cosméticos, mas não tão confiáveis para fins médicos. Falou :]

Nessa resposta Júlio reproduz alguns dos dizeres mencionados em outras questões, como a relação da escala nanométrica com objetos *minúsculos* e a ideia de que pesquisas em nanotecnologia poderiam investigar e encontrar a *cura para todas as doenças*. Seus dizeres estão relacionados com sua memória discursiva, que sustenta cada tomada de palavra. A tendência a certa radicalização também pode ser notada quando ele, logo no início de sua fala, se refere à nanotecnologia como *principal área*.

Dessa forma, mesmo decorrido um período de tempo entre as primeiras aulas de implementação da unidade e a realização da Atividade 3, Júlio retoma sentidos pré-construídos com as leituras do texto introdutório, do texto 1 (VALADARES; CHAVES; ALVES, 2005) e, possivelmente, com as apresentações dos seus colegas: [...] *De fato, como base de todas as tecnologias, há prós e contras à cerca da nano, um pró seria a cura para todas as doenças*.

É possível que a última aula expositiva do conjunto de aulas sobre a temática também tenha colaborado para que Júlio produzisse significados sobre nanociência e nanotecnologia. Na última frase da resposta, assim como na aula expositiva, ele cita a área de cosméticos como uma das que faz uso de partículas nanométricas, considerado, por ele, como um uso *útil*.

Nos sentidos produzidos por Júlio prevalecem outras ideias presentes em seu imaginário sobre possíveis consequências da nanotecnologia: *pode nos matar*. No entanto, pela sua resposta, noto que já não são somente as aplicações militares que podem causar consequências tão graves. Dessa vez, Júlio não menciona de onde provêm essas causas, podendo, inclusive, ser as aplicações medicinais. Ele relata, ao final, que as aplicações da nanotecnologia não são *tão confiáveis para fins médicos*.

O texto 3 (GRUPO ETC, 2005), que integrava o conjunto de textos que deveriam ser lidos para a realização da Atividade 3, traz alguns trechos relacionados à saúde e à medicina. Um deles é o seguinte:

Nanopartículas mostram diferente toxidez do que as versões maiores de um mesmo composto. Esse é um aspecto a considerar, porque as nanopartículas podem se mover facilmente para dentro do corpo e passar pelo sistema imunológico sem ser percebidas. Com 70 nanômetros, as nanopartículas podem se incrustar profundamente no tecido pulmonar; uma partícula de 50nm pode introduzir-se dentro das células sem ser notada. Partículas tão pequenas quanto 30nm podem atravessar a barreira do sangue no cérebro. (GRUPO ETC, 2005, p. 30).

Quando Júlio cita a medicina como uma área que pode fazer mau uso da nanotecnologia, esse pode ter sido um dos trechos em que ele se baseou para elaborar sua resposta. Certamente,

houve uma nova produção de sentidos caso seja considerado que, em respostas anteriores, e, mesmo nessa, ele faz referência à *cura de todas as doenças* a partir das pesquisas em nanotecnologia pela área médica. Dessa forma, Júlio formula sua resposta provocando deslizamentos em relação ao interdiscurso, enfatizando aspectos sociais. Portanto, novamente é possível perceber indícios da repetição histórica em seu discurso.

4.2.2 A produção de significados de Flávia

Ao ser questionada sobre os interesses por leituras, Flávia responde que gosta de ler, mas como demora para fazê-las, não costuma ler muito:

Sim, como demoro pra ler livros, então não leio muito. Gosto muito de ler livros e revistas, mas adoro livros de mistério e romances.

Quando lhe foi perguntado se já tinha ouvido falar sobre nanotecnologia e se lhe interessava possíveis abordagens sobre o tema, Flávia responde:

Não. Sim, gostaria.

Destas poucas palavras de Flávia é possível deduzir que a produção de significados sobre nanociência e nanotecnologia não será baseada em conhecimentos prévios sobre a temática, podendo ser feita a partir da implementação da unidade de ensino, seja através da leitura dos textos, seja através das ações de mediação.

Para a Atividade 2, Flávia leu os textos 2 (SHULZ, 2009) e 3 (GRUPO ETC, 2005). Quando, na primeira questão dessa atividade, é perguntado se tinha gostado de ler o texto proposto, Flávia responde:

Não. O assunto não me interessou e achei difícil de entender.

Na primeira questão da Atividade 1, Flávia menciona que adora ler *mistérios e romances*, portanto era provável que a divulgação científica não lhe despertasse interesse. Diferente de Júlio, que mesmo gostando de leituras que envolvam contextos históricos, achou que a divulgação científica apresentou-lhe um mundo novo, função que antes, aparentemente, ele atribuía à História.

Considerando que leituras já feitas ajudam a determinar sentidos sobre leituras que ainda serão realizadas, ou ainda, que o sujeito leitor estabelece relações com os textos conforme sua historicidade, é possível inferir que a dificuldade de Flávia pode estar relacionada à ausência de um saber discursivo que lhe permitisse estabelecer relações com os textos lidos, ainda que escritos em linguagem considerada comum.

Abaixo segue a transcrição da síntese elaborada por Flávia como resposta ao segundo quesito da Atividade 2:

A nanotecnologia faz, muitas vezes, afirmações irrealis: resolução de problemas da fome, cura do câncer e limpeza do meio ambiente. Outros dizem que ela pode aprimorar e deixar mais barato o diagnóstico de doenças em pessoas e em cultivos. Mesmo que essas melhorias ocorram, a ciência focaria nos menos favorecidos e/ou que não têm condições financeiras para bancar os altos custos dessa tecnologia? Não, obviamente. Essa “aquisição” apenas abrangeria a rica camada da sociedade. Como lido no texto, as nanopartículas causam muito mais danos do que benefícios (e isto foi comprovado por grandes instituições americanas). Os testes feitos em animais mostraram que, quando injetadas no organismo, por passarem despercebidas pelo sistema imunológico, causaram danos como a coagulação do sangue e paralisia cerebral e ambos causam a morte.

Cabe observar alguns trechos dos textos lidos por Flávia, como feito com Júlio. O texto 3 (GRUPO ETC, 2005), recomendado a ela para a realização da Atividade 2, traz o seguinte excerto:

Similar às promessas das tecnologias nuclear e química, e da biotecnologia, os entusiastas da nanotecnologia fazem afirmações fantasiosas: ela irá resolver os problemas da fome e da pobreza, curar o câncer e limpar o meio ambiente. Outros cientistas ressaltam que a nanotecnologia pode aprimorar e baratear os diagnósticos de doenças em pessoas e cultivos e melhorar a purificação da água e a eficiência das células solares. Também pode reduzir a demanda por matérias-primas, aumentar a reciclagem e reduzir os custos de transporte e energia. Mas ainda que o diagnóstico das doenças melhore, irá a pesquisa das corporações focar os problemas dos menos favorecidos? E as drogas patenteadas terão preços acessíveis?

A verdade simples é que novas tecnologias não podem resolver velhas injustiças. A globalização – na forma do sistema atual de comércio, financeiro e de patentes – assegura que o controle das novas tecnologias permanecerá com os ricos. (GRUPO ETC, 2005, p. 34-35).

Ao elaborar a síntese, em alguns trechos, Flávia diz, com outras palavras, o que o texto traz em suas páginas. Nesse caso, é possível perceber indícios da repetição formal em sua resposta.

No entanto, atentando para o fato de que segundo sua resposta, no início do trabalho com a unidade, sua memória discursiva ainda não sustentava dizeres relacionados à nanociência e à nanotecnologia e sem negar que possa ter havido produção de significados sobre a temática somente com a leitura dos textos, noto que outros sentidos puderam ser produzidos por Flávia.

Se o texto pergunta: “[...] mas ainda que o diagnóstico das doenças melhore, irá a pesquisa das corporações focar os problemas dos menos favorecidos? E as drogas patenteadas terão preços acessíveis?” (GRUPO ETC, 2005, p. 34), Flávia, em sua síntese, reelabora essas questões: *Mesmo que essas melhorias ocorram, a ciência focaria nos menos favorecidos e/ou que não têm condições financeiras para bancar os altos custos dessa tecnologia?* E, em seguida, responde-a: *Não, obviamente*. Interpelada pela ideologia, ela concorda com a sequência que é dada ao texto e, ao continuar sua resposta, parece estar convicta (*obviamente*) de que o progresso da tecnologia atinge apenas determinada parcela da sociedade, manifestando uma posição crítica em relação ao seu funcionamento.

Pelo discurso de Flávia também noto a incompletude do texto. Quando é mencionado, no texto, que a ingestão de fulerenos por coelhos mostrou “[...] um aumento na suscetibilidade à coagulação do sangue” (GRUPO ETC, 2005, p. 32), Flávia interpreta como se toda coagulação sanguínea fosse danosa à saúde: *[...] testes feitos em animais mostraram que, quando injetadas no organismo, [...] causaram danos como a coagulação do sangue*. Sua leitura é apenas uma das possíveis leituras do texto, que não é uma unidade fechada, sendo seu fechamento feito pelo leitor, inscrito em uma formação discursiva, pela qual determinados sentidos são atribuídos e não outros, ainda que com equívocos.

Na última questão da Atividade 2, Flávia apresenta suas conclusões a respeito das aplicações da nanotecnologia:

A nanotecnologia, a princípio, faz mal tanto para nós, quanto para a ecologia. Porém, acreditava-se que ela faria bem, suprimindo as necessidades biológicas, mas logo foi admitindo o contrário.

Os sentidos atribuídos por Flávia sobre nanociência e nanotecnologia nessa parte da atividade, possivelmente, são baseados em suas interpretações ao longo das primeiras aulas. Com essa resposta, noto que Flávia, ao esboçá-la, relaciona o que foi lido com o que ela podia/devia dizer. Dessa forma prevaleceram em seu imaginário as ideias contidas nos textos lidos e não aquelas oriundas das apresentações dos grupos ou do texto introdutório.

Para a Atividade 3, Flávia leu o texto 1 (VALADARES; CHAVES; ALVES, 2005) e quando lhe foi perguntado se tinha gostado da leitura, ela responde afirmativamente:

Sim. Depois de ler mais sobre o assunto, descobri que é uma matéria interessante, porém complexa.

Se, a partir dos primeiros textos, o assunto não lhe interessou e ela achou difícil entendê-los, a partir desse texto, Flávia muda de opinião, mencionando que gostou da leitura.

Recorro, mais uma vez, a um saber discursivo que sustenta outros dizeres, para salientar a probabilidade de que Flávia tenha descoberto que o assunto era interessante devido às leituras feitas anteriormente, ou seja, a leitura do texto recomendado a Flávia para a Atividade 3 já se assentava em leituras anteriores, diferentemente das primeiras leituras que ela realizou, permitindo que algumas relações fossem feitas. A esse respeito, ela mesma percebe que novas leituras favoreceram o entendimento do conteúdo, quando afirma: *depois de ler mais sobre o assunto [...]*.

Com essa percepção, noto que Flávia está se inserindo no tema. A partir de então, alguns dizeres já podem ser ditos **por** ela e **para** ela, ainda que ela considere a *matéria [...] complexa*.

Na resposta à segunda questão, Flávia nota a contradição entre os textos e afirma que as diferenças entre eles devem-se aos seus autores:

Os autores têm visões diferentes sobre o tema, alguns acham que a nanotecnologia favorece os humanos e outros, que trás prejuízos.

As leituras dos textos da unidade fizeram com que Flávia estabelecesse relações em sua resposta, considerando que os textos sugeriram interpretações diferentes ainda que aparentemente referindo-se ao mesmo tema por causa de pontos de vista diferenciados dos autores sobre o assunto.

Para chegar a essa conclusão, há indícios de que Flávia extrapolou os limites dos textos e lançou um olhar crítico sobre eles, diferente de Júlio, que se manteve o tempo todo nos textos ao responder a mesma questão. Nesse deslocamento, ela historiciza o dizer e apresenta indícios da repetição histórica em sua resposta.

Na terceira e última questão da Atividade 3, a aluna elabora a resposta baseando-se em aplicações da nanotecnologia:

A nanotecnologia é o futuro do mundo. Ela tem micropartículas que podem, por exemplo, detectar quando uma fruta está podre. Porém ela não será muito acessível, infelizmente ☹. Ela tem pequenos circuitos integrados que permitem serem impermeáveis e até dobráveis. Seria uma facilidade muito grande, não é? Bom, procure mais sobre o assunto, assim como eu farei, pois o futuro está aí!

É provável que a aula expositiva ministrada no penúltimo dia de implementação da unidade de ensino tenha permeado a resposta de Flávia, pois nessa aula foram abordados alguns avanços tecnológicos possíveis com os avanços das pesquisas em nanociência e nanotecnologia, como a fabricação de dispositivos e tecidos hidrofóbicos.

Ao iniciar a resposta, ela tende à radicalização: *A nanotecnologia é o futuro do mundo* e, ao final, após explicar do que a nanotecnologia trata, ela analisa que o futuro, se não começou, já se inicia, portanto, considera a necessidade de pesquisar sobre o tema para conhecer o funcionamento de prováveis lançamentos tecnológicos baseados na nanotecnologia.

Possivelmente afetado pelas mediações ocorridas durante as aulas e por um dos textos lidos, sem descartar sua própria história, o discurso de Flávia, mais uma vez, faz referência à exclusão de parcela da sociedade que não conseguirá usufruir dos aparatos mencionados por ela.

O posicionamento de Flávia também reflete um apreço por novas tecnologias e, provavelmente, por isso, ela tenha focalizado as possíveis aplicações da nanotecnologia na sua resposta, em detrimento das consequências, das quantificações e conceituações do termo.

Seu apreço por novas tecnologias fica evidente quando suas respostas são comparadas: se ela responde a primeira questão da Atividade 2 afirmando que os primeiros textos, cujo conteúdo estava voltado para possíveis riscos associados às aplicações da nanotecnologia, não lhe agradaram, ela encerra a Atividade 3, pela qual promissoras aplicações foram focalizadas no último texto lido por ela e na aula expositiva, incentivando/aconselhando e afirmando que pesquisará sobre o assunto, demonstrando satisfação com o conteúdo que foi abordado em sala de aula.

4.2.3 A produção de significados de Guilherme

Quando perguntado sobre o gosto, o costume e os tipos de leituras que mais agradavam os alunos, na primeira atividade, Guilherme responde:

Gosto e costume ler, geralmente livros e revistas. Livros de ficção, romance e fantasia. Revistas que contenham curiosidades e inovações na tecnologia, na área ambiental.

Percebe-se que esse estudante detalha bem sua resposta, procurando responder todas as perguntas presentes no primeiro tópico.

Ao ser perguntado se gosta de ler, responde: *gosto [...]*; ao ser questionado sobre seu costume, responde: *costumo [...]*; ao ser indagado sobre o quê gosta ou costuma ler, ele responde: *[...] livros e revistas*. Procurando responder todas as perguntas que compuseram o primeiro tópico da Atividade 1, Guilherme expande sua resposta ao mencionar o tipo de leitura que mais o agrada. Se ele responde que gosta/costuma ler livros, responde que *livros de ficção, romance e fantasia* estão entre seus preferidos. Seguidamente, como responde que também gosta/costuma ler revistas, nessa ordem, ele responde quais os conteúdos de revistas que mais o agrada: aquelas que contêm *curiosidades e inovações na tecnologia, na área ambiental*.

A resposta de Guilherme sobre as leituras que menciona gostar e costumar fazer, ainda que, supostamente, procurando antecipar-se quanto ao sentido que suas palavras pudessem produzir, ou seja, ainda que procurando responder da forma como seu interlocutor esperasse que ele respondesse, segundo suas suposições, ajuda-me a considerar que condições de produção em sentido amplo (leituras já feitas) podem tê-lo auxiliado nas leituras dos textos da unidade e na formulação das respostas às questões das atividades: Guilherme, além dos livros de ficção, romance e fantasia, gosta/costuma ler sobre inovações tecnológicas em revistas e complementa que costuma ler conteúdos que envolvem o meio ambiente, assuntos abordados nos textos da unidade de ensino.

Ao ser questionado sobre a eventualidade de já ter ouvido falar sobre nanotecnologia, Guilherme responde negativamente, mas, possivelmente baseando-se em conhecimentos sobre a etimologia do prefixo *nano*, a partir de leituras já feitas, lança uma hipótese, mesmo sem quantificar a escala nanométrica:

Não, tecnologia de observar objetos pequenos, (hipótese) nanométricos, gostaria de saber o que realmente é.

Após ler o texto 1 (VALADARES; CHAVES; ALVES, 2005), ao ser perguntado se tinha gostado de lê-lo, na Atividade 2, Guilherme responde:

Sim, pois trata de uma tecnologia que aos poucos vai evoluindo mais e pode ser aplicada em diversas áreas da ciência, evoluindo e desenvolvendo as faculdades ligadas à ciência, ou seja, maior conhecimento.

Pela justificativa da resposta afirmativa, o estudante concorda que a nanotecnologia é um campo em evolução, onde pesquisas estão sendo realizadas, e ainda menciona que gostou do texto lido pelo caráter multidisciplinar que a nanotecnologia engloba. Com certa dificuldade para formular sua justificativa, talvez por ainda não ter ouvido falar ou lido sobre nanotecnologia, Guilherme elabora sua resposta com as palavras que lhe são acessíveis. Nesse caso, suponho que alguns termos, como multidisciplinaridade, por exemplo, parece ainda não lhe fazerem sentido e, talvez, por isso, não os utiliza.

O estudante também parece entender que a nanotecnologia é desenvolvida à parte e, ao ser aplicada em diversas áreas da ciência, pode contribuir para a evolução e o desenvolvimento das faculdades ligadas a ela.

Um possível trecho do texto no qual Guilherme se baseou para a elaboração de sua resposta é o seguinte:

O estudo e a utilização de objetos nanométricos vêm de longa data. Os químicos, por exemplo, há muito estudam como os átomos se juntam para formar moléculas. Deste modo a química deveria ser incorporada, pelo menos em parte, à nanociência. O mesmo poderia ser dito em relação à biologia, uma vez que os organismos vivos são formados a partir de objetos nanométricos, ou seja, a partir de moléculas complexas ou de arranjos ainda mais complexos dessas moléculas. (VALADARES, CHAVES & ALVES, 2005, p. 52).

Na segunda parte da Atividade 2, quando os alunos tiveram que elaborar uma síntese do primeiro texto lido, Guilherme escreve o seguinte resumo:

A nanotecnologia é visualizada e estudada em objetos numa escala nanométrica (10^{-9} m). Os elementos quimicamente conhecidos possuem comportamentos, propriedades e características diferentes na escala real. Como um bloco de ferro nanométrico, sua cor pode mudar, fusão em temperaturas mais baixas, etc. A nanociência dedica-se a estudar essas propriedades e explorar as aplicações nas áreas científicas. Na área da Química, a nanociência funciona para projetar e manipular moléculas por meio da manipulação da matéria em escala atômica. Resumindo melhor, a nanotecnologia explora as novas propriedades e como aplicá-las, manipulando-as para projetar e estudar elementos químicos em escala nanométrica.

A primeira parte do texto lido por Guilherme traz os seguintes trechos:

Um ponto importante no qual se baseia a Nanotecnologia é o fato de que o tamanho de um objeto afeta as suas propriedades quando se atinge a escala nanométrica (10^{-9} m).

Um pequeno cubo de ferro [...] apresenta propriedades específicas do elemento ferro: ponto de fusão, cor característica, imantação (transforma-se em ímã permanente na presença de um campo magnético), etc. [...]

[...] Quando os cubos atingem a escala nanométrica, mudanças drásticas começam a ocorrer. Os nanoblocos fundem-se a temperaturas mais baixas e deixam de formar ímãs, entre várias outras alterações dependentes do tamanho dos cubos.

[...] A Nanociência e a Nanotecnologia dedicam-se a desvendar essas novas propriedades e a explorar as suas múltiplas aplicações tecnológicas.

[...] Os químicos [...] utilizam agora técnicas mais elaboradas. Inicialmente uma nova molécula é projetada. Para fabricá-la são utilizados métodos que envolvem manipulação da matéria na escala atômica [...]

Enfim, o que caracteriza tanto a nanociência quanto a nanotecnologia é a adoção de técnicas que permitem tanto visualizar como manipular a matéria na escala nanométrica, incluindo a manipulação direta de átomos. (VALADARES; CHAVES; ALVES, 2005, p. 52-53).

Se comparados os trechos do texto com a síntese de Guilherme, nota-se que ele diz, com outras palavras, o que é dito na primeira parte do texto lido. A escala nanométrica, dessa vez, foi quantificada e o estudante parece entender que materiais mensurados na escala nanométrica podem sofrer alterações em suas propriedades se comparados com os mesmos materiais mensurados na escala macroscópica. É possível notar, portanto, um processo de repetição formal na resposta do estudante.

Nessa síntese, ainda que implicitamente, Guilherme volta a fazer referência à ramificação do conhecimento científico. Para ele, *a nanociência dedica-se a [...] explorar as aplicações nas áreas científicas*. Mais que isso, na sequência da resposta, ele cita um exemplo *na área da Química*, em conformidade com o texto lido.

Na terceira questão da Atividade 2, passadas as apresentações dos grupos e a primeira aula expositiva, foi solicitado aos estudantes que apontassem as conclusões a que tinham chegado a partir das leituras feitas e das mediações dos colegas.

Abaixo, transcrevo a resposta de Guilherme:

As aplicações são amplas, porém incompletas ainda. Os estudos vão avançando cada vez mais em prol da saúde e do desenvolvimento tecnológico. Mas sempre existem empecilhos, como questões econômicas e políticas, como o custo das aplicações nanotecnológicas. Pode ser muito importante na medicina e em questões ambientais de tratamento de água e despoluição de grandes extensões de água. O avanço pode ser grande na biomedicina na produção de fármacos solúveis em água.

As ações de mediação possivelmente afetaram a resposta de Guilherme quando ele relata que as aplicações da nanotecnologia são *incompletas* ou que *empecilhos* podem atravancá-las. Até então, esse aluno não havia lido os dois textos que complementavam a unidade de ensino.

Dessa forma é possível notar que aquilo que foi dito em outro lugar, durante as apresentações dos grupos, a aula expositiva ou mesmo aquilo que o estudante já tinha ouvido ou lido, vindo pela história, pela memória, transparece em sua resposta.

Conclusões que parecem ser atingidas pelo próprio estudante, sugerindo ser ele a origem do que disse, são marcantes em sentenças, como em: *As aplicações são amplas, porém incompletas ainda. [...] Mas sempre existem empecilhos, como questões econômicas e políticas, como o custo das aplicações nanotecnológicas.*

Também é possível notar que o texto 1 (VALADARES; CHAVES; ALVES, 2005), lido por Guilherme, também afeta sua resposta. Se no quesito 2, quando ele elaborou a síntese, percebi indícios somente da primeira parte desse texto em sua resposta, na transcrição acima, os dizeres do estudante constituem efeitos de sentidos em que estão presentes outras partes do mesmo texto.

Dito de outra forma, o teor de textos desenvolvidos a partir de subtítulos presentes no texto 1 (VALADARES; CHAVES; ALVES, 2005) como: “Obtenção de Água Doce com Nanotubos”; “Impacto da Nanotecnologia em Medicina” e “Nanotecnologia e o Meio-Ambiente: Uso de Partículas Magnéticas Porosas na Remoção de Manchas de Petróleo Presentes na Água” aparecem na resposta de Guilherme, ainda que de forma abreviada. Nesse caso, tanto pode o aluno ter elaborado sua resposta a partir daquilo que leu, quanto a partir das mediações dos colegas.

Por exemplo, segundo Guilherme, [...] *o avanço pode ser grande na biomedicina na produção de fármacos solúveis em água.* Já o texto 1 (VALADARES; CHAVES; ALVES, 2005), lido por ele e apresentado pelo seu grupo e por outros da mesma turma, traz a seguinte sentença, na qual ele pode ter se baseado para formular parte da resposta:

A área de medicamentos (fármacos) está sendo revolucionada pela nanotecnologia. Isto se deve ao fato de que quase a metade dos compostos com ação farmacológica não são solúveis em água. [...]
Compostos nanogranulados têm a sua ação assegurada. Isso decorre de sua grande solubilidade [...] (VALADARES; CHAVES; ALVES, 2005, p. 67).

Além disso, o estudante cita possíveis inovações relacionadas ao meio ambiente, assunto que mencionou gostar de ler na primeira questão da Atividade 1.

Na Atividade 3, após as leituras dos textos 2 (SHULZ, 2009) e 3 (GRUPO ETC, 2005), quando os estudantes supostamente teriam lido todos os textos da unidade, foi-lhes perguntado se tinham gostado de ler o(s) texto(s) proposto(s) para essa atividade. Guilherme responde:

Sim, pois abrange uma questão muito importante e que deve ser levada em conta com suma importância. Toda tecnologia tem que ter ética para ser aplicada e limitada, pois sabendo dos riscos que se corre, é necessário ter medidas de prevenção e ética para que sejam aplicadas.

Na última questão da Atividade 2, sobre as conclusões a respeito das aplicações da nanotecnologia a partir das leituras realizadas e das apresentações dos grupos, Guilherme não focaliza a ética em sua resposta, sequer cita o termo, que passou a ser utilizado por ele após a leitura do texto 2 (SHULZ, 2009), o qual aborda o tema.

Convém ressaltar que, na terceira aula de implementação da unidade, durante as apresentações dos grupos, percebi que poucos grupos enfocaram alguns aspectos do texto 2 (SHULZ, 2009) nas apresentações. Os grupos que tinham lido esse texto comentaram que o acharam de difícil leitura e, alguns, preferiram não empregá-lo nas apresentações, o que pode justificar a ausência de produção de significados por Guilherme sobre esse texto somente pela mediação dos colegas de turma.

No entanto, após a leitura desse texto e baseando-se nele, Guilherme consegue esboçar uma justificativa para a resposta afirmativa dada à questão, ainda que com certo radicalismo em suas representações. Ele aponta que a ética na aplicação de uma tecnologia é *muito importante* e que deve ser considerada com *suma importância*. E ainda complementa que *toda tecnologia* deve passar por um crivo ético antes de sua utilização.

Guilherme ainda conclui sua resposta mencionando que caso *os riscos que se corre* com o uso das tecnologias sejam conhecidos, *medidas de prevenção* devem ser tomadas. Aqui, também nota-se a influência de outros dizeres na resposta de Guilherme e, assim, a relação do discurso com outros. Noto, ainda, como na resposta à terceira questão da Atividade 2, analisada anteriormente, que relações com os textos lidos foram estabelecidas, mas não somente. Guilherme, nesse trecho de sua resposta, é autor, é responsável pela conclusão que esboça, deixando que seu discurso aponte para outros que o sustentam.

Na segunda questão da Atividade 3, quando perguntado aos estudantes sobre possíveis interpretações diferentes dos textos, ainda que aparentemente se referindo ao mesmo tema, Guilherme responde:

Porque uma tecnologia como essa abrange diferentes faculdades, ou seja, atinge todas as áreas da ciência, seja ela a física, química, biologia. Então diversas áreas tendem a mobilizar quanto a essa nova tecnologia e trata muitas questões: uso para produção de materiais mais resistentes, avanço na medicina para uso de medicamentos com maior eficiência medicinal, manipulação de matéria, tratamento de água para remoção de partículas de óleo despoluindo rios e potabilizando para o consumo humano.

Guilherme supõe que os textos propõem conclusões diferentes por causa das *diferentes faculdades* abrangidas pela nanotecnologia. Mais uma vez ele refere-se à especialização do conhecimento científico ao responder as questões propostas na intervenção.

Ao opinar sobre as possíveis interpretações diferentes que os textos podem levar, o aluno aponta que as ciências da natureza, consideradas por ele como sendo *áreas da ciência* e, nesse sentido, ciência e ciências naturais se misturam, deixando de lado as ciências humanas, por exemplo, Guilherme entende que a física, a química e a biologia por mais que sejam *áreas da ciência*, caminham paralelamente e podem possuir pontos de vista diferentes sobre a mesma temática.

Se, para ele, as *diversas áreas* têm suas pesquisas específicas e, ao mesmo tempo, podem tratar da nanotecnologia, então cada uma vai opinar, talvez diferentemente, sobre o tema.

Em seguida, na continuidade da resposta, assim como na terceira questão da Atividade 2, Guilherme cita alguns exemplos de possíveis aplicações da nanotecnologia, oriundos do primeiro texto lido por ele: *uso para produção de materiais mais resistentes, avanço na medicina para uso de medicamentos com maior eficiência medicinal, manipulação de matéria, tratamento de água para remoção de partículas de óleo despoluindo rios e potabilizando para o consumo humano.*

É interessante perceber que Guilherme elabora a resposta com suas palavras, em algumas partes, provocando alguns deslizamentos. Se os autores do texto 1 (VALADARES; CHAVES; ALVES, 2005) levantam a questão do uso de partículas magnéticas porosas na remoção de manchas de petróleo presentes na água e da obtenção de água doce a partir de nanotubos de carbono, possivelmente, baseando-se nesses trechos, o aluno conclui que uma das possíveis aplicações da nanotecnologia seria o *tratamento de água para remoção de partículas de óleo despoluindo rios e potabilizando para o consumo humano*. Considerando a não transparência da linguagem e que o texto não é uma unidade fechada, sendo possível o equívoco, a falha, o deslize, nota-se indícios da repetição histórica nessa resposta de Guilherme.

Na última questão da Atividade 3, Guilherme escreve um possível *e-mail* a um amigo explicando o que entendeu sobre nanotecnologia. Segue abaixo sua resposta:

A nanotecnologia estuda materiais nanométricos (10^{-9} m) que podem ser benéficos em muitas áreas do conhecimento, podem ser usados na física, química, medicina, questões ambientais. Já existem grandes avanços na química, onde manipulam a matéria para criar e modificar partículas. Um exemplo é o do carbono que estudado na nanotecnologia pode ser mais leve, porém mais resistente que aço. Criação de remédios que aplicados a nanociências possuem maior eficiência no organismo e geram menos efeitos colaterais. Mas nessa tecnologia existe a ética apropriada em que na tecnologia nanométrica, os riscos que se correm devem ser levados em consideração.

Nessa resposta, o estudante quantifica a escala nanométrica, como na segunda questão da Atividade 2, quando elaborou uma síntese para ser apresentada aos colegas, e relata que materiais nanométricos podem ser benéficos para o que ele chama de *áreas do conhecimento* (como a física, química, medicina, questões ambientais), novamente, referindo-se à especialização do conhecimento científico. Também, como na segunda questão da Atividade 2, ele cita exemplos de possíveis avanços na química com a nanotecnologia.

Nas oito respostas elaboradas durante a intervenção em sala de aula, Guilherme utiliza-se de seis termos para referir-se à especialização do conhecimento científico e, ao mesmo tempo, ao caráter multidisciplinar que a nanotecnologia envolve: *áreas da ciência, faculdades ligadas à ciência, áreas científicas, diferentes faculdades, diversas áreas, áreas do conhecimento*.

Ainda é possível notar que Guilherme cita algumas possíveis aplicações da nanotecnologia, relacionadas ao texto 1 (VALADARES; CHAVES; ALVES, 2005), primeiro texto lido por ele, assim como faz na terceira questão da Atividade 2 e na segunda questão da Atividade 3.

Sobre o caso mencionado acima, é interessante notar que o estudante nem sempre utiliza as mesmas palavras para citar as mesmas possíveis aplicações. Ao se referir à química, na segunda questão da Atividade 2, ele escreveu: *a nanociência funciona para projetar e manipular moléculas por meio da manipulação da matéria em escala atômica*. Já na terceira questão da Atividade 3, também referindo-se à química, ele relatou: *Já existem grandes avanços na química, onde manipulam a matéria para criar e modificar partículas*. Na segunda questão da Atividade 3, referindo-se à aplicações gerais da nanotecnologia, ele escreveu: *uso para produção de materiais mais resistentes, avanço na medicina para uso de medicamentos com maior eficiência*

medicinal [...]. Já na terceira questão da Atividade 3, também referindo às mesmas aplicações, Guilherme mencionou: *Um exemplo é o do carbono que estudado na nanotecnologia pode ser mais leve, porém mais resistente que aço. Criação de remédios que aplicados a nanociências possuem maior eficiência no organismo e geram menos efeitos colaterais.* Nessas sentenças Guilherme diz com suas palavras o que está no texto, o que me permite notar indícios da repetição formal em suas respostas.

Ao final, após desenvolver parte da resposta relatando as aplicações da nanotecnologia, ele inicia uma sentença com uma conjunção adversativa, procurando contrapor as aplicações à consideração dos riscos que se correm fazendo seu uso. Nesse ponto, a resposta de Guilherme é afetada pelo segundo conjunto de textos recomendado.

Na primeira questão da Atividade 1, Guilherme apenas levantou uma hipótese sobre aquilo que a nanotecnologia poderia tratar, no entanto, com o decorrer das aulas, fica marcante em suas respostas as possíveis aplicações da nanotecnologia, respostas afetadas mais pelo texto 1 (VALADARES; CHAVES; ALVES, 2005), primeiro texto lido por ele, que pelos outros textos, possivelmente, lidos e pelas ações de mediação. Percebo que ele busca outras maneiras de dizer o mesmo, às vezes apenas com outras palavras, às vezes historicizando o dizer, mas nunca copiando exatamente como está no texto. Indícios da repetição formal e histórica são percebidos nas respostas de Guilherme, que enfatiza bem mais as inovações e aplicações tecnológicas advindas com a nanotecnologia que suas implicações na sociedade, mas, ao mesmo tempo, que também recomenda que os riscos sejam considerados quando de sua utilização.

4.2.4 A produção de significados de Ana

Como resposta às primeiras questões da Atividade 1, quando foi perguntado sobre o gosto e o hábito da leitura, bem como os tipos de leitura que mais agradavam os alunos, Ana escreve:

Sim. Sim. Livros que envolvem situações de aventura, ficção, histórias reais que tragam alguma moral e alguns livros de romance.

Ela responde afirmativamente tanto para o gosto pela leitura quanto para o costume em fazê-la, especificando os tipos de livro que a agradam. Nessa resposta, a aluna não diz somente o

que gosta e o que costuma ler, mais que isso, assim como os outros alunos aqui analisados, ela também menciona o que procura nos textos, o que lhe atrai.

Pelo que Ana relata, ela tem um histórico de leituras não muito relacionado à tecnologia ou a inovações tecnológicas, pois os tipos de livros mencionados parecem mais relacionados a interações humanas.

Considerando que ela possa dar esse viés às leituras dos textos da unidade, possivelmente, isso será refletido em suas respostas. E, assim, os sentidos do que já foi lido, do que já foi dito por alguém, em outros momentos, podem ter um efeito sobre o que Ana vai escrever.

No segundo conjunto de questões, ainda na Atividade 1, foi perguntado aos alunos se já tinham ouvido falar em nanotecnologia, o local onde haviam ouvido falar, o que sabiam sobre o conteúdo e, caso não conhecessem a temática, se gostariam de saber o que era e para que servia. Ana responde:

Sim. Na escola, ano passado. É uma ciência tecnológica nova aplicada em Medicina. Sim.

Ana responde que já havia ouvido falar sobre nanotecnologia na escola durante o ano anterior, provavelmente quando estava no 2º ano do ensino médio.

Quando perguntada o que sabia sobre o assunto, possivelmente baseando-se naquilo que aprendeu na escola, como ela mesma afirma, Ana responde que a nanotecnologia trata de *uma ciência tecnológica nova aplicada em Medicina*. Para ela a nanotecnologia é uma ciência, cujas aplicações reservam-se à medicina.

Sem saber o contexto em que ela havia aprendido sobre o tema, podendo ser em outra escola ou, ainda que na mesma escola, a partir de um projeto desenvolvido por estagiários, ou mesmo pelo professor de biologia, química ou física, noto que Ana resgata o que conseguiu assimilar do conteúdo abordado naquela época: é uma ciência, é nova e é aplicada em medicina.

Por essa resposta, é possível notar, também, que a memória discursiva, o interdiscurso, é que torna possível Ana dizer o que disse, significando naquela situação discursiva. O já-dito na escola, no passado, quando ela aprendeu sobre nanotecnologia, sustenta cada tomada de palavra e disponibiliza dizeres que tornam possível a elaboração de sua resposta.

Após a realização da Atividade 1, da leitura do texto, chamado introdutório, de uma aula expositiva e da divisão da turma em grupos, Ana recebeu o texto 1 (VALADARES; CHAVES; ALVES, 2005) para ser lido. Na sequência, recebeu as questões que compuseram a Atividade 2.

Abaixo, transcrevo a resposta dada por ela à primeira questão dessa atividade, quando questionada sobre a possibilidade de ter gostado do texto lido:

Sim, pois nele pude conhecer quais eram algumas das aplicações da nanotecnologia e entender um pouco dessa tecnologia a partir do exemplo do cubo de chumbo.

Ana responde que gostou de ler o texto recomendado, pois, a partir dessa leitura, pôde conhecer algumas das aplicações da nanotecnologia. Dessa vez, a estudante classifica a temática abordada como uma tecnologia e não como ciência, como havia feito anteriormente.

Ela também menciona que o texto a ajudou produzir significados por causa do exemplo do cubo de chumbo. Aqui, é bem curiosa a assimilação de Ana, pois o texto 1 (VALADARES; CHAVES; ALVES, 2005) não traz nenhum exemplo referente a um cubo de chumbo, e sim de ferro, na primeira parte do texto.

Essa assimilação pode ter a ver com aquilo que Ana leu/ouviu antes, a partir de condições de produção amplas. Também é possível que, para ela, ferro e chumbo sejam a mesma coisa, ou ainda, que ao ler a palavra “ferro”, tenha assimilado a chumbo, talvez por ambos serem de alta densidade, ou, de outra forma, ambos serem “pesados”.

Ao elaborar a síntese para ser apresentada aos demais colegas acompanhada de outros integrantes de seu grupo, Ana escreve:

A nanotecnologia tem se tornado uma ciência que poderá ser aplicada a diversas áreas profissionais, como a Medicina, no que diz respeito a maior solubilidade dos remédios e a um direcionamento mais correto do remédio ao local onde deve surtir efeito, além do uso da nanotecnologia direcionado a “solução” de um problema que é comum no Brasil por não ser acessível a todos, como a água purificada. A nanociência pode ser compreendida através de comparações. Cita-se o exemplo do cubo de chumbo que após ter sido muitas vezes dividido e deixado de ser visto a olho nu, se transforma em nanopartículas que não possuem magnetismo, perdem as propriedades do elemento que a forma (chumbo) e devido ao tamanho tem temperaturas de fusão menores, o que nos leva a entender que a nanotecnologia não depende do tamanho dos blocos. Há também o uso da tecnologia prevista para remover petróleo do mar devido à capacidade de absorção das nanopartículas o que ajuda na diminuição dos desastres ambientais.

Ana, outra vez, classifica a nanotecnologia como uma ciência considerando que suas aplicações podem ser amplas e, assim como Guilherme, nota seu caráter multidisciplinar,

mencionando que *diversas áreas profissionais* poderão ser beneficiadas pelas suas aplicações. Também como Guilherme, alude à especialização do conhecimento científico.

Ao avançar a resposta, a aluna ainda cita prováveis benefícios na medicina: *maior solubilidade dos remédios e a um direcionamento mais correto do remédio ao local onde deve surtir efeito*. Dois possíveis trechos do texto 1 (VALADARES; CHAVES; ALVES, 2005) nos quais Ana se baseou para elaborar parte de sua resposta são os seguintes:

A área de medicamentos (fármacos) está sendo revolucionada pela nanotecnologia. Isto se deve ao fato de que quase a metade dos compostos com ação farmacológica não são solúveis em água. [...]

Compostos nanogranulados têm a sua ação assegurada. Isso decorre de sua grande solubilidade [...] (VALADARES; CHAVES; ALVES, 2005, p. 67).

Nanopartículas magnéticas biocompatíveis constituem outra linha de ação da nanotecnologia aplicada à medicina. Dois tipos de processos devem ser considerados.

Em um deles, drogas que devem atuar em um ponto específico do corpo humano, por exemplo no cérebro ou em um tumor, são encapsuladas em nanopartículas magnéticas e injetadas no organismo. Através de ímãs, e utilizando-se alguma técnica que permita visualizar o trajeto das partículas no corpo, o médico as arrasta até o local desejado, onde a droga é liberada. Assim são obtidas altas concentrações da droga no local desejado sem que elas se disseminem por todo o corpo e ataquem outros órgãos. [...] (VALADARES; CHAVES; ALVES, 2005, p. 68).

Na sequência da resposta, Ana cita um problema de saúde pública que pode ser sanado com a nanotecnologia: seu uso *direcionado a “solução” de um problema que é comum no Brasil por não ser acessível a todos, como a água purificada*. Nesse caso, para a elaboração da resposta, ela pode ter se baseado em trechos relacionados ao subtítulo “Obtenção de Água Doce com Nanotubos”, presente no texto 1 (VALADARES; CHAVES; ALVES, 2005), supostamente lido por ela.

É interessante perceber que as possíveis aplicações citadas por Ana nessa resposta, segundo ela, são relacionadas à medicina, área que ela citou na resposta dada ao segundo conjunto de questões da Atividade 1, quando escreveu o que sabia sobre nanotecnologia: *é uma ciência tecnológica nova aplicada em Medicina*.

Na escola, ela aprendeu que nanotecnologia estava relacionada à medicina e isso retorna na forma de pré-construído em sua resposta. Ao elaborá-la, ela procura destacar as aplicações relacionadas ao que já tinha aprendido, ao que lhe fazia sentido. Dessa forma, nota-se que algo falou antes na resposta de Ana.

Ela também menciona que a nanotecnologia *pode ser compreendida através de comparações*. Ao explicar as comparações a que se referiu, Ana, mais uma vez, volta a trocar o termo ferro por chumbo: [...] *Cita-se o exemplo do cubo de chumbo que após ter sido muitas vezes dividido e deixado de ser visto a olho nu, se transforma em nanopartículas que não possuem magnetismo, perdem as propriedades do elemento que a forma (chumbo) e devido ao tamanho tem temperaturas de fusão menores, o que nos leva a entender que a nanotecnologia não depende do tamanho dos blocos.*

Os prováveis trechos em que Ana se baseou para elaborar sua resposta são aqueles encontrados na primeira parte do texto 1 (VALADARES; CHAVES; ALVES, 2005):

Um ponto importante no qual se baseia a Nanotecnologia é o fato de que o tamanho de um objeto afeta as suas propriedades quando se atinge a escala nanométrica (10^{-9} m).

Um pequeno cubo de ferro [...] apresenta propriedades específicas do elemento ferro: ponto de fusão, cor característica, imantação (transforma-se em ímã permanente na presença de um campo magnético), etc. Enquanto as dimensões dos pequenos cubos se encontrarem fora da escala nanométrica, as suas propriedades físicas não dependem do tamanho dos blocos.

Embora os cubos deixem de ser visíveis quando o seu lado fica menor que um décimo de milímetro, ainda assim podemos observá-los com um microscópio óptico e verificar que eles apresentam as propriedades usuais do ferro. [...] Quando os cubos atingem a escala nanométrica, mudanças drásticas começam a ocorrer. Os nanoblocos fundem-se a temperaturas mais baixas e deixam de formar ímãs, entre várias outras alterações dependentes do tamanho dos cubos. (VALADARES; CHAVES; ALVES, 2005, p. 52).

Em algumas partes, os sentidos da resposta de Ana podem ser considerados interditados, como na seguinte sentença: *o que nos leva a entender que a nanotecnologia não depende do tamanho dos blocos.*

Por esse trecho da resposta nota-se como o texto pode ser incompleto, ou seja, que o sentido não está evidente nele e que múltiplas possibilidades de leituras de um mesmo texto podem existir.

Os conhecimentos que Ana já tinha sobre nanotecnologia podem ter contribuído para sua resposta afirmativa em relação a ter gostado do texto lido, na primeira questão da Atividade 2, contudo, o mesmo texto 1 (VALADARES; CHAVES; ALVES, 2005), como condição de produção imediata de sua resposta, não lhe transmite os mesmos sentidos propostos pelos autores. A partir da leitura, outras interpretações são possíveis e nessas interpretações é que pode ocorrer o equívoco, a contradição.

Ana, pra finalizar sua síntese, escreve uma provável aplicação da nanotecnologia na remoção de petróleo da água: [...] *há também o uso da tecnologia prevista para remover petróleo do mar devido à capacidade de absorção das nanopartículas o que ajuda na diminuição dos desastres ambientais.*

Esse trecho de sua síntese provavelmente foi elaborado a partir de trechos do texto desenvolvidos a partir do subtítulo “Nanotecnologia e o Meio-Ambiente: Uso de Partículas Magnéticas Porosas na Remoção de Manchas de Petróleo Presentes na Água”, último subtítulo do texto 1 (VALADARES; CHAVES; ALVES, 2005).

Também é interessante notar que as aplicações da nanotecnologia que Ana menciona na resposta referem-se a áreas - medicina e meio ambiente - que não são relacionadas às ciências exatas, em concordância com sua resposta ao primeiro conjunto de questões da Atividade 1, onde menciona o gosto por leituras que pareçam mais relacionados a interações humanas.

A síntese elaborada por Ana, ainda que em alguns trechos dizendo com outras palavras o que está escrito no texto, permite-me notar historicização do dizer em outros e, por isso, indícios da repetição histórica, a que desloca, a que inscreve a língua na história.

Após as apresentações dos grupos, os alunos responderam a terceira questão da Atividade 2. Nessa questão, baseando-se na(s) leitura(s) feita(s) e nas apresentações dos grupos, foi solicitado aos alunos que esboçassem algumas conclusões a respeito das aplicações da nanotecnologia. Ana escreve:

A nanociência se utiliza de escalas muito pequenas, $10^{-9}m$, e atualmente mesmo sendo considerada uma ciência moderna, possui diversas aplicações dentre elas as que beneficiam e cuidam do meio ambiente. Algumas pessoas concluem que a nanotecnologia não possui benefícios devido a não consciência social no que diz respeito ao consumo de remédios, já outros a aprovam.

Pela primeira vez em suas respostas, Ana quantifica a escala nanométrica. A resposta foi elaborada após as mediações dos colegas, portanto é possível que tais mediações tenham contribuído para essa fala. Ao atribuir sentido às suas próprias palavras, Ana sustenta-se no já-dito. De fato, para que uma palavra/sentença faça sentido é preciso que já tenha sentido.

Novamente, a aluna volta a classificar a nanotecnologia como uma ciência, dessa vez considerada moderna, citando que as aplicações da nanotecnologia podem ser benéficas ao meio-ambiente, como relatado na resposta anterior.

Ao mencionar que as aplicações da nanotecnologia podem não ser benéficas, Ana utiliza-se de mais um exemplo ligado à área da saúde: *não consciência social no que diz respeito ao consumo de remédios*. Nesse trecho da resposta de Ana, ela relaciona o consumo de remédios com a sociedade, talvez, querendo afirmar que essa faz uso de medicamentos sem conhecer seus efeitos, suas consequências.

Nesse trecho, aparentemente, a história intervém na resposta de Ana, pois os textos não abrangiam essa discussão. Nesse caso, o dizer é inscrito na memória discursiva e não há silenciamento da autoria, pelo contrário, Ana é autora, o que me faz notar indícios da repetição histórica também nessa resposta.

Possivelmente, as mediações dos colegas também fizeram Ana perceber que as aplicações da nanotecnologia podem não ser benéficas. Além disso, ela nota que o tema é controverso: *algumas pessoas concluem que a nanotecnologia não possui benefícios [...], já outros a aprovam*. Noto que a resposta de Ana é afetada pelo texto 1 (VALADARES; CHAVES; ALVES, 2005), mas não somente, possivelmente é também afetada pelo que aprendeu na escola no ano anterior, pelas ações de mediação propostas, por outras leituras já feitas.

Para a Atividade 3, foi recomendado a Ana ler os textos 2 (SHULZ, 2009) e 3 (GRUPO ETC, 2005). Como resposta à primeira questão da atividade, quando lhe foi perguntado se tinha gostado de ler os textos, ela responde:

Sim, pois com ele pude incrementar o que já havia lido no texto anterior e pude ver de diferentes pontos de vista sobre a implicação e as vantagens que a nanotecnologia traz.

Na folha de respostas, havia um campo onde os estudantes deviam colocar o título do texto lido. No caso de Ana, na Atividade 3, apesar de serem recomendadas as leituras de dois textos, ela preencheu somente com o título de um deles, o que pode indicar a leitura de somente um, pelo menos até responder essa questão da Atividade 3. Isso fica mais evidente quando ela utiliza palavras no singular para justificar que gostou do texto lido.

No entanto, considerando que ela possa ter lido ambos ou apenas um dos textos, Ana entende que a leitura ajudou-lhe a complementar o texto 1 (VALADARES; CHAVES; ALVES, 2005), que já havia lido. Além disso, nota que há diferenças entre eles.

Quanto aos conteúdos dos textos lidos, considerando que foram escritos a partir de pontos de vista diferentes, ela esboça uma pequena síntese do que leu mencionando, de um lado, que o

primeiro texto lido destaca as vantagens da nanotecnologia e, de outro, que os outros textos recomendados destacam suas implicações.

Ao ser questionada sobre o possível motivo dos textos sugerirem interpretações diferentes, ainda que aparentemente se referindo ao mesmo tema, na segunda questão da Atividade 3, Ana responde:

Porque mesmo por se tratar de textos que apresentam um mesmo tema sempre há diferentes pontos de vista que podem divergir ou concordar apresentando inovações nas ideias já propostas por outro autor.

Ela concorda que os textos referem-se ao mesmo tema e destaca que pontos de vista variados existem quando o mesmo assunto é tratado. Dessa forma, os argumentos que sustentam os variados pontos de vista podem estar em concordância ou divergência entre si.

Assim como Flávia, Ana extrapola os limites do texto, analisa-os estando fora deles, observa seus autores.

É interessante notar o modo como Ana analisa o contexto que envolve a produção do conhecimento. Para ela, a partir do momento que uma *ideia* é proposta por um autor, posteriormente, outros tendem a aperfeiçoá-la, promovendo *inovações*.

Supondo que fosse explicar a um(a) amigo(a) que supostamente não sabia do que tratava a nanotecnologia, na última questão da Atividade 3, última do conjunto de questões, Ana escreve um provável *e-mail* explicando o que tinha entendido sobre as últimas aulas de física. Abaixo, transcrevo sua resposta:

A nanotecnologia é uma ciência que busca estudar pequenas estruturas que são o bilionésimo do metro. A nanotecnologia é uma ciência moderna que mesmo não sendo visível ao microscópio, tem sido manipulada e a sua manipulação poderá ter fins vantajosos ou não. Dentre os fins vantajosos, está o fato de poder ser utilizada para retirar o petróleo do mar, na filtração de água que chegará a nossas residências a até na substituição do aço por ser um material leve. Já as suas desvantagens, estão no fato de ao ser colocado em um medicamento pode passar despercebido pelo sistema imunológico acarretando uma doença grave como um câncer. Uma nanopartícula diferente dos objetos como a barra de ferro, ao serem divididos em partículas cada vez menores, vão perdendo suas propriedades físicas.

Ana continua entendendo a nanotecnologia como uma ciência, relacionando-a a *pequenas estruturas* na primeira sentença da resposta. Ela também quantifica, em linguagem comum, a

escala nanométrica: *o bilionésimo do metro*. Em condições específicas, Ana retoma o já-dito, reformula-o e, interpretando, atribui sentido às suas palavras.

Na sentença: *A nanotecnologia é uma ciência moderna que mesmo não sendo visível ao microscópio, tem sido manipulada e a sua manipulação poderá ter fins vantajosos ou não*, além de, mais uma vez, classificar a nanotecnologia como uma *ciência moderna*, ela parece ter entendido que a investigação na nanoescala se faz com instrumentos especiais, não sendo possível manipular objetos nanométricos com o microscópio óptico comum, como mencionado em uma das aulas expositivas. Ainda nessa sentença, Ana avalia as aplicações da nanotecnologia, citando que podem ser vantajosas, mas que também podem não ser benéficas.

Ao fazer essa breve avaliação, Ana expande sua resposta e escreve o que julga serem as aplicações vantajosas: *Dentre os fins vantajosos, está o fato de poder ser utilizada para retirar o petróleo do mar, na filtração de água que chegará a nossas residências a até na substituição do aço por ser um material leve*. Os exemplos citados por ela são os mesmos citados em outras repostas, à exceção do último. O primeiro deles é relacionado ao meio-ambiente, o segundo é relacionado à purificação da água, aplicação mencionada no texto 3 (GRUPO ETC, 2005), mas que também pode estar relacionado à reformulação do que ela havia escrito em repostas anteriores, sobre a obtenção de água doce com nanotubos de carbono, já o terceiro, inédito em suas repostas, refere-se a uma das propriedades dos nanotubos de carbono.

Nesse terceiro exemplo, os sentidos atribuídos por Ana podem ser considerados interditados. A propriedade que o texto 1 (VALADARES; CHAVES; ALVES, 2005) cita é a seguinte: “Os nanotubos de carbono apresentam várias propriedades inéditas, a começar pela sua resistência mecânica. Eles permitem fabricar sólidos quatro vezes mais leves e pelo menos cinco vezes mais resistentes que o aço [...]” (VALADARES, CHAVES; ALVES, 2005, p. 53). No entanto, Ana considera que o aço poderá ser substituído por um material mais leve, quando os autores, pelo contrário, comparam os nanotubos ao aço, realçando a vantagem de serem mais resistentes e leves que a liga metálica.

Quanto às aplicações que podem ser prejudiciais, Ana volta a citar um exemplo referente à área da saúde: *Já as suas desvantagens, estão no fato de ao ser colocado em um medicamento pode passar despercebido pelo sistema imunológico acarretando uma doença grave como um câncer*. Um dos trechos que Ana pode ter se baseado para formular essa parte da resposta encontra-se no texto 3 (GRUPO ETC, 2005): “Nanopartículas mostram diferente toxidez do que

as versões maiores de um mesmo composto. Esse é um aspecto a considerar, porque as nanopartículas podem se mover facilmente para dentro do corpo e passar pelo sistema imunológico sem ser percebidas”. (GRUPO ETC, 2005, p. 30). Outro trecho também encontrado no texto 3 (GRUPO ETC, 2005) e que Ana pode ter se baseado para a formulação de sua resposta é o seguinte: “Isso levanta sérias preocupações quanto à saúde, porque as nanopartículas podem passar despercebidas pelos guardas do sistema imunológico do corpo, através das membranas de proteção como a pele, a barreira do sangue do cérebro ou, talvez, da placenta.” (GRUPO ETC, 2005, p. 31).

Em todos os casos, os exemplos de Ana estão relacionados aos textos, são afetados por eles, mas também noto conclusões que são suas, deslizamentos em relação ao já-dito, novos indícios da repetição histórica em suas repostas.

Ao final da resposta, o texto 1 (VALADARES; CHAVES; ALVES, 2005) novamente afeta a resposta de Ana e ela cita, à sua maneira, o exemplo mencionado na primeira parte desse texto: *Uma nanopartícula diferente dos objetos como a barra de ferro, ao serem divididos em partículas cada vez menores, vão perdendo suas propriedades físicas.*

Novamente, alguns sentidos atribuídos por Ana podem ser considerados interditados, como a consideração de que partículas perdem suas propriedades físicas com a diminuição de seu tamanho, quando no texto é mencionado que algumas propriedades apenas mudam com a diminuição das dimensões. No entanto, verifica-se que ela não trocou ferro por chumbo, como havia feito outras vezes.

A partir dos sentidos considerados interditados nas respostas de Ana, é possível verificar que, de maneira geral, os sentidos não estão somente no texto, estão também relacionados à exterioridade, às condições de produção. Assim sendo, além de ter notado indícios da repetição formal e da repetição histórica nessa última resposta de Ana, considerando a linguagem como sendo não transparente, noto também que os sentidos atribuídos às palavras são suscetíveis a serem outros.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste trabalho, procurei compreender como alunos do ensino médio produzem significados ao ler textos de divulgação científica sobre nanociência e nanotecnologia em aulas de física. Além do acompanhamento de quatro turmas de terceiro ano de uma escola pública antes do início da realização das atividades relacionadas à implementação da unidade de ensino e coleta de informações, cinco aulas foram planejadas e utilizadas para a abordagem da temática em sala de aula.

Devo aqui assinalar que, pelo que se tem comentado sobre a escola pública e tendo em conta uma pesquisa anteriormente realizada (OLIVEIRA; ALMEIDA, 2012), a escola em que o trabalho foi realizado possui características bastante diferenciadas de várias outras escolas públicas, características que procurei mostrar no capítulo 3.

Os alunos receberam cópias de quatro textos que abordavam o conjunto N&N, um deles chamado introdutório e outros três que, no conjunto, abordavam o tema de forma controversa. Foram realizadas ações de mediação sobre o conteúdo desses textos e solicitado aos alunos que respondessem, por escrito, questões discursivas referentes ao tema, de maneira geral, e aos textos utilizados, de maneira específica. As questões deveriam ser respondidas pelos alunos na medida em que os textos fossem lidos e ocorressem as ações de mediação previstas. Por esse motivo, nem todos os alunos responderam todas as questões, pois poderiam ter se ausentado às aulas num dos dias em que ocorreu alguma das atividades.

Para a análise das respostas dos estudantes, baseei-me na análise do discurso iniciada na França por M. Pêcheux. Para isso, montei um dispositivo analítico composto por alguns aportes desse apoio teórico-metodológico, a partir de publicações de Eni P. Orlandi.

Em relação ao que os alunos conheciam sobre nanotecnologia, o conteúdo das respostas variou, permitindo categorizá-las. Alguns alunos relacionaram a nanotecnologia com as dimensões dos aparatos; outros a relacionaram com aparelhos tecnológicos. Um grupo de alunos conceituou a nanotecnologia como uma modalidade de tecnologia, considerando sua construção em pequena escala; já outro grupo, ainda que conceituando a nanotecnologia como uma modalidade de tecnologia, não fez referência ao tamanho. Por fim, talvez baseados naquilo que já

tinham ouvido ou lido sobre o tema, alguns alunos relacionaram a nanotecnologia com as aplicações em medicina.

A análise das respostas dadas pelos estudantes de uma das turmas a uma das questões do conjunto de atividades permitiu a identificação das formas de repetição empírica, formal e histórica. As categorizações foram feitas a partir de indícios dessas formas de repetição presentes nas respostas, sendo possível encontrar mais de um desses modos de repetição na mesma resposta.

A repetição empírica foi percebida quando os estudantes copiaram parte(s) do(s) texto(s) como resposta à questão feita; a repetição formal, quando parte(s) do(s) texto(s) foi(ram) reelaborada(s), de forma que os estudantes disseram, com outras palavras, o que estava escrito naquela(s) parte(s). Já a repetição histórica foi identificada quando os alunos constituíram-se como autores e, assim sendo, provocaram deslizamentos, trazendo elementos ligados às suas memórias discursivas ao formularem o que estavam escrevendo.

Possíveis influências das ações de mediação afetando as respostas também foram observadas, mediações necessárias se considerados os sentidos incompletos que os textos podem encerrar, permitindo variadas interpretações dependendo de quem os lê.

Com as análises das interpretações de Júlio, notei a influência das condições de produção imediatas para a produção de significados sobre nanociência e nanotecnologia, pois seus dizeres estavam permeados de sentidos construídos a partir dessas condições. Convém ressaltar que, ao iniciar as atividades com algum conhecimento sobre a temática estudada, Júlio não os reproduz no desenvolvimento das mesmas: microprocessadores, por exemplo, aparece apenas em uma das primeiras respostas.

Se, por um lado, condições de produção sócio históricas podem ter auxiliando-o nas leituras dos textos, por outro, a ausência de retorno desses conhecimentos pode ser explicada por uma abordagem diferente/incomum do conhecimento escolar relativo à ciência em sala de aula, pela qual posições controversas foram focalizadas.

Em suas respostas, notei que Júlio citou frequentemente os sentidos produzidos a partir das primeiras leituras, ou seja, as ideias contidas nos primeiros textos tenderam a prevalecer em suas respostas. Aparentemente, para que mudanças ocorressem, as ações de mediação, tanto as que se referem às apresentações dos grupos como as aulas expositivas, foram necessárias, permitindo novas interpretações.

A partir das interpretações de Flávia, notei que seus interesses pelas leituras mudaram quando ela leu o texto que enfocava possíveis avanços da nanociência e da nanotecnologia. Nesse ínterim, Flávia não manteve as ideias das primeiras leituras, como Júlio, prevalecendo leituras posteriores em algumas de suas respostas.

Em seu caso, Flávia produziu significados sobre nanociência e nanotecnologia, aparentemente, a partir da implementação da unidade de ensino, todavia, não bastou a leitura dos textos para suas interpretações. É possível que a aula expositiva ocorrida no penúltimo dia de intervenção na escola também tenha colaborado para que ela conseguisse assimilar o conteúdo.

Considerando os interesses de Júlio e Flávia para estudarem o assunto, pôde-se observar que estiveram relacionados com as justificativas dos pesquisadores para a inserção da FMC no EM: a ênfase na ciência e na tecnologia desenvolvidas atualmente e no funcionamento de dispositivos tecnológicos presentes no cotidiano dos estudantes.

As interpretações de Guilherme também evidenciaram as influências das condições de produção imediatas na elaboração das repostas. Dentre outros exemplos que podem ser citados, o aluno, assim como Flávia, afirmou que não tinha ouvido falar sobre nanotecnologia, mas foi além dela e, sem quantificar a escala nanométrica, lançou uma hipótese, conseguindo mensurar essa escala a partir das leituras dos textos.

Em suas respostas, Guilherme enfocou as aplicações tecnológicas advindas com a nanotecnologia bem mais que suas possíveis consequências, no entanto também recomendou que os riscos que se corre com suas aplicações sejam considerados.

Ao formular as respostas, foi possível perceber Guilherme inserido em uma formação discursiva que determina o que ele pode e deve responder. Nesse caso, o acesso a alguns termos ainda era inacessível a ele, fazendo com que utilizasse algumas palavras e não outras para elaborar suas respostas, mesmo que durante as ações de mediação pudessem ter sido mencionadas.

Ana, assim como Júlio, respondeu que sabia algo sobre nanotecnologia. Enquanto Júlio mencionou que sabia algo relacionado à área de informática, Ana, por sua vez, referiu-se à área médica ao escrever o que sabia sobre a temática. No entanto, deve ser considerado que Júlio não voltou a mencionar o que sabia nas respostas às questões subsequentes, ainda que esses conhecimentos prévios pudessem auxiliá-lo nas leituras que se sucederam. Ana, pelo contrário, voltou a referir-se à área da saúde ao elaborar algumas de suas respostas.

Percebe-se, portanto, a influência do interdiscurso nas respostas de Ana. Ela procurou relacioná-las ao que já tinha aprendido, ao que sabia, ao que lhe fazia sentido. Não devo descartar, também, influências de condições de produção sócio históricas na constituição de suas respostas, condições de produção consideradas em sentido amplo, num processo em que leituras e conhecimentos já adquiridos anteriormente sobre o assunto devem ser considerados. Além disso, as seqüências de manifestações dos diferentes alunos evidenciam a relevância de ter em conta, em cada turma, na medida do possível, as manifestações de cada estudante.

Quanto aos textos da unidade de ensino, notei alguns limites, como a dificuldade dos alunos com a linguagem em que foram escritos, donde alguns sentidos produzidos puderam ser considerados como interditados. Devo considerar, no entanto, que os textos são, em parte, constituídos de palavras que estão inscritas em formações discursivas nas quais seus autores basearam-se e que nem sempre são interpretadas da mesma maneira por quem não conhece/está inserido nessas formações discursivas. Nesse caso, ao levar o texto de divulgação científica para a sala de aula, coube a mim a escolha de um texto cuja linguagem não se tornasse um empecilho para a compreensão do conteúdo.

Outra limitação que deve ser considerada é a falta de recursos financeiros em escolas públicas destinados a estratégias diferentes das usuais no ensino. Em escolas com, em média, quatro turmas por série do EM, tendo cada turma mais de trinta alunos, torna-se praticamente impossível a disponibilização, pela escola, de cópias do(s) texto(s) para todos os alunos. Em instituições privadas, cobranças externas para o cumprimento das atividades também devem estar na lista de fatores que limitam a utilização de textos de divulgação científica em sala de aula.

Por outro lado, notei que a abordagem da FMC através da divulgação científica possibilitou posicionamentos dos estudantes que seriam dificultados numa aula de física pautada, em sua grande parte, na linguagem matemática. As leituras, as necessárias mediações e os discursos de Júlio, Flávia, Guilherme e Ana permitiram-me entender um pouco mais sobre o processo complexo de produção de sentidos numa aula de física, onde diferentes leitores e diferentes histórias de vida estão presentes. Daí a importância de se considerar a não transparência da linguagem e a influência das condições de produção amplas na constituição dos discursos dos estudantes.

O modo como abordei o conteúdo em sala de aula favoreceu a interpretação de textos cujos sentidos estiveram sujeitos a deslizamentos/deslocamentos, assim, tanto no caso de Júlio como

nos de Flávia, Guilherme e Ana notei que os estudantes fizeram-se autores, pois percebi indícios da repetição histórica em alguns trechos de suas respostas.

Essa abordagem, constituída de leituras de textos controversos, de apresentações de sínteses elaboradas por grupos de alunos, permeadas por aulas expositivas sobre o assunto abordado e atividades em que os alunos puderam se posicionar sobre o conteúdo lecionado, favoreceu também a passagem do discurso autoritário, considerado mais presente na escola, para o discurso mais polêmico. Nesse último caso, foi proporcionado espaço para a constituição do aluno como autor.

Ao abordar a leitura sobre nanociência e nanotecnologia em aulas de física numa escola regular, entendi que sua função foi além de permitir o contato do leitor com um conteúdo específico. Nesse sentido, ainda que os textos de divulgação científica não tenham sido escritos com a finalidade precípua de serem lidos/utilizados/trabalhados em sala de aula, fomentaram a constituição de leitores que opinaram, aconselharam, estabeleceram relações, posicionaram-se, contribuindo com a formação dos estudantes, com a formação de cidadãos.

REFERÊNCIAS

ALMEIDA M. J. P. M.; RICON A. E. Divulgação científica e texto literário uma perspectiva cultural em aulas de física. **Caderno Catarinense de Ensino de Física**, Florianópolis, v. 10, n. 1, p. 7-13, 1993.

ALMEIDA, M. J. P. M. **Discursos da ciência e da escola**: ideologia e leituras possíveis. Campinas: Mercado das Letras, 2004, 128 p.

_____. O texto de divulgação científica como recurso didático na mediação do discurso escolar relativo à ciência. In: PINTO, G. A. (Org.) **Divulgação científica e práticas educativas**. Curitiba: Editora CRV, 2010, p. 11-24.

ALVES, O. L. Nanotecnologia, nanociência e nanomateriais: quando a distância entre presente e futuro não é apenas questão de tempo. **Parcerias Estratégicas**, Brasília, n. 18, p. 23-40, 2004.

ALVES FILHO, M. O estranho íntimo. **Jornal da Unicamp**. Campinas, 14 jul. 2008, p. 24.

ALVETTI, M. A. S.; DELIZOICOV, D. O ensino de Física Moderna e Contemporânea e a revista Ciência Hoje. In: ENCONTRO DE PESQUISA EM ENSINO DE FÍSICA, 6., 1998, Florianópolis. **Atas...** Florianópolis: UFSC, 1998. 1 CD-ROM.

AZEVEDO, L. N.; ALMEIDA JÚNIOR, P. L.; CÂMARA, M. S. C. Desenvolvimento de softwares para abordagem em nanociência e nanotecnologia no ensino de química. In: ENCONTRO NACIONAL DE ENSINO DE QUÍMICA, 16., 2012, Salvador. **Anais ...** Salvador: Sociedade Brasileira de Química, 2012. Disponível em: <<http://www.eneq2012.qui.ufba.br/modulos/submissao/Upload/39996.pdf>>. Acesso em: 14 dez. 2012.

BASSOTTO, G. V. **Nanotecnologia**: uma investigação fundamentada na educação pela pesquisa se refletindo na formação de professores e no ensino de química. 2011. 129 f. Dissertação (Mestrado em Educação em Ciências e Matemática)-Faculdade de Física, Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2011.

BASTOS FILHO, R. P. **Contribuição de um fórum virtual ao ensino de física no PROEJA**. 2009. 106 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Naturais)-Laboratório de Ciências Físicas, Laboratório de Ciências Químicas, Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Campos dos Goytacazes, 2009.

BERTOLDO, L. A. et al. PIBID/UEL: o ensino do tema nanotecnologia para o ensino médio. In: ENCONTRO NACIONAL DE ENSINO DE QUÍMICA, 16., 2012, Salvador. **Anais...** Salvador: Sociedade Brasileira de Química, 2012. Disponível em: <<http://www.eneq2012.qui.ufba.br/modulos/submissao/Upload/43542.pdf>>. Acesso em: 14 dez. 2012.

CARVALHO, S. H. M.; ZANETIC, J. Ciência e arte, razão e imaginação: complementos necessários à compreensão da física moderna. In: ENCONTRO DE PESQUISA EM ENSINO DE FÍSICA, 9., 2004, Jaboticatubas, MG. **Anais...** Jaboticatubas, MG: Sociedade Brasileira de Física, 2004. Disponível em: <<http://www.sbf1.sbfisica.org.br/eventos/epf/ix/atas/comunicacoes/co13-1.pdf>>. Acesso em: 14 dez. 2012.

CAVALCANTE, M. A.; JARDIM, V.; BARROS, J. A. A. Inserção de física moderna no ensino médio: difração de um feixe laser. **Caderno Catarinense de Ensino de Física**, Florianópolis, v. 16, n. 2, p. 154-169, 1999.

CIMA, V. A. **Tópicos de ciência e tecnologia contemporâneas na educação básica**: retratos de um desafio docente. 2007. 206 f. Dissertação (Mestrado em Educação Científica e Tecnológica)-Centro de Ciências Físicas e Matemáticas, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2007.

COSTA, S.; HUGHES, T. B.; PINCH, T. Bringing it all back home: some implications of recent science and technology studies for the classroom science teacher. **Research in Science Education**, Nova York, v. 28, n. 1. p. 9-21, 1998.

DIAS, R. H. A. **A física nas revistas Ciência Hoje e Pesquisa Fapesp** – Leituras de licenciandos. 2009. 125 f. Dissertação (Mestrado em Educação)-Faculdade de Educação, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2009.

ELLWANGER, A. L.; FAGAN, S. B. Abordagens de nanociências para o ensino básico. In: SIMPÓSIO NACIONAL DE ENSINO DE FÍSICA, 19., 2011, Manaus. **Anais...** Manaus: Sociedade Brasileira de Física, 2011. Disponível em: <<http://www.sbf1.sbfisica.org.br/eventos/snef/xix/sys/resumos/T0011-1.pdf>>. Acesso em: 24 ago. 2012.

ELLWANGER, A. L.; FAGAN, S. B.; MOTA, R. Do metro ao nanômetro: um salto para o átomo. In: SIMPÓSIO NACIONAL DE ENSINO DE FÍSICA, 18., 2009, Vitória. **Anais...** Vitória: Sociedade Brasileira de Física, 2009. Disponível em: <<http://www.sbf1.sbfisica.org.br/eventos/snef/xviii/sys/resumos/T0706-1.pdf>>. Acesso em: 24 ago. 2012.

FERNANDES, M. F. M.; FILGUEIRAS, C. A. L. Um panorama da nanotecnologia no Brasil (e seus macro-desafios). **Química Nova**, São Paulo, v. 31, n. 8, p. 2205-2213, 2008.

FERREIRA, L. N. A.; QUEIROZ, S. L. Textos de divulgação científica no ensino de ciências: uma revisão. **ALEXANDRIA – Revista de Educação em Ciência e Tecnologia**, Florianópolis, v. 5, n. 1, p. 3-31, 2012.

FRANÇA, S. B. **Investigando o desenvolvimento da concepção de nanomundo no ensino fundamental**. 2005. 108 f. Dissertação (Mestrado em Ensino das Ciências)- Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, 2005.

GAMA, L. C. **Divulgação Científica: leituras em classes do ensino médio**. 2005. 211 f. Dissertação (Mestrado em Educação)-Faculdade de Educação, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2005.

GIRALDELLI, C. G. C. M. **Gestos de interpretação na leitura de um texto literário de divulgação científica: crianças em situação escolar**. 2007. 189 f. Dissertação (Mestrado em Educação)-Faculdade de Educação, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2007.

JOACHIM C.; PLÉVERT L. **Nanociências: a revolução invisível**. Rio de Janeiro: Jorge Zahar Ed., 2009, 164 p.

LANÇA, T. **Newton numa leitura de divulgação científica: produção de sentidos no ensino médio**. 2005. 114 f. Dissertação (Mestrado em Educação)-Faculdade de Educação, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2005.

LEMONS, F. C. et al. Nanotecnologia e química: uma abordagem interdisciplinar para o ensino médio. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE EDUCAÇÃO QUÍMICA, 9., 2011, Natal. **Anais...** Natal: Sociedade Brasileira de Química, 2011. Disponível em: <<http://www.abq.org.br/simpequi/2011/trabalhos/70-9849.htm>>. Acesso em: 14 dez. 2012.

LEMOS, F. C. et al. Nanotecnologia e química ambiental: uma abordagem para o ensino médio. In: ENCONTRO NACIONAL DE ENSINO DE QUÍMICA, 16., 2012, Salvador. **Anais...** Salvador: Sociedade Brasileira de Química, 2012. Disponível em: <<http://www.eneq2012.qui.ufba.br/modulos/submissao/Upload/42373.pdf>>. Acesso em: 10 dez. 2012.

LEONEL, A. A. **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 em Educação Científica e Tecnológica)-Centro de Ciências Físicas e Matemáticas, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2010.

LEONEL, A. A.; SOUZA, C. A. Nanociência e nanotecnologia para o ensino de física moderna e contemporânea na perspectiva da alfabetização científica e técnica. In: ENCONTRO NACIONAL DE PESQUISA EM EDUCAÇÃO EM CIÊNCIAS, 7., 2009, Florianópolis. **Anais...** Florianópolis: Associação Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências, 2009. Disponível em: <<http://posgrad.fae.ufmg.br/posgrad/viienepec/pdfs/1574.pdf>>. Acesso em: 12 dez. 2012.

LIMA, M. C. A.; ALMEIDA, M. J. P. M. Articulação de textos sobre nanociência e nanotecnologia para a formação inicial de professores de física. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, São Paulo, v. 34, n. 4, p. 4401-1-4401-9, 2012.

LOPES, I. K. B. et al. Nanotecnologia e nanociência no ensino de química. In: ENCONTRO NACIONAL DE ENSINO DE QUÍMICA, 16., 2012, Salvador. **Anais...** Salvador: Sociedade Brasileira de Química, 2012. Disponível em: <<http://www.eneq2012.qui.ufba.br/modulos/submissao/Upload/42831.pdf>>. Acesso em: 14 dez. 2012.

LOZADA, C. O.; ARAÚJO, M. S. T. Alfabetização científica e tecnológica na nanoaventura: uma viagem divertida pelo mundo da nanotecnologia. In: SIMPÓSIO NACIONAL DE ENSINO DE FÍSICA, 17., 2007, São Luís. **Anais...** São Luís: Sociedade Brasileira de Física, 2007. Disponível em: <<http://www.sbf1.sbfisica.org.br/eventos/snef/xvii/sys/resumos/T0160-2.pdf>>. Acesso em: 22 ago. 2012.

LOZADA, C. O.; ARAÚJO, M. S. T.; GUZZO, M. M. Educar pela pesquisa e os museus de ciências: um estudo de caso na nanoaventura. In: ENCONTRO DE PESQUISA EM ENSINO DE FÍSICA, 10., 2006, Londrina. **Anais...** Londrina: Sociedade Brasileira de Física, 2006. Disponível em: <<http://www.sbf1.sbfisica.org.br/eventos/epef/x/sys/resumos/T0065-2.pdf>>. Acesso em: 24 ago. 2012.

MACHADO, D. I.; NARDI, R. Construção de conceitos de física moderna e sobre a natureza da ciência com o suporte da hipermídia. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, São Paulo, v. 28, n. 4, p. 473-485, 2006.

MARQUES FILHO, E. C. **Crenças de futuros professores de física em contexto de inovação curricular**: o caso de um curso de física moderna e contemporânea no ensino médio. 2011. 418 f. Dissertação (Mestrado em Ensino de Ciências)-Instituto de Física, Instituto de Química, Instituto de Biociências, Faculdade de Educação, Universidade de São Paulo, 2011.

MARTINS, I.; NASCIMENTO, T. G.; ABREU, T. B. Clonagem na sala de aula: um exemplo do uso didático de um texto de divulgação científica. **Investigações em Ensino de Ciências**, Porto Alegre, v. 9, n. 1, p. 95-111, 2004.

MENEGAT, T. M. C.; FAGAN, S. B. O uso de textos de divulgação científica para abordagens de tópicos de nanociências em aulas de física. In: SIMPÓSIO NACIONAL DE ENSINO DE FÍSICA, 18., Vitória, 2009. **Anais...** Vitória: Sociedade Brasileira de Física, 2009. Disponível em: <<http://www.sbf1.sbfisica.org.br/eventos/snef/xviii/sys/resumos/T0068-2.pdf>> Acesso em: 19 ago. 2012.

MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO. Secretaria de Educação Básica. **Ciências da natureza, matemática e suas tecnologias**. Brasília, 2006. 135 p. (Orientações curriculares para o ensino médio; volume 2).

NASCIMENTO, T. G. Contribuições da análise do discurso e da epistemologia de Fleck para a compreensão da divulgação científica e sua introdução em aulas de ciências. **Ensaio – Pesquisa em Educação em Ciências**, Belo Horizonte, v. 1, n. 2, p. 1-18, 2005.

NASCIMENTO, T. G.; REZENDE JÚNIOR M. F. A produção sobre divulgação científica na área de educação em ciências: referenciais teóricos e principais temáticas. **Investigações em Ensino de Ciências**, Porto Alegre, v. 15, n. 1, p. 97-120, 2010.

OLIVEIRA, J. M. L.; FERREIRA, C. U.; ALMEIDA, M. J. P. M. Leitura de um texto de divulgação científica sobre nanotecnologia no ensino médio. In: SIMPÓSIO NACIONAL DE ENSINO DE FÍSICA, 20., 2013, São Paulo. **Anais...** São Paulo: Sociedade Brasileira de Física, 2013. Disponível em: <<http://www.sbf1.sbfisica.org.br/eventos/snef/xx/programa/trabalhos.asp?sesId=1>>. Acesso em: 14 mar. 2013.

OLIVEIRA, J. M. L.; ALMEIDA, M. J. P. M. O discurso como objeto de pesquisa: representações de professores sobre a física moderna e contemporânea no ensino médio. In: ENCONTRO DE PESQUISA EM ENSINO DE FÍSICA, 14., 2012, São Sebastião. **Anais...** São Sebastião: Sociedade Brasileira de Física, 2012. Disponível em: <<http://www.sbf1.sbfisica.org.br/eventos/epef/xiv/sys/resumos/T0123-1.pdf>>. Acesso em: 14 dez. 2012.

ORLANDI, E. P. **Análise de Discurso: princípios e procedimentos**. Campinas: Pontes, 2012, 100p.

_____. Discurso, imaginário social e conhecimento. **Em Aberto**, Brasília, ano 14, n. 61, p. 53-59, 1994.

_____. **Interpretação: autoria, leitura e efeitos do trabalho simbólico**. Campinas: Pontes, 2007, 156p.

_____. Leitura e discurso científico. **Cadernos Cedes**, Campinas, ano XVIII, n. 41, p. 25-34, 1997.

_____. O discurso pedagógico: a circularidade. In: ORLANDI, E. P. **A linguagem e seu funcionamento: as formas do discurso**, Campinas: Pontes, 1996a, p. 15-23.

_____. Para quem é o discurso pedagógico. In: ORLANDI, E. P. **A linguagem e seu funcionamento: as formas do discurso**, Campinas: Pontes, 1996b, p. 25-38.

_____. Paráfrase e Polissemia – A fluidez nos limites do simbólico. **Rua**, Campinas, n. 4, p. 9-19, 1998.

OSTERMANN, F.; MOREIRA, M. A. Uma revisão bibliográfica sobre a área de pesquisa física moderna e contemporânea no ensino médio. **Investigações em Ensino de Ciências**, Porto Alegre, v. 5, n. 1, p. 23-48, 2000.

OULTON, C.; DILLON, J.; GRACE, M. M. Reconceptualizing the teaching of controversial issues. **International Journal of Science Education**, Londres, v. 26, n. 4, p. 411-423, 2004.

PASCHOALINO, M. P.; MARCONE, G. P. S.; JARDIM, W. F. Os nanomateriais e a questão ambiental. **Química Nova**, São Paulo, v. 33, n. 2, p. 421-430, 2010.

PÊCHEUX, M.; FUCHS, C. A propósito da Análise Automática do Discurso: atualização e perspectivas (1975). Tradução de Péricles Cunha. In: GADET, F.; HAK, T. (Orgs.) **Por uma análise automática do discurso**: uma introdução à obra de Michel Pêcheux, Campinas: Editora da Unicamp, 1990, p. 163-252.

PEREIRA, C. R. S. **Nanotecnologia e citologia**: perspectivas para o ensino de biologia no século XXI. 2009. 118 f. Dissertação (Mestrado em Educação em Ciências e Matemática)-Faculdade de Física, Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2009.

PEREIRA, C. R. S. et al. Nanotecnologia e citologia na formação de professores de ciências. In: ENCONTRO NACIONAL DE PESQUISA EM EDUCAÇÃO EM CIÊNCIAS, 7., 2009, Florianópolis. **Anais...** Florianópolis: Associação Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências, 2009. Disponível em: <<http://posgrad.fae.ufmg.br/posgrad/viiienpec/pdfs/984.pdf>>. Acesso em: 12 dez. 2012.

PEREIRA, F. D.; HONÓRIO, K. M.; SANNOMIYA M. Nanotecnologia: desenvolvimento de materiais didáticos para uma abordagem no ensino fundamental. **Química Nova na Escola**, São Paulo, v. 32, n. 2, p. 73-77, 2010. Disponível em <http://qnesc.s bq.org.br/online/qnesc32_2/03-QS-6609.pdf>. Acesso em: 19 ago. 2012.

PERTICARRARI, A. et al. O uso de textos de divulgação científica para o ensino de conceitos sobre ecologia a estudantes da educação básica. **Ciência & Educação**, Bauru, v. 16, n. 2, p. 369-386, 2010.

PINTO, A. C.; ZANETIC, J. É possível levar a física quântica para o ensino médio? **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, Florianópolis, v.16, n.1, p.7-34, 1999.

PINTO, G. A. Literatura não canônica de divulgação científica em aulas de ciências. **Ensaio – Pesquisa em Educação em Ciências**, Belo Horizonte, v. 11, n. 2, p. 1-19, 2009.

QUINA, F. H. Nanotecnologia e o meio ambiente: perspectivas e riscos. **Química Nova**, São Paulo, v. 27, n. 6, p. 1028-1029, 2004.

RAMOS, M. B.; SILVA, H. C. Para pensar as controvérsias científicas em sala de aula. **Ciência & Ensino**, Campinas, v. 1, número especial, p. 1-16, 2007.

REBELLO, G. A. F. et al. Nanotecnologia, um tema para o ensino médio utilizando a abordagem CTSA. **Química Nova na Escola**, São Paulo, v. 34, n. 1, p. 3-9, 2012.

REBELLO, G. A. F. et al. Nanotecnologia, um tema para o ensino médio utilizando-se a abordagem CTSA – síntese de nanopartículas magnéticas a partir de materiais de baixo custo. In: ENCONTRO NACIONAL DE ENSINO DE QUÍMICA, 15., 2010, Brasília. **Anais...** Brasília: Sociedade Brasileira de Química, 2010. Disponível em: <<http://www.xvneq2010.unb.br/resumos/R0123-1.pdf>>. Acesso em: 14 dez. 2012.

SANTOS, L. L.; SILVA, E. K.; BATINGA, V. T. Análise de uma sequência didática sobre o tema nanotecnologia para abordagem do conteúdo de coloides. In: ENCONTRO NACIONAL DE ENSINO DE QUÍMICA, 16., 2012, Salvador. **Anais eletrônicos...** Salvador: Sociedade Brasileira de Química, 2012. Disponível em: <<http://www.eneq2012.qui.ufba.br/modulos/submissao/Upload/42084.pdf>>. Acesso em: 13 dez. 2012.

SÃO PAULO (Estado). Secretaria da Educação. **Currículo do Estado de São Paulo: Ciências da natureza e suas tecnologias.** São Paulo: Secretaria da Educação, 2011. 152 p.

SCHULZ, P. A. B. **A encruzilhada da nanotecnologia: inovação, tecnologia e riscos.** Rio de Janeiro: Vieira & Lent, 2009, 128 p.

_____. Nanociência de baixo custo em casa e na escola. **Física na Escola**, São Paulo, v. 8, n. 1, p. 4-9, 2007.

SILVA, D. E. **Divulgação científica no ensino médio: a equação relativística entre massa e energia.** 2012. 129 f. Dissertação (Mestrado em Educação)-Faculdade de Educação, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2012.

SILVA, H. C. A noção de textualização para pensar os textos e as práticas de leituras da ciência na escola. In: PINTO, G. A. (Org.) **Divulgação científica e práticas educativas.** Curitiba: Editora CRV, 2010, p. 25-42.

SILVA, J. A.; KAWAMURA, M. R. D. A natureza da luz: uma atividade com textos de divulgação científica em sala de aula. **Caderno Catarinense de Ensino de Física**, v. 18, n. 3, p. 316-339, 2001.

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**, São Paulo, v. 31, n. 3, p. 172-178, 2009. Disponível em <http://qnesc.sbq.org.br/online/qnesc31_3/04-QS-7808.pdf>. Acesso em: 20 ago. 2012.

SIQUEIRA-BATISTA, R. et al. Nanociência e nanotecnologia como temáticas para discussão de ciência, tecnologia, sociedade e ambiente. **Ciência & Educação**, Bauru, v. 16, n. 2, p. 479-490, 2010.

TERRAZZAN, E. A. A inserção da física moderna e contemporânea no ensino de física na escola de 2º grau. **Caderno Catarinense de Ensino de Física**, Florianópolis, v. 9, n. 3, p. 209-214, 1992.

TOMA, H. E. A nanotecnologia das moléculas. **Química Nova na Escola**, São Paulo, n. 21, p. 3-9, 2005. Disponível em <<http://qnesc.sbq.org.br/online/qnesc21/v21a01.pdf>>. Acesso em: 21 ago. 2012.

TOMA, H. E. **O mundo nanométrico**: a dimensão do novo século. 2.ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2009, 104 p.

VALADARES, E. C.; MOREIRA, A. M. Ensinando física moderna no segundo grau: efeito fotoelétrico, laser e emissão de corpo negro. **Caderno Catarinense de Ensino de Física**, Florianópolis, v. 15, n. 2, p. 121-135, 1998.

VALENTE, L. **A física moderna e contemporânea no ensino médio**: caminhos para a sala de aula. 2009. 218 f. Dissertação (Mestrado em Ensino de Ciências)-Instituto de Física, Instituto de Química, Instituto de Biociências e Faculdade de Educação, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2009.

WHITESIDES, G. M. The once and future nanomachine: Biology outmatches futurists' most elaborate fantasies for molecular robots. **Scientific American**, v. 285, n. 3, p. 70-75, 2001. Disponível em: <<http://gmwgroup.harvard.edu/pubs/pdf/762.pdf>>. Acesso em 14 mar. 2013.

ZANELLA, I. et al. Abordagens em nanociência e nanotecnologia para o ensino médio. In: SIMPÓSIO NACIONAL DE ENSINO DE FÍSICA, 18., 2009, Vitória. **Anais...** Vitória: Sociedade Brasileira de Física, 2009. Disponível em: <<http://www.sbf1.sbfisica.org.br/eventos/snef/xviii/sys/resumos/T0556-1.pdf>>. Acesso em: 20 ago. 2012.

ZANOTELLO, M.; ALMEIDA, M. J. P. M. Produção de sentidos e possibilidades de mediação na física do ensino médio: leitura de um livro sobre Isaac Newton. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, São Paulo, v. 29, n. 3, p. 437-446, 2007.

ANEXO

Textos que compuseram a unidade de ensino

Texto introdutório

Nanoescala, Nanotecnologia e Nanociência

José Márcio de Lima Oliveira

O avanço da ciência e da tecnologia tem proporcionado a miniaturização dos aparatos de tal forma que, atualmente, já existem materiais que foram obtidos a partir de pesquisas numa escala em que o objeto investigado é invisível a olho nu e impossível de ser observado com microscópios convencionais. Estamos falando da escala nanométrica⁹: uma escala cuja unidade é determinada um bilhão de vezes menor que o metro.

Para se ter uma breve noção do quão pequeno é o nanômetro, observemos as seguintes comparações¹⁰:

- um fio de cabelo humano tem cerca de 50.000 nanômetros (de espessura);
- a célula de uma bactéria tem cerca de algumas centenas de nanômetros;
- os chips comercializados em 2004 tinham padrões menores que 100 nanômetros;
- as menores coisas observáveis a olho nu têm cerca de 10.000 nm;
- 10 átomos de hidrogênio, alinhados, perfazem 1 nanômetro.

Na escala nanométrica as propriedades dos materiais mudam. Vejamos o caso do carbonato de cálcio: ao ser utilizado num aglomerado de partículas que não estão na escala nanométrica, como no giz, ele é bastante frágil. Por outro lado, quando agregado de forma nanométrica, como nas conchas marinhas, é altamente resistente. Outro exemplo que pode ser citado é o caso do alumínio: na escala macroscópica, é um material resistente. Já na escala nanométrica, torna-se inflamável e, exposto ao ar, sofre combustão imediata.

Foi somente a partir da década de 1980 que os pesquisadores obtiveram microscópios que possibilitaram a manipulação e o controle de materiais nessa escala. Estas investigações, até então, eram impossíveis de serem realizadas por causa da ausência de instrumentos capazes de explorar uma escala tão reduzida.

⁹ O termo *nano*, do grego ‘anão’, é um prefixo no Sistema Internacional de unidades (SI) e o termo nanômetro (abreviado nm) o número 0, 000 000 001 m. Em notação científica indicamos como 10^{-9} m.

¹⁰ ALVES, O. L. Nanotecnologia, nanociência e nanomateriais: quando a distância entre presente e futuro não é apenas questão de tempo. *Parcerias Estratégicas*, Brasília, n. 18, p. 23-40, 2004.

As investigações na escala nanométrica abriram as possibilidades para manipular átomos individuais e moléculas em laboratórios, constituindo conjuntos de técnicas das quais se originou a nanotecnologia e uma área de conhecimentos com focos nas propriedades e fenômenos de estruturas cujas dimensões estão compreendidas entre cerca de 1 e 100 nanômetros, a nanociência, com consequências que há alguns anos não poderiam ser previstas.

4.2 O que Muda no Nanomundo

Um ponto importante no qual se baseia a Nanotecnologia é o fato de que o tamanho de um objeto afeta as suas propriedades quando se atinge a escala nanométrica (10^{-9} m).

Um pequeno cubo de ferro ilustra bem o que acontece quando é subdividido sucessivamente, gerando blocos cada vez menores. O cubo original apresenta propriedades específicas do elemento ferro: ponto de fusão, cor característica, imantação (transforma-se em ímã permanente na presença de um campo magnético), etc. Enquanto as dimensões dos pequenos cubos se encontram fora da escala nanométrica, as suas propriedades físicas não dependem do tamanho dos blocos.

Embora os cubos deixem de ser visíveis quando o seu lado fica menor que um décimo de milímetro, ainda assim podemos observá-los com um microscópio óptico e verificar que eles apresentam as propriedades usuais do ferro. Talvez a sua cor mude, um sinal que algo estranho acontece quando os blocos se tornam minúsculos. Quando os cubos atingem a escala nanométrica, mudanças drásticas, começam a ocorrer. Os nanoblocos fundem-se a temperaturas mais baixas e deixam de formar ímãs, entre várias outras alterações dependentes do tamanho dos cubos.

O exemplo dos blocos de ferro evidencia que as propriedades especiais dos nano-objetos decorrem do seu tamanho diminuto. A Nanociência e a Nanotecnologia dedicam-se a desvendar essas novas propriedades e a explorar as suas múltiplas aplicações tecnológicas.

É importante ressaltar, todavia, que além do tamanho dos objetos, o que define a nanociência e a nanotecnologia são os novos procedimentos utilizados para se investigar o nanomundo. O estudo e a utilização de objetos nanométricos vêm de longa data. Os químicos, por exemplo, há muito estudam como os átomos se juntam para formar moléculas. Deste modo, a química deveria ser incorporada, pelo menos em parte, à nanociência. O mesmo poderia ser dito em relação à biologia, uma vez que os organismos vivos são formados a partir de objetos nanométricos, ou seja, a partir de moléculas complexas ou de arranjos ainda mais complexos dessas moléculas.

A nanoquímica vai muito além dos procedimentos tradicionais adotados pelos químicos para sintetizar compostos, como misturar, agitar, aquecer, filtrar, destilar, etc. Os químicos, além desses métodos, utilizam agora técnicas mais elaboradas. Inicialmente uma nova molécula é projetada. Para fabricá-la são utilizados métodos que envolvem manipulação da matéria na escala atômica, não raro em ambiente de ultra-alto vácuo. Para que a molécula adquira as propriedades desejadas, um novo átomo ou conjunto de átomos ligados deve ser adicionado em um ponto predeterminado da molécula. É como se os químicos brincassem de lego, com a diferença de que as peças básicas agora são átomos e moléculas.

Copyright © 2005: Editora Livraria da Física

Editor responsável: José Roberto Marinho

Capa: Arte Ativa

Diagramação: Arnaldo Gomes de Oliveira Filho

Desenhos: Cláudio Roberto

Revisão e editoração: Carlos Irineu da Costa

Impressão: Gráfica Paym

Dados de Catalogação na Publicação (CIP) Internacional
(Câmara Brasileira do Livro, SP, Brasil)

Valadares, Eduardo de Campos

Aplicações da física quântica: do transistor à nanotecnologia / Eduardo de Campos Valadares, Alair S. Chaves, Esdras Garcia Alves. - 1.ª ed. - São Paulo: Editora Livraria da Física, 2005. - (Temas atuais de física)

Bibliografia.

I. Física 2. Teoria quântica I. Chaves, Alair S. II. Alves, Esdras Garcia. III. Título.

04-7534

CDD-539

Índices para catálogo sistemático:
Física quântica 539

ISBN : 85-88325 - 32-2

Editora Livraria da Física

Telefone : 0xx11 - 3936 3413

Fax : 0xx11 - 3815 8688

Página na internet : www.livrariadafisica.com.br

Enfim, o que caracteriza tanto a nanociência quanto a nanotecnologia é a adoção de técnicas que permitem tanto visualizar como manipular a matéria na escala nanométrica, incluindo a manipulação direta de átomos.

4.8 Nanotubos de Carbono e suas Múltiplas Aplicações

O átomo de carbono é um elemento versátil que pode ser encontrado em vários arranjos atômicos. Ele é a base de vários materiais de grande importância tecnológica e também da própria vida.

Um dos seus arranjos mais conhecidos é a grafite, no qual átomos de carbono formam redes hexagonais dispostas em planos paralelos (sistemas bidimensionais), havendo uma fraca ligação entre planos vizinhos.

Outras formas de composição do carbono têm despertado grande interesse científico e tecnológico. Uma delas são as estruturas nanométricas com o formato de uma bola, destacando-se a molécula C_{60} , que constituem os chamados fullerenos. Essas estruturas foram descobertas em 1985 por R. F. Curl, H. W. Kroto e R. E. Smalley.

Em 1991 uma nova estrutura do carbono foi identificada por S. Iijima, os chamados nanotubos de carbono. Eles são basicamente folhas de grafite que se enrolam para formar tubos com diâmetro variando entre 2 e 5 nm e comprimentos que superam a escala de microns. A Figura 4.5 ilustra os chamados nanotubos de parede única (existem outros tipos de nanotubos que podem ser vistos como cebolas cilíndricas, constituídos de nanotubos concêntricos de diâmetros diferentes).

Os nanotubos de parede única são caracterizados por dois parâmetros: o seu diâmetro e a quiralidade, associada à orientação dos hexágonos de carbono em relação ao eixo do tubo (veja Figura 4.5). Em aplicações avançadas, é desejável que os nanotubos apresentem di-

âmetro e quiralidade uniformes, daí a importância do controle desses dois parâmetros no processo de síntese.

Os nanotubos de carbono apresentam várias propriedades inéditas, a começar pela sua resistência mecânica. Eles permitem fabricar sólidos quatro vezes mais leves e pelo menos cinco vezes mais resistentes que o aço, o que poderá gerar aplicações relevantes para a indústria mecânica. Dependendo da quiralidade, os nanotubos podem ser semicondutores ou metálicos, uma característica vital para dispositivos nanoeletrônicos.

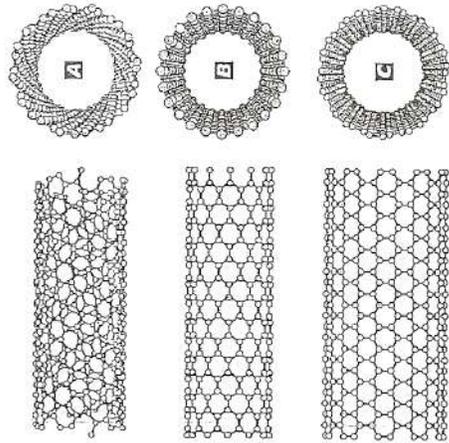


Figura 4.5. Nanotubos de carbono de uma única parede. Note que em A os hexágonos de carbono não estão alinhados como o eixo do tubo, o que significa que a estrutura é quiral, ao contrário do que acontece em B e C (nanotubos não quirais). Em geral, o comprimento de nanotubo é cerca de cem a mil vezes o seu diâmetro. (Figura: cortesia de Dr. Mário Sérgio Carvalho Mazzoni - UFMG).

4.9 Obtenção de Água Doce com Nanotubos

Dessalinizadores de água a base de nanotubos de carbono já são uma realidade. Esses dispositivos poderão ter considerável impacto econômico. O seu princípio de funcionamento é descrito na Figura 4.7. Os nanotubos são colados às placas metálicas de um capacitor, como se fossem cabelos, e uma tensão elétrica da ordem de 1 volt é aplicada entre as placas, como indicado na figura.

Ao se injetar água salina no dessalinizador, os íons Na^+ e Cl^- são atraídos para placas distintas do capacitor. Ali os íons se fixam nos nanotubos (são adsorvidos). Uma vez que os nanotubos têm enorme área por unidade de massa, da ordem de 1000 m^2 por grama, eles permitem reter uma grande quantidade de íons. A água doce é assim coletada na saída do dessalinizador. Eventualmente, a capacidade de retenção dos nanotubos satura à medida que eles são recobertos com íons.

4.14 Impacto da Nanotecnologia na Medicina

A área de medicamentos (farmácia) está sendo revolucionada pela nanotecnologia. Isso se deve ao fato de que quase a metade das compoentes em uma farmácia não são solúveis em água. Logo, quando por via oral, a forma convencional, não são tão absorvidas pelo organismo.

Compostos nanoparticulados têm a sua ação assegurada, logo após a ingestão, com a grande solubilidade e por serem absorvidos pelas células doentes mesmo no estado sólido. Atualmente estão sendo desenvolvidas algumas drogas extremamente eficientes baseadas em partículas nanométricas. Pretende-se que elas circulem no sangue e sejam absorvidas seletivamente por células cancerosas, por exemplo. A seleção de cada dessas drogas reduz drasticamente efeitos colaterais indesejáveis.

Uma das grandes dificuldades da farmacologia tradicional é o seu empirismo, talvez, em grande parte, inevitável, sendo em vazio a previsão dos processos bioquímicos. Na maioria dos casos descreve-se que uma droga funciona ao combater a determinada enzima, por exemplo, e erro. Como o seu mecanismo de atuação é muitas vezes desconhecido, não há controle efetivo da droga, tornando-se difícil prever os seus efeitos colaterais adversos. Frequentemente, as escolhas de uma droga ficam evidentes somente após um tempo prolongado de uso.

Um dos objetivos da nanotecnologia é desenvolver drogas cuja ação possa ser melhor compreendida. Com isso, pretende-se controlar a sua capacidade de iniciar ou promover ligações com moléculas presentes na membrana celular. Imagine uma molécula solúvel cuja conformação especial permita neutralizar o efeito de uma dada molécula (fermina, toxina, bactéria, anticorpo, etc) que pode ser nociva ao organismo. As duas moléculas se reconheceriam mutuamente e se fundiriam. Depois disso a molécula potencialmente nociva deixaria de ser ativa. Medicamentos desse tipo podem vir a ser consideravelmente mais seguros e eficazes.

4.15 Disponibilizando Drogas de Forma Controlada

A nanotecnologia está obtendo progressos consideráveis em uma série de áreas e disponibilizando de uma droga. Existem dois aspectos a serem

Para remover os íons retidos pelas nanopóros, basta reverter a polaridade da tensão nas placas. Com o potencialo invertido, os íons negativos passam a repulir, e assim liberar, os íons anteriormente adsorvidos. Neste caso, a água injetada no interior das placas vai atacar, pois os íons, a ponto ser voltados para a obtenção de OH^- . O processo de liberação continua quando o sel acumulador é seladamente removido das nanopóros, podendo o desativador ser utilizado novamente.

O custo energético do processo de desativação descrito é da ordem de 0,5 kWh por m^3 , bem menor que o custo dos demais processos comerciais. Tão logo a produção de nanopóros de carbono em larga escala se torna economicamente viável, a água doce obtida com técnicas similares baseadas no princípio descrito acima poderá ser usada para abastecer as residências urbanas.



Figura 4.7. Desativadores de água baseada em nanopóros de carbono

considerações. Um defeito é manter níveis mais ou menos estáveis de concentração da droga no organismo por tempo relativamente longo.

Para se obter uma concentração estável tem sido usado o artifício de encapsular drogas no interior de partículas poliméricas amorfas e frias. O polímero é selecionado para dissolver-se lentamente no interior do organismo, liberando a droga e disponibilizando-a aos tecidos. Medicamentos assim encapsulados são comercializados como drogas transporáveis. Em alguns casos, o polímero apertado se dissolve em circunstâncias específicas e desejáveis.

Um exemplo de droga transporável são os antídotos encapsulados em casulos que se temte se dissolvem em meios muito ácidos. Uma vez passado do órgão onde a acidez está acentuada encontram um meio da parede do órgão onde a acidez está atenuada.

Um segundo fator relevante para a disponibilização de drogas diz respeito a alguns fármacos que, para poderem atuar, têm de penetrar no interior das células. Drogas compostas por moléculas polares (que têm um dipolo elétrico) geralmente não conseguem atravessar a membrana que recobre a célula. Nesse caso, é necessário encapsular as moléculas (uma a uma, ou em pequenas porções) em um casulo feito de lípidos não polares. Com isso, o casulo, um verdadeiro "navio de Tirois", é capaz de penetrar na célula e liberar em seu interior as moléculas que terão o efeito farmacológico desejado.

4.16 Nanopartículas Magnéticas e Tumores

Nanopartículas magnéticas biocompatíveis constituem outra linha de ação da nanotecnologia aplicada à medicina. Dois tipos de processos devem ser considerados.

Em um deles, drogas que devem atuar em um ponto específico do corpo humano, por exemplo no cérebro ou em um tumor, são encapsuladas em nanopartículas magnéticas injetadas no organismo. Através de ímãs, é utilizado-se alguma técnica que permita visualizar o trajeto das partículas no corpo, e assim, os órgãos ou áreas onde a droga deve atuar são localizados. Assim, são obtidas altas concentrações da droga no local desejado sem que haja se dissiparem por todo o corpo e ataquem outros órgãos.

Outro processo consiste em injetar no organismo nanopartículas magnéticas que por sua natureza são facilmente "degradadas" por ob-

ras de átomos e moléculas. Como essas partículas são muito minúsculas, mesmo um campo magnético reduzido é suficiente para virar o turno, elas deixam acumulado o tempo necessário. Isso gera um aquecimento sobre as células que contém as partículas, que são destruídas quando a temperatura atinge cerca de 42°C.

O uso de nanopartículas magnéticas na medicina concentra-se na fase de intensa pesquisa. Os resultados já obtidos em escala do laboratório são bastante encorajadores e é de se esperar que elas sejam incorporadas à prática médica.

4.17 Nanotecnologia e o Meio-Ambiente: Uso de Partículas Magnéticas Porosas na Remoção de Manchas de Petróleo Presentes na Água

As soluções projetadas pela nanotecnologia para o grave problema ambiental da atualidade geram a sua grande visibilidade.

Um exemplo ilustrativo é o uso de partículas magnéticas extremamente porosas na remoção de petróleo em águas contaminadas por acidentes de vazamento (veja Figura 4.10, nas páginas finais). As partículas, mesmo ótimas que a água, são espalhadas sobre a região atingida e seus poros, com dimensões nanométricas, absorvem ("sugam") o óleo. As partículas, propriamente ditas, apresentam geralmente dimensões micrométricas e são posteriormente removidas com um ímã. A técnica já está dominada e espera-se que em breve ela se torne economicamente viável em limpezas de grandes extensões de água contaminada.

17 | O embate da nanoética

© 2009 by Peter Alexander Buzarelli Scholz

Todos os direitos reservados a todos os direitos editoriais. IRLA.
Rua Senador Dantas, 118 | cj. 407
20001-201 | Rio de Janeiro | RJ
Telônia | 21 2252 8314
edicao@irlandia.com.br | www.irlandia.com.br

Colaboração especial

Editora
Roberto Leit e Gláucia Vieira
Conselho Editorial
Gláucia Vieira | Ciro Javorky | Diógenes Cavalcanti | Rômulo
Gláucia Vieira | Carlos Pinheiro | Museu Nacional | UFRJ
Cláudia Rodrigues | Sílvio Sales | Instituto de Física | Universidade de São Paulo

Editor assistente | Raphael Vidal
Projeto gráfico capa | Cláudia Penelope Leite
Projeto gráfico título | Cláudia Leitinho | Celina Siqueira
Capa e diagramação desta edição | Augusto Barros | Vera & Vera
Revisão | Maria Beatriz Broggiêdo da Costa

Edição reformada e atualizada das edições da Ilargua Portuguesa de 1994

CD-ROM: CONSULTA@IRLANDIA.COM - SUJEITO A APROVAÇÃO DO TRIBUNAL DE LICENÇA Nº 3408*

Scholz, Peter Alexander Buzarelli
A ética da nanotecnologia: inovação, tecnologia e ética
/ Peter Alexander Buzarelli Scholz. - Rio de Janeiro : Vieira & Leit, 2009.
148p. : il. - (Cláudia no Brasil)

Classificação
Linha Bibliográfica
ISBN 978-85-03-782-55-6

1. Nanotecnologia. 2. Nanotecnologia. 3. Inovações tecnológicas.
I. Título. II. Série.

09-0715
16.02.09 10.02.09
CDD: 621.4
CDD: 601.5
011204

1ª edição, abril de 2009
© 2009 by Ilargua editorial IRLA.

ESSE OTIMISMO SOBRE UMA SOLUÇÃO TÉCNICA do problema de uma toxicologia devido às nanopartículas não é de todo criticando por pesquisadores que abordam o problema de outro ponto de vista. Ao mesmo tempo em que uma nanotoxicologia está em construção, uma nanoética também se encontra em seus primórdios. Antes que eu me esqueça, existem revistas especializadas para discutir todos esses assuntos, como a *Nanosphere*, por exemplo. Por isso a homenagem ao título desse capítulo. Que pergunta faz um nanotecnologista? Uma delas é: os benefícios dos nanomateriais superam

os prejuízos? Outras: todos os nanomateriais precisam ser regulamentados?

Responder a essas questões aqui de forma definitiva está fora de questão. Mas há uma que é mais simples e foi levantada em um artigo publicado nessa *Nanorevista*: quais políticas de nanotecnologia podem contribuir para a habilitação da sociedade de construir um consentimento informado dos potenciais riscos associados com a produção e uso de nanomateriais?

Primeiro: o que é consentimento informado? É o conceito central da ética no exercício da medicina (bem como da pesquisa biomédica) e da administração de riscos médicos. Baseia-se em quatro fatores: (1) acesso às informações, (2) compreensão dos procedimentos pelos pacientes, (3) voluntariedade na aceitação dos procedimentos e (4) competência para dar o consentimento ao uso de terapias ou a participação em experimentos.

A ideia de emprestar essa concepção para estabelecer um ponto de partida para que a sociedade se posicione frente à introdução de uma provável avalanche de produtos baseados em uma tecnologia, cujos efeitos são ainda objeto de estudo, parece razoável. No entanto, dito assim parece distante. Vamos ao que se percebe de fato nesse ponto de vista. A pergunta agora é: como deverá ser as políticas públicas

para garantir um consentimento informado em relação à nanotecnologia? Os problemas são quatro. Primeiro: os governos devem fracionar a pesquisa sobre impactos de nanotecnologias sobre o saúde e meio ambiente. Por que? Existe um desequilíbrio muito grande entre o volume de recursos para desenvolvimento de novas produtos e os poucos recursos destinados aos impactos desses produtos. Sobre isso os toxicólogos antes citados já nos preveniram. Além disso, temos conflitos de interesse, ou seja, a falta de informação sobre riscos não se deve somente a uma possível falta de recursos para a pesquisa desses riscos, mas também ao fato de que a detecção de riscos por parte dos interessados em vender os produtos desenvolvidos pode ser tendenciosa. Análises de risco devem ser feitas independentemente. Exemplos de situações análogas anteriores, para as quais esses conflitos de interesse causaram dano ao meio ambiente ou à saúde da população, são abundantes, mas esse livro vai chegando ao fim e "causos" ocupam espaço. Por isso, fica apenas a dica de um filme que aborda essa questão em relação à indústria do fumo: *O Informante*, com Russel Crowe.

Falando em fumo, a etiquetagem no Brasil dos maços de cigarro chamando a atenção aos problemas causados pelo cigarro é uma das mais eloquentes no mundo. E aqui

temos uma outra questão levantada sobre nanotecnologia: não existem exigências de etiquetar produtos que contenham nanomateriais, violando uma das condições para um consentimento informado. Essa falta de aviso, de etiquetagem de produtos com uma determinada tecnologia, foi um dos fatores importantes na percepção pública de alimentos transgênicos, outro tema que é parente próximo da nossa discussão aqui.

Por fim, existe uma questão que dá margem a muita confusão – e os nanotoxicólogos vêm nos avisando sobre isso, montadas em número de evidências científicas crescentes: o problema da extrapolação, que consiste em assumir, como é feito tradicionalmente, a hipótese de que apenas a massa e a composição química importam, esquecendo o tamanho. O perigo é o estabelecimento de normas de segurança inapropriadas. A proposta que aparece nessa sugestão de consentimento informado parece adequada para nanomateriais de uso médico, ou seja, nanomedicina. Alguém pode se perguntar: se esse consentimento informado é usado para a medicina, por que a regulamentação de todas as nanotecnologias, até as que não têm nada a ver com medicina, deve-se basear nessa postura? Boa pergunta! Melhores ainda são as respostas já discutidas. Os problemas que dificultam o consentimento informado

são os mesmos que aparecem em outras áreas também, como o conflito de interesses na indústria do tabaco, bem como a proposta de etiquetagem, aclamada no caso dos cigarros ou dos praxas de validade dos produtos perecíveis, e as dificuldades de extrapolação, já anunciada pelos toxicologistas.

Aos poucos é possível montar esse quadro-culicue das possíveis implicações da nanotecnologia sobre nossa vida. É uma montagem a várias mãos e, lembrando o espólio sobre o "caso" da Revolta da Vacina, questões sociais amplas precisam ser vistas intersetorialmente. A nanotecnologia, com sua abrangência e potenciais efeitos, envolve vários setores de fomento de pesquisas, registo de propriedade intelectual, neurologia⁶, regulamentação, meio ambiente e saúde – isso pelo menos. É possível verificar que as diferentes agências têm percepções diferentes da nanotecnologia e é preciso construir um consenso. Nada como mais um exemplo, esse discutido do ponto de vista do Direito e nos Estados Unidos. A autora de um interessante ensaio, *The FDA and Nano: Big problems with tiny technology* [A agência de alimentos e farmacos e seus grandes problemas com tecnologia diminuta], Jessica Fender aponta a discrepância entre as atitudes de diversas agências reguladoras. O cenário que a autora cobera é o

do senso comum, ou seja, a responsabilidade de um governo em nanotecnologia não se resume ao financiamento de pesquisa, incluindo questões de segurança e saúde, mas também na ação conjunta de vários órgãos reguladores. Por exemplo, invenções precisam ser patenteadas e o órgão responsável (nos Estados Unidos é o USPTO, Escritório dos Estados Unidos de Patentes e Marcas Registradas) precisa estar preparado para classificar questões em relação à nanotecnologia. Certos produtos precisam ter aprovação do FDA (no Brasil seria a ANVISA), o Instituto Nacional para Segurança e Saúde Ocupacional (NIOSH, no Brasil é a Fundacentro, ligada ao Ministério do Trabalho) assumiria a segurança do trabalhador frente à exposição de nanomateriais que apresentem perigo e a Agência de Proteção Ambiental (EPA, no Brasil o equivalente seria o IBAMA) monitoraria os efeitos de nanomateriais sobre o meio ambiente.

O resumo desse “causo” é que o escritório de patentes criou uma classe especial para patentes relacionadas a nanotecnologias, que deveriam ser um alerta para as outras agências mencionadas. Essa classe de patentes, *class 977*, diz que a invenção não é somente composta por nanoestruturas, mas essas nanoestruturas devem “possuir uma propriedade especial, prover uma função especial ou

produzir um efeito especial que é unicamente atribuível às estruturas em escala física nanoscópica”. O argumento é de que se o invento cai na classe 977, deve receber especial atenção das outras agências para ser liberado ou não. Por outro lado, a FDA parece insistir em que os atuais procedimentos regulatórios são adequados para a análise dos produtos envolvendo nanotecnologia, segundo a advogada Jéssica Fender. O descompasso parece evidente e merece um experimento, a cápsula do tempo, e uma analogia, a lenda do elefante e dos cegos.

Grupo ETC (Action Group on Erosion Technology and Concentration)
431 Climmer Street, Second Floor
Ottawa, ON, Canada K2P 9R5
Phone: 1 (613) 241-2267
Fax: 1 (613) 241-2506
www.etcgroup.org

Autores: Raymond Pagé
Tradução: José F. Padua e Flavio Borghetti
Revisão técnica: Maria José Guaratini e Flavio Borghetti
Capa: Marco Cera
Revisor: Renato Diniz e Jo Sabatino

ISBN: 85-254-1482-4

ISBN: Grupo ETC

Nanotecnologia: os riscos da tecnologia do futuro: saiba sobre produtos invisíveis que já estão no nosso dia-a-dia e o seu impacto na alimentação e na agricultura / Grupo ETC; tradução de José F. Padua e Flavio Borghetti. Ilustrações de Raymond Pagé. — Porto Alegre: L&PM, 2005.

200 p. : il. : 21 cm.

1. Nanotecnologia-agricultura. 2. Nanotecnologia-Alimentar.
3. Pagé, Raymond, II. Título.

CDD: 631.17+664-000.620.189

Classificação elaborada por Rafael A. Marín, CRB 190326

© Direitos autorais no Brasil – Centro TecnológicoPE
R5 122 Int. 14.5.2
95240-009 – JPE – RS
Fone e Fax: (54) 504-5573
www.centrotecnologico.org.br

Todos os direitos desta edição reservados à L&PM Editores
Porto Alegre: Rua Comendador Corrêa 314, loja 9 - 90220-180
Flóresua - RS / Fone: 51.3225.5777

Proprietor & Diretor: Governador Venâncio@lpm.com.br
Fax e e-mail: info@lpm.com.br
www.lpm.com.br

Impresso no Brasil
Primeira edição 2005

Texto 3

O QUE A NANOTECNOLOGIA SIGNIFICA PARA A SAÚDE HUMANA, A SEGURANÇA E O MEIO AMBIENTE?

Desconhecido e imprevisível: Governos, indústria e instituições científicas permitiram que produtos nanotecnológicos chegassem ao mercado sem que houvesse debate público e sem regulamentação. Estima-se que 475 produtos contendo partículas em nanoescala, invisíveis, não-regulamentadas e não-mencionadas nos rótulos já estão comercialmente disponíveis²⁰ (incluindo produtos alimentícios, agrotóxicos, cosméticos, protetores solares e muito mais) – e milhares de outros estão sendo desenvolvidos. Enquanto isso, nenhum governo

20. M. C. Itou, "National Nanotechnology Initiative: Overview", 20 de setembro de 2004. Disponível na internet: http://www.eug.nsl.gov/nano/NNI_040920_overview_Rotoc@NTInSociety_mth.pdf

desenvolver um regime de regulamentação tratando da nano-escala ou dos impactos sociais do invisivelmente pequeno.



Nanotubos de carbono são as "moléculas milagrosas" da nanotecnologia, muito resistentes que o aço e 100 vezes mais leves e, dependendo do método de produção, semicondutores ou isolantes.

A grande lição da nanotecnologia: O tamanho importa!

- Abaixo dos 100 nanômetros a física quântica transforma as propriedades dos elementos e compostos convencionais. As propriedades tais como resistência, elasticidade, condutividade e cor podem mudar – e continuar mudando – quanto menores as coisas se tornam.
- Nanopartículas mostram diferente toxicidade do que as versões maiores de um mesmo composto. Esse é um aspecto a considerar, porque as nanopartículas podem se mover facilmente para dentro do corpo e passar pelo sistema imunológico sem ser percebidas. Com 70 nanômetros, as nanopartículas podem se incrustar profundamente no tecido pulmonar, uma partícula de 50nm pode introduzir-se dentro das células sem ser notada. Partículas tão pequenas quanto 30nm podem atravessar a barreira do sangue no cérebro.

Existe apenas um punhado de estudos sobre toxicologia de nanopartículas engobreadas, mas parece que as nanopar-

tículas, como uma classe, são mais tóxicas do que os mesmos compostos em escala maior, devido à sua mobilidade e aumento de reatividade.²¹ Isso levanta sérias preocupações quanto à saúde, porque as nanopartículas podem passar despercebidas pelas guardas do sistema imunológico do corpo através das membranas de proteção como a pele, a barreira do sangue do cérebro ou, talvez, da placenta. Estudos toxicológicos recentes sobre os impactos das nanopartículas no meio ambiente e saúde acendem alertas vermelhos:

- Um estudo publicado em julho de 2004 descobriu que moléculas de carbono em nanoscala (um tipo conhecido como fulerenos) podem rapidamente desencadear danos cerebrais em peixes.²²



Fulerenos (*buckyballs*) são esferas ocas de carbono puro. O Washington Post chamou-as de "esfera de mi sorte" (*luckysphere*), após novas descobertas terem revelado que podem ser prejudiciais ao meio ambiente.

21. Veja os comentários do Dr. Vyvyan Howard na publicação do Grupo ETC, "Sun-Montez's The Case for a Global Memorium", 16 de abril de 2003, p. 8-10. Disponível na internet em: <http://www.etcgroup.org/articles.asp?newswid=392>

22. Eva Oberdorster, "Manufactured Nanomaterials (Fullerenes, C60) Induce Oxidative Stress in the Brain of Juvenile Large-Mouth Bass", *Environmental Health Perspectives*, vol. 112, n. 10, julho de 2004.

- Em 2005, pesquisadores da NASA (*US National Aeronautic and Space Administration*) tornaram público que nanotubos de carbono disponíveis no mercado, quando injetados nos pulmões de ratos, causavam sérios danos pulmonares.²³ (Os pesquisadores mencionaram que a dosagem de nanotubos aplicada aos ratos foi aproximadamente equivalente ao nível de exposição de um trabalhador num período de 17 dias.) Em outro estudo, pesquisadores do *US National Institute of Occupational Safety and Health* tornaram público, em 2005, sérios danos no DNA, no coração e artéria aorta de camundongos que foram expostos a nanotubos de carbono.²⁴
- Em 2005, pesquisadores da Universidade de Rochester (EUA) demonstraram que coelhos ingerindo fulerenos mostraram um aumento na suscetibilidade à coagulação do sangue.²⁵
- Outros estudos mostram que as nanopartículas podem se mover de modos inesperados através do solo e potencialmente carregar outras substâncias com elas.

Alguns governos e cientistas estão, já com atraso, admitindo que as partículas em nanoescala trazem riscos únicos para a saúde, segurança e meio ambiente. Devido à falta de conhecimento, alguns especialistas recomendam que a liberação de nanopartículas engenhairadas no meio ambiente seja reduzida ou proibida:

23. Janet Raloff, "Nano Hazards: Exposure to minute particles harms lungs, circulatory system", *Science News Online*, semana de 19 de março de 2005; vol. 167, nº 12.

24. *Ibid.*

25. *Ibid.*

"A liberação de nanopartículas deveria ser restringida devido aos seus efeitos potenciais sobre o meio ambiente e a saúde humana." – Nanotecnologia e Regulamentação no marco do Princípio da Precaução. Relatório Final do Comitê ITRE do Parlamento Europeu, fevereiro de 2004.

"Até que se tenha mais conhecimento a respeito dos impactos ambientais, consideramos importante que a liberação de nanopartículas e nanotubos, no meio ambiente, seja evitada o máximo possível. Especificamente recomendamos, como uma medida de precaução, que as fábricas e os laboratórios de pesquisa tratem as nanopartículas e os nanotubos manufaturados como se eles fossem fontes de resíduos perigosos e que a utilização de nanopartículas em aplicações ambientais como remediação de águas subterrâneas seja proibida." – Real Sociedade e Real Academia de Engenharia "Nanoscience and Nanotechnologies: Opportunities and Uncertainties", julho de 2004.

O QUE A NANOTECNOLOGIA SIGNIFICA PARA OS DIREITOS HUMANOS?

Precisas e sofisticadas manipulações em nível molecular irão produzir materiais mais resistentes e mais leves, sensores mais precisos e invasivos e computadores mais rápidos, menores e com menor consumo de energia. Esses produtos estão sendo desenvolvidos simultaneamente para usos civis e militares. Os especialistas prevêem que a nanotecnologia irá mudar a forma de fazer guerras mais do que a invenção da pólvora.²⁶

26. Clifford Lau do Departamento de Defesa para Barnaby Feder, "Frontier of Military Technology is the Size of a Molecule", *New York Times*, 8 de abril de 2003, p. C2.

DANG irá produzir soldados com corpos e cérebros "melhorados". Ela também conduzirá para o desenvolvimento de armas químicas e biológicas que são mais invasivas, mais difíceis de detectar e, virtualmente, impossíveis de combater. As qualidades de invisibilidade e invisibilidade de sensores e dispositivos em nanoscala poderão ser transformadas em ferramentas de representação extremamente poderosas – uma grande ameaça à democracia e à dissidência, e aos direitos humanos fundamentais.

"A nanotecnologia é uma força multiplicadora. Irá nos trazer mais rápidas e fortes nos campos de batalha." – Clifford Lab, consultor técnico em ciência no escritório de pesquisas básicas do Pentágono, 19 de abril de 2004.²⁷

Novas tecnologias não são substitutos para políticas sociais corretas

Similares às promessas das tecnologias nucleares e químicas, e da biotecnologia, os entusiastas da nanotecnologia fazem afirmações falsas: ela irá resolver os problemas da fome e da pobreza, curar o câncer e limpar o meio ambiente. Outros cientistas ressaltam que a nanotecnologia pode aprimorar e baratear os diagnósticos de doenças em pessoas e cultivos e melhorar a purificação da água e a eficiência das células solares. Também pode reduzir a demanda por matérias-primas, aumentar a reciclagem e reduzir os custos de transporte e energia. Mas ainda que o diagnóstico das doenças melhore, irá a pesquisa das terapias prevenir os problemas dos menos favorecidos? E as drogas patenteadas terão preços acessíveis?

²⁷ Citado em Tad Levorsky, "Patentgen official says nanotechnology a high priority", 19 de abril de 2004. Disponível na internet: <http://www.govexec.com/dailynews/040419/levor1.htm>

A verdade simples é que novas tecnologias não podem resolver velhas injustiças. A globalização – na forma do sistema atual de comércio, financeiro e de patentes – assegura que o controle das novas tecnologias permanecerá com os ricos. Os regimes de propriedade intelectual e os oligopólios de mercado, somados ao contínuo dos governos, normalmente têm dado um jeito de determinar quais tecnologias são adotadas e nos interesses de quem elas servem.



"Mas não tenho medo de considerar o que está frente de mim – meu futuro é incerto –, poderemos arranjar os fundos como quisermos; os próprios átomos, bem lá no fundo." – Richard Feynman, *There's Plenty of Room at the Bottom*, 1959.